

Aplicación didáctica de metodologías interactivas basadas en el uso de Sistemas de Respuesta Inmediata en la enseñanza y el aprendizaje de la Física Ondulatoria

Application of interactive methodologies aided by Classroom Response Systems in Wave Physics teaching

José Luis López Quintero

Directores:

Alfonso Pontes Pedrajas

Marta Varo Martínez

Programa de Doctorado: Ciencias Sociales y Jurídicas

Línea de Investigación: Educación

Departamento de Física Aplicada

Universidad de Córdoba

21 de junio de 2021

TITULO: *Aplicación didáctica de metodologías interactivas basadas en el uso de Sistemas de Respuesta Inmediata en la enseñanza y el aprendizaje de la Física Ondulatoria*

AUTOR: *José Luis López Quintero*

© Edita: UCOPress. 2021
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

<https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/ucopress@uco.es>



TÍTULO DE LA TESIS: APLICACIÓN DIDÁCTICA DE METODOLOGÍAS INTERACTIVAS BASADAS EN EL USO DE SISTEMAS DE RESPUESTA INMEDIATA EN LA ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE LA FÍSICA ONDULATORIA

DOCTORANDO: JOSÉ LUIS LÓPEZ QUINTERO

INFORME RAZONADO DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS

La presente Tesis Doctoral (TD) comenzó como un proyecto destinado a analizar la aplicación didáctica de metodologías interactivas basadas en el uso de las TIC en la enseñanza científico-técnica universitaria. Pero tras la exploración inicial del tema se apreció que se trataba de un panorama muy amplio y se decidió centrar el foco en un tema más específico. En concreto, se ha diseñado una propuesta metodológica innovadora, relacionada con el uso de los Sistemas de Respuesta Interactiva (SRI) en la enseñanza de la Física. Esta propuesta se ha experimentado en la docencia del tema de Ondas, en la asignatura Fundamentos Físicos de la Ingeniería II, de primer curso del Grado de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Córdoba, analizando su influencia en los resultados del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Para llevar a cabo este proyecto de investigación se realizó inicialmente una revisión bibliográfica amplia y profunda sobre el uso de metodologías interactivas, combinadas con recursos TICs, en la educación universitaria de carácter científico-técnico. Después, se elaboró un plan de trabajo destinado a poner en práctica una propuesta metodológica innovadora sobre el uso de los SRI en la enseñanza de la Física Ondulatoria, en primer curso de Universidad, tratando de recoger datos empíricos que permitieran valorar la influencia de dicha propuesta en la mejora de la calidad de enseñanza.

El citado plan de trabajo se ha ido analizando y mejorando de manera continúa durante el desarrollo del proyecto de investigación. En base al mismo, se han recogido datos sobre los conocimientos previos del alumnado antes de la experiencia, sobre el proceso de aprendizaje realizado por los participantes con ayuda de los SRI, así como sobre sus opiniones acerca de las estrategias didácticas y recursos educativos utilizados durante la implementación de la propuesta metodológica.

Los datos recogidos se han analizado detalladamente, con el objetivo de extraer conclusiones sobre las características del proceso de enseñanza-aprendizaje desarrollado en la experiencia y sobre la influencia de los SRI en la mejora del proceso formativo. Así mismo, se han ido contrastando estos resultados con los de otros estudios previos encontrados en la literatura científica. Fruto de este trabajo, a lo largo

del periodo de realización de esta Tesis Doctoral se han publicado varios artículos de revistas indexadas (López-Quintero, Varo, Laguna, y Pontes, 2016; López-Quintero, Pontes y Varo, 2019a), varias comunicaciones presentadas a congresos internacionales y publicadas por la Revista Enseñanza de las Ciencias (López-Quintero, Pontes y Varo, 2017a; López-Quintero, Pontes y Varo, 2021b), diversas comunicaciones publicadas en actas de congresos nacionales (López-Quintero, Pontes y Varo, 2017b; López-Quintero, Pontes y Varo, 2019b; López-Quintero, Pontes y Varo, 2021a) y varios capítulos de libros con ISBN (López-Quintero, Pontes y Varo, 2018; López-Quintero, Pontes y Varo, 2020b).

Por otra parte, el Doctorando ha cursado diferentes complementos formativos relacionados con metodologías y herramientas docentes de gran utilidad en este campo de investigación y otros complementos relacionados con la divulgación de la Ciencia.

De esta forma, a lo largo de las diferentes fases del desarrollo de esta Tesis, el Doctorando se ha involucrado activamente en las diferentes actividades de investigación y formación, demostrando capacidad para afrontar los diferentes retos planteados y quedando patente la adquisición de competencias específicas para el desempeño de una futura carrera en el campo de la docencia y de la investigación educativa.

Por todo esto, consideramos que se han logrado desarrollar con éxito los objetivos marcados en la memoria de inscripción de la presente Tesis Doctoral, de manera que la investigación desarrollada supone un avance innovador en la investigación educativa de la Física universitaria.

Por todo ello, se autoriza la presentación de la tesis doctoral.

Córdoba, 18 de Junio de 2021

Firma de los directores:



Fdo.: Dr. ALFONSO PONTES PEDRAJAS



Fdo.: Dra. MARTA Mª VARO MARTÍNEZ

Resumen

La enseñanza de la Física está presente en los primeros cursos de Grados de Ingeniería. Junto con las matemáticas, su aprendizaje fundamenta el conocimiento tanto teórico como práctico del itinerario académico de estos grados. No obstante, los alumnos no siempre presentan la motivación necesaria para afrontar las asignaturas donde se imparte. El objetivo principal de esta investigación es indagar acerca de la mejora de los procesos educativos en asignaturas introductorias de Física pertenecientes al primer curso de grados de Ingeniería tras la introducción de una metodología interactiva. Esta metodología docente introducida ha consistido en: (A) incorporar Sistemas de Respuesta Inmediata, estos son dispositivos electrónicos que permiten a todos los alumnos responder de manera inmediata a las cuestiones realizadas por el profesor, y (B) reservar tiempo en el aula para debates y discusiones entre alumno-alumno y alumno-profesor a partir de los resultados de los cuestionarios formulados con los Sistemas de Respuesta Inmediata. La investigación se ha dividido en tres estudios. El primero tiene como objetivo explorar los conocimientos previos de los alumnos en la temática de ondas antes de iniciar los procesos de enseñanza y aprendizaje. El segundo fue desarrollado en el aula durante el transcurso de la unidad didáctica estudiada (física ondulatoria). Por último, un tercer estudio pretende valorar los resultados de aprendizaje tras finalizar este proceso de enseñanza, así como conocer la valoración y las opiniones de los estudiantes acerca de la metodología y los recursos empleados. Cada uno de los estudios ha estado conformado por instrumentos de recogida de información consistentes en cuestionarios que los alumnos han ido respondiendo durante las distintas fases. Así, se incluyen: concepciones previas de los alumnos, concepciones durante el aprendizaje y resultados finales después del proceso metodológico. Este último ha consistido en un análisis tanto cuantitativo de cuestiones con opciones cerradas como cualitativo con cuestiones abiertas donde los alumnos han desarrollado sus respuestas.

Abstract

Physics teaching is a common topic in first year courses belonging to engineering degrees. Along with mathematics, it is a knowledge that lays the foundation of conceptual and applied subjects of these degrees. Nevertheless, students usually don't always feel enthusiastic enough to face this subject. The aim of this research is to gather information about the improvement of the process of teaching in introductory physics courses after the introduction of interactive methodologies. This methodology consisted in: (A) the introduction of Classroom Response Systems, which are small electronic devices that allow students to answer questions by the teacher, (B) saving time for discussions between the students and the teacher. The study was held in three phases. The first aimed to gather previous knowledge of students in Wave Physics. The second was developed inside classroom using Classroom Response System. The third aimed to gauge students' learning after the methodology, and their opinion on the experience. Students conceptions and mental models regarding wave physics, before, during, and after the learning process, as along with students' opinions are included.

Agradecimientos

En primer lugar agradecer a mis directores, los doctores Alfonso Pontes Pedrajas y Marta Varo Martínez por toda la labor realizada durante la realización de esta Tesis. Al Dr. Alfonso Pontes por admitirme como alumno, así como por sus valiosas enseñanzas y orientaciones desde el primer momento. Gracias por todo el trabajo dedicado a esta investigación, por la paciencia, los ánimos y por toda la generosidad mostrada durante años, en muchas ocasiones más allá del cumplimiento del deber. A la Dra. Marta Varo por introducirme en las metodologías interactivas, por sus numerosas correcciones y por todas las valiosas aportaciones de conocimiento que tanto me han servido personalmente y a este trabajo. Ha sido un privilegio contar con la ayuda de ambos.

Quiero agradecer especialmente a mi madre. Es difícil describir toda la motivación e ilusión que me ha transmitido desde el principio.

También quiero agradecer a mi padre por el apoyo y paciencia durante estos años.

A mis hermanos, familia y amigos, quienes también han contribuido con su disponibilidad y apoyo, gracias.

Índice

1	Introducción.....	1
1.1	Origen y justificación del proyecto.....	3
1.2	Contexto de la investigación.....	3
1.3	Orientación general del proyecto.....	4
1.4	Estructura y guía de lectura de la memoria de investigación.....	5
2	Antecedentes y fundamentos de la investigación.....	9
2.1	Problemas de enseñanza y aprendizaje de la Física en el contexto educativo universitario.....	11
2.2	Tendencias actuales en Didáctica de la Física.....	12
2.3	Revisión de antecedentes sobre enseñanza y aprendizaje de el movimiento ondulatorio.....	17
2.3.1	Concepciones de los alumnos y dificultades de aprendizaje.....	18
2.3.1.1	Sobre ondas y fenómenos ondulatorios en general.....	18
2.3.1.2	Sobre ondas mecánicas, sonido y acústica.....	19
2.3.1.3	Sobre ondas electromagnéticas, luz visible y óptica.....	24
2.3.1.4	Sobre algunos fenómenos ondulatorios específicos.....	28
2.3.1.5	Concepciones del profesorado sobre ondas, luz y sonido.....	31
2.3.2	Propuestas didácticas y experiencias educativas sobre ondas.....	33
2.3.2.1	Propuestas y experiencias didácticas sobre ondas en general.....	34
2.3.2.2	Innovaciones educativas sobre ondas mecánicas y acústica.....	36
2.3.2.3	Innovaciones educativas sobre ondas electromagnéticas y óptica.....	38
2.3.2.4	Innovaciones sobre fenómenos ondulatorios específicos.....	40
2.4	Aplicaciones de las TIC en la educación científica.....	45
2.4.1	Metodologías Interactivas.....	46
2.4.2	El uso de estrategias y recursos interactivos para la mejora de los procesos de aprendizaje.....	49
2.4.3	Los Sistemas de Respuesta Inmediata en la enseñanza Universitaria.....	51
2.4.3.1	Los Sistemas de Respuesta Inmediata como herramienta de aprendizaje reflexivo y colaborativo.....	54
2.4.3.2	La motivación del alumnado en clases interactivas con Sistemas de Respuesta Inmediata.....	55
2.4.4	Experiencias de uso de las TIC en la enseñanza de la Física ondulatoria.....	57
2.4.4.1	Tratamiento didáctico general de bloques temáticos.....	57
2.4.4.2	Estudio de fenómenos ondulatorios específicos con recursos TIC.....	61

2.5	Fundamento y marco teórico de la investigación.....	64
3	Metodología y diseño de la investigación.....	69
3.1	Introducción.....	71
3.2	Problemas de investigación.....	71
3.3	Finalidad del proyecto.....	73
3.3.1	Objetivos del Estudio 1.....	74
3.3.2	Objetivos del Estudio 2.....	75
3.3.3	Objetivos del Estudio 3.....	75
3.4	Enfoque metodológico.....	76
3.4.1	Características de la propuesta didáctica.....	77
3.4.1.1	Orientaciones metodológicas.....	77
3.4.1.2	Desarrollo de las clases teóricas.....	78
3.4.1.3	Resolución de problemas.....	79
3.5	Contexto educativo y participantes en la experiencia.....	80
3.6	Diseño y fases de la investigación.....	82
3.6.1	Fase previa exploratoria.....	83
3.6.2	Fase de planificación.....	83
3.6.3	Fase de preparación.....	83
3.6.4	Fase de desarrollo del proyecto.....	84
3.6.4.1	Diseño del estudio exploratorio inicial.....	84
3.6.4.2	Diseño del Estudio 1.....	84
3.6.4.3	Diseño del Estudio 2.....	86
3.6.4.4	Diseño del Estudio 3.....	87
4	Estudio de los conocimientos previos de los estudiantes sobre ondas.....	93
4.1	Finalidad y justificación del Estudio 1.....	95
4.1.1	Objetivos del Estudio 1.....	95
4.1.2	Justificación del Estudio 1.....	96
4.1.3	Diseño global del Estudio 1.....	97
4.2	Estudio del conocimiento inicial de los estudiantes sobre ondas mediante cuestiones cerradas del tipo verdadero o falso (E1.1).....	98
4.2.1	Aspectos metodológicos específicos del E1.1: Conocimientos iniciales de los estudiantes sobre ondas recogidos mediante cuestiones del tipo verdadero o falso.....	98
4.2.2	Resultados del estudio E1.1.....	99
4.3	Estudio del conocimiento inicial de los estudiantes sobre ondas mediante cuestiones de opción múltiple (E1.2).....	110
4.3.1	Aspectos metodológicos específicos del estudio E1.2.....	110
4.3.2	Resultados del estudio E1.2.....	110

4.4 Síntesis del Estudio 1.....	118
5 Estudio del proceso de aprendizaje basado en actividades de aula realizadas con un Sistema de Respuesta Inmediata.....	123
5.1 Finalidad y justificación del Estudio 2.....	125
5.1.1 Objetivos del Estudio 2.....	126
5.1.2 Justificación del Estudio 2.....	126
5.1.3 Diseño global del Estudio 2.....	128
5.2 Estudio del aprendizaje de contenidos teóricos sobre ondas con ayuda de los SRI (E2.1).....	129
5.2.1 Aspectos metodológicos específicos del estudio 2.1.....	129
5.2.2 Resultados del estudio 2.1.....	129
5.2.3 Resultados de actividades de aprendizaje: Cuestiones teóricas.....	130
5.2.3.1 Introducción al movimiento ondulatorio: Tipos de ondas (S1).....	130
5.2.3.2 Ondas armónicas: características y descripción matemática (S2).....	131
5.2.3.3 Velocidad de propagación de las ondas (S3).....	134
5.2.3.4 Energía e intensidad de las ondas (S4).....	136
5.2.3.5 Principio de Huygens: Fenómenos de reflexión y refracción (S5)....	137
5.2.3.6 Efecto Doppler (S6).....	139
5.2.3.7 Principio de superposición: Interferencias y otros fenómenos (S7)..	141
5.2.3.8 Ondas estacionarias (S8).....	144
5.2.3.9 Ondas sonoras: Características y aplicaciones (S9).....	146
5.2.3.10 Ondas Electromagnéticas: Aspectos característicos y aplicaciones (S10).....	148
5.2.3.11 Relaciones internas entre las respuestas de algunas cuestiones interesantes del E2.1.....	149
5.3 Estudio de las actividades de resolución de problemas con ayuda de los SRI (E2.2).....	154
5.3.1 Aspectos metodológicos específicos del estudio E2.2.....	154
5.3.2 Resultados del estudio E2.2.....	155
5.4 Síntesis del Estudio 2.....	170
6 Valoración del aprendizaje y motivación del alumnado tras la aplicación de la propuesta metodológica sobre Física Ondulatoria.....	175
6.1 Finalidad y justificación del Estudio 3.....	177
6.1.1 Objetivos del Estudio 3.....	177
6.1.2 Justificación del Estudio 3.....	178
6.1.3 Diseño global del Estudio 3.....	178
6.2 Estudio del conocimiento de carácter teórico adquirido por los estudiantes sobre ondas tras el desarrollo de la propuesta metodológica (E3.1).....	179

6.2.1 Aspectos metodológicos específicos del estudio 3.1.....	180
6.2.2 Resultados del estudio 3.1.....	180
6.2.2.1 Evaluación del aprendizaje de conceptos mediante cuestiones cerradas del tipo verdadero o falso.....	181
6.2.2.2 Evaluación del aprendizaje de conceptos mediante cuestiones de opción múltiple.....	184
6.2.2.3 Evaluación del aprendizaje de conceptos mediante cuestiones abiertas	192
6.3 Estudio del conocimiento de carácter práctico adquirido por los estudiantes sobre ondas tras el proceso de formación (E3.2).....	196
6.3.1 Aspectos metodológicos específicos del estudio 3.2.....	196
6.3.2 Resultados del estudio 3.2.....	197
6.3.2.1 Evaluación del aprendizaje de tipo práctico mediante cuestiones de opción múltiple.....	197
6.3.2.2 Evaluación del aprendizaje mediante problemas abiertos.....	199
6.4 Valoración del alumnado sobre la metodología y recursos empleados en el proceso de formación (E3.3).....	200
6.4.1 Aspectos metodológicos específicos del estudio 3.3.....	201
6.4.2 Resultados del estudio 3.3.....	201
6.4.2.1 Opiniones recogidas con una escala de valoración.....	201
6.4.2.2 Otras opiniones sobre la experiencia educativa.....	203
6.5 Síntesis del estudio E3.....	205
7 Conclusiones de la investigación.....	209
7.1 Introducción.....	211
7.2 Discusión y conclusiones del Primer Estudio (E1).....	211
7.2.1 Características del conocimiento de los alumnos antes del proceso de enseñanza.....	212
7.2.1.1 Conocimientos previos sobre ondas mediante cuestiones del tipo verdadero o falso.....	212
7.2.1.2 Conocimientos previos sobre ondas mediante cuestiones de opción múltiple.....	214
7.2.2 Balance global del Estudio 1.....	215
7.3 Discusión y conclusiones del Segundo Estudio (E2).....	217
7.3.1 Conocimiento teórico de ondas adquirido durante el proceso de enseñanza	218
7.3.1.1 Aspectos generales del movimiento ondulatorio.....	218
7.3.1.2 Principios generales del movimiento ondulatorio.....	219
7.3.1.3 Ondas sonoras y electromagnéticas.....	220

7.3.2	Conocimiento práctico sobre ondas durante el proceso de enseñanza....	221
7.3.3	Balance global del Estudio 2.....	222
7.4	Discusión y conclusiones del Tercer Estudio (E3).....	224
7.4.1	Valoración del aprendizaje de contenidos teóricos sobre ondas tras la experiencia educativa.....	224
7.4.2	Valoración del aprendizaje de contenidos prácticos sobre ondas tras la enseñanza.....	226
7.4.3	Opiniones del alumnado sobre el desarrollo de la experiencia formativa.....	227
7.4.4	Balance global del Estudio 3.....	228
7.5	Conclusiones globales de la investigación.....	229
7.6	Limitaciones de la investigación y futuras vías de trabajo.....	231
8	Referencias.....	235
9	Anexos: Cuestionarios de investigación.....	255
9.1	ANEXO 1: Cuestionario de conocimientos previos sobre ondas mediante preguntas del tipo verdadero o falso (C1).....	258
9.2	ANEXO 2: Cuestionario de conocimientos previos sobre fenómenos ondulatorios mediante preguntas de opción múltiple (C2).....	262
9.3	ANEXO 3: Cuestionarios sobre aprendizaje de conceptos del tema de ondas con un Sistema de Respuesta Inmediata (C3).....	267
9.3.1	Cuestionario conceptual (C3A).....	267
9.3.2	Cuestionario de ejercicios prácticos (C3B).....	274
9.4	ANEXO 4: Pruebas de evaluación tras el proceso de enseñanza-aprendizaje del tema de ondas (C4).....	282
9.4.1	Parte 1: Aprendizaje de conceptos (C4.P1).....	282
9.4.1.1	Prueba C4.P1.A: Evaluación de conceptos mediante preguntas del tipo verdadero o falso.....	282
9.4.1.2	Prueba C4.P1.B: Evaluación de conceptos mediante preguntas de opción múltiple.....	283
9.4.1.3	Prueba 4.P1.C: Evaluación del aprendizaje de conceptos mediante cuestiones abiertas (con justificación de respuesta).....	285
9.4.2	Parte 2: Aprendizaje de destrezas (C4.P2).....	286
9.4.2.1	Cuestionario 4.P2.A. Evaluación del aprendizaje de tipo práctico mediante preguntas de opción múltiple.....	286
9.4.2.2	Cuestionario 4.P2.B. Evaluación de la capacidad de resolución de problemas mediante preguntas abiertas (con justificación de respuesta).....	287
9.5	ANEXO 5: Encuesta de opiniones del alumnado sobre el desarrollo de la experiencia educativa (C5).....	289

Índice de Tablas

Tabla 3.1: Síntesis de los participantes.....	82
Tabla 3.2: Sumario de las fases de la investigación.....	82
Tabla 4.1: Datos del diseño del Estudio 1 y de las partes que lo integran (E1.1. y E1.2)	98
Tabla 4.2: Resultados de la Secuencia 1.....	100
Tabla 4.3: Resultados de la Secuencia 2.....	101
Tabla 4.4: Resultados de la Secuencia 3.....	102
Tabla 4.5: Resultados de la Secuencia 4.....	103
Tabla 4.6: Resultados de la Secuencia 5.....	104
Tabla 4.7: Resultados de la Secuencia 6.....	104
Tabla 4.8: Resultados de la Secuencia 7.....	105
Tabla 4.9: Resultados de la Secuencias 8 y 9.....	106
Tabla 4.10: Resultados de la Secuencia 10.....	108
Tabla 4.11: Resultados de la Secuencia 11.....	109
Tabla 4.12: Resultados del ítem C2.01.....	111
Tabla 4.13: Resultados del ítem C2.02.....	112
Tabla 4.14: Resultados del ítem C2.03.....	112
Tabla 4.15: Resultados del ítem C2.04.....	113
Tabla 4.16: Resultados del ítem C2.05.....	113
Tabla 4.17: Resultados del ítem C2.06.....	114
Tabla 4.18: Resultados del ítem C2.07.....	114
Tabla 4.19: Resultados del ítem C2.08.....	115
Tabla 4.20: Resultados del ítem C2.09.....	116
Tabla 4.21: Resultados del ítem C2.10.....	117
Tabla 4.22: Resultados del ítem C2.11.....	117
Tabla 4.23: Resultados del ítem C2.12.....	118
Tabla 5.1: Resumen del Estudio 2 y de las partes que lo integran (E2.1. y E2.2).....	129
Tabla 5.2: Resultados de la actividad C3.A.01.....	130
Tabla 5.3: Resultados de la actividad C3.A.02.....	131
Tabla 5.4: Resultados de la actividad C3.A.03.....	132
Tabla 5.5: Resultados de la actividad C3.A.04.....	132
Tabla 5.6: Resultados de la actividad C3.A.05.....	133
Tabla 5.7: Resultados de la actividad C3.A.06.....	134
Tabla 5.8: Resultados de la actividad C3.A.07.....	134
Tabla 5.9: Resultados de la actividad C3.A.08.....	135

Tabla 5.10: Resultados de la actividad C3.A.09.....	135
Tabla 5.11: Resultados de la actividad C3.A.10.....	136
Tabla 5.12: Resultados de la actividad C3.A.11.....	136
Tabla 5.13: Resultados de la actividad C3.A.12.....	137
Tabla 5.14: Resultados de la actividad C3.A.13.....	138
Tabla 5.15: Resultados de la actividad C3.A.14.....	138
Tabla 5.16: Resultados de la actividad C3.A.15.....	139
Tabla 5.17: Resultados de la actividad C3.A.16.....	140
Tabla 5.18: Resultados de la actividad C3.A.17.....	140
Tabla 5.19: Resultados de la actividad C3.A.18.....	141
Tabla 5.20: Resultados de la actividad C3.A.19.....	142
Tabla 5.21: Resultados de la actividad C3.A.20.....	143
Tabla 5.22: Resultados de la actividad C3.A.21.....	143
Tabla 5.23: Resultados de la actividad C3.A.22.....	144
Tabla 5.24: Resultados de la actividad C3.A.23.....	145
Tabla 5.25: Resultados de la actividad C3.A.24.....	145
Tabla 5.26: Resultados de la actividad C3.A.25.....	146
Tabla 5.27: Resultados de la actividad C3.A.26.....	147
Tabla 5.28: Resultados de la actividad C3.A.27.....	147
Tabla 5.29: Resultados de la actividad C3.A.28.....	148
Tabla 5.30: Resultados de la actividad C3.A.29.....	149
Tabla 5.31: Resultados de la actividad C3.A.30.....	149
Tabla 5.32: Relaciones entre las cuestiones C3.A.02 y C3.A.08.....	150
Tabla 5.33: Relaciones entre las cuestiones C3.A.02 y C3.A.14.....	151
Tabla 5.34: Relaciones entre las cuestiones C3.A.02 y C3.A.15.....	151
Tabla 5.35: Relaciones entre las cuestiones C3.A.04 y C3.A.11.....	152
Tabla 5.36: Relaciones entre las cuestiones C3.A.08 y C3.A.11.....	152
Tabla 5.37: Relaciones entre las cuestiones C3.A.08 y C3.A.15.....	153
Tabla 5.38: Relaciones entre las cuestiones C3.A.17 y C3.A.23.....	153
Tabla 5.39: Relaciones entre las cuestiones C3.A.22 y C3.A.28.....	154
Tabla 5.40: Resultados de la actividad C3.B.1.a.....	156
Tabla 5.41: Resultados de la actividad C3.B.1.b1.....	156
Tabla 5.42: Resultados de la actividad C3.B.1.b2.....	156
Tabla 5.43: Resultados de la actividad C3.B.1.c.....	157
Tabla 5.44: Resultados de la actividad C3.B.2.a1.....	158
Tabla 5.45: Resultados de la actividad C3.B.2.a2.....	158
Tabla 5.46: Resultados de la actividad C3.B.2.b.....	158
Tabla 5.47: Resultados de la actividad C3.B.3.a1.....	159

Tabla 5.48: Resultados de la actividad C3.B.3.a2.....	159
Tabla 5.49: Resultados de la actividad C3.B.3.b1.....	160
Tabla 5.50: Resultados de la actividad C3.B.4.a1.....	161
Tabla 5.51: Resultados de la actividad C3.B.4.a2.....	161
Tabla 5.52: Resultados de la actividad C3.B.4.b1.....	162
Tabla 5.53: Resultados de la actividad C3.B.4.b2.....	162
Tabla 5.54: Resultados de la actividad C3.B.4.c.....	162
Tabla 5.55: Resultados de la actividad C3.B.5.a1.....	163
Tabla 5.56: Resultados de la actividad C3.B.5.a2.....	163
Tabla 5.57: Resultados de la actividad C3.B.5.b.....	164
Tabla 5.58: Resultados de la actividad C3.B.6.a1.....	165
Tabla 5.59: Resultados de la actividad C3.B.6.a2.....	165
Tabla 5.60: Resultados de la actividad C3.B.6.b.....	165
Tabla 5.61: Resultados de la actividad C3.B.7.a.....	166
Tabla 5.62: Resultados de la actividad C3.B.7.b1.....	167
Tabla 5.63: Resultados de la actividad C3.B.7.b2.....	167
Tabla 5.64: Resultados de la actividad C3.B.7.c.....	167
Tabla 5.65: Resultados de la actividad C3.B.8.a1.....	168
Tabla 5.66: Resultados de la actividad C3.B.8.a2.....	169
Tabla 5.67: Resultados de la actividad C3.B.8.b.....	169
Tabla 5.68: Resultados de la actividad C3.B.8.c.....	169
Tabla 5.69: Resultados de la actividad C3.B.8.d.....	170
Tabla 6.1: Datos del diseño del Estudio 3 y de las partes que lo integran (E3.1, E3.2 y E3.3).....	179
Tabla 6.2: Resultados de la prueba C4.P1.A (I).....	182
Tabla 6.3: Resultados de la prueba C4.P1.A (II).....	183
Tabla 6.4: Resultados de la cuestión C4.P1.B.01.....	185
Tabla 6.5: Resultados de la cuestión C4.P1.B.02.....	186
Tabla 6.6: Resultados de la cuestión C4.P1.B.03.....	186
Tabla 6.7: Resultados de la cuestión C4.P1.B.04.....	187
Tabla 6.8: Resultados de la cuestión C4.P1.B.05.....	188
Tabla 6.9: Resultados de la cuestión C4.P1.B.06.....	188
Tabla 6.10: Resultados de la cuestión C4.P1.B.07.....	189
Tabla 6.11: Resultados de la cuestión C4.P1.B.08.....	190
Tabla 6.12: Resultados de la cuestión C4.P1.B.09.....	191
Tabla 6.13: Resultados de la cuestión C4.P1.B.10.....	191
Tabla 6.14: Resultados de la cuestión C4.P1.C.01.....	193
Tabla 6.15: Resultados de la cuestión C4.P1.C.02.....	194

Tabla 6.16: Resultados de la cuestión C4.P1.C.03.....	195
Tabla 6.17: Resultados de la cuestión C4.P1.C.04.....	196
Tabla 6.18: Resultados de la cuestión C4.P2.A.01.....	198
Tabla 6.19: Resultados de la cuestión C4.P2.A.02.....	198
Tabla 6.20: Resultados de la cuestión C4.P2.B.01.....	199
Tabla 6.21: Resultados de la cuestión C4.P2.B.02.....	200
Tabla 6.22: Opiniones acerca de la metodología.....	202
Tabla 6.23: Clasificación de respuestas de opinión según tipo de contenido.....	203
Tabla 6.24: Respuestas más repetidas en cuestión abierta de opinión.....	204

Índice de Cuadros

Cuadro 3.1: Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje de la unidad didáctica de ondas	77
Cuadro 4.1: Problemática abordada en el desarrollo del Estudio 1	95
Cuadro 5.1: Problemática abordada en el desarrollo del Estudio 2	126
Cuadro 5.2: Enunciado del problema C3.B.1	155
Cuadro 5.3: Enunciado del problema C3.B.2	157
Cuadro 5.4: Enunciado del problema C3.B.3	159
Cuadro 5.5: Enunciado del problema C3.B.4	160
Cuadro 5.6: Enunciado del problema C3.B.5	163
Cuadro 5.7: Enunciado del problema C3.B.6	164
Cuadro 5.8: Enunciado del problema C3.B.7	166
Cuadro 5.9: Enunciado del problema C3.B.8	168
Cuadro 6.1: Problemática abordada en el desarrollo del Estudio 3	177

Índice de figuras

Figura 2.1: Comunicación en las metodologías tradicionales versus interactiva	46
Figura 2.2: Pregunta conceptual y ejemplo de pantalla de resultados	49
Figura 2.3: Diagrama de flujo de comunicación en el aula	52
Figura 2.4: Mando de respuesta inmediata y receptor USB	52
Figura 2.5: Configuración del equipo	53
Figura 3.1: Contexto de la asignatura Fundamentos Físicos de la Ingeniería II en el Grado en Ingeniería Eléctrica de la EPSC (UCO)	81

1 Introducción

- 1.1 Origen y justificación del proyecto
 - 1.2 Contexto de la investigación
 - 1.3 Orientación general del proyecto
 - 1.4 Estructura y guía de lectura de la memoria de investigación
-

1.1 Origen y justificación del proyecto

El origen de esta investigación surge tras la realización de un primer proyecto de innovación educativa desarrollado en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Córdoba. La motivación inicial de dicho proyecto fue la implementación de metodologías docentes interactivas con objeto de incrementar la participación de los alumnos durante el transcurso de las clases de física, impartidas por el profesorado del área de Física Aplicada en el primer curso de Ingeniería de dicha Escuela .

La metodología empleada en citado proyecto consistió en la incorporación de dispositivos digitales tales como los Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI), que permitieron a todos los estudiantes presentes en el aula responder a las preguntas planteadas por el profesor y, a la vez, reflexionar conjuntamente sobre las mismas. Estos dispositivos se llevan incorporado en la enseñanza de la física universitaria desde hace algunos años y existe un amplio número de investigaciones que avalan las ventajas que aportan las metodologías derivadas de su uso (Hake, 1998; Willoughby y Gustafson, 2009; Morais, Barragués y Guisasola, 2015).

Tras los primeros años de implementación se observó que los alumnos mostraban opiniones bastante favorables a la introducción de esta metodología (Varo-Martínez, López-Quintero y Pontes, 2015). Este hecho sirvió de motivación para iniciar la presente investigación con el objetivo de indagar acerca de los cambios producidos, y sobre todo con la finalidad de mejorar el aprendizaje de la física en los alumnos, centrando la investigación educativa en el bloque temático de ondas que es un tema problemático en su aprendizaje (Saura, 1997; Welti, 2002; Sözen y Bolat, 2011; Crockett y Rueckner, 2018) y a la vez interesante, porque no se han llevado a cabo investigaciones sobre el uso de los SRI en el estudio de los fenómenos ondulatorios, aunque sí se han utilizado otros recursos electrónicos como las simulaciones y pizarras digitales (Moreno, 2013; Maulidah y Prima, 2018).

1.2 Contexto de la investigación

La investigación se desarrolla, dentro del ámbito de la enseñanza universitaria, en las asignaturas de física general impartidas en primer curso del Grado de Ingeniería de la Escuela Politécnica Superior de Córdoba (EPSC). La metodología docente, basada en el desarrollo de actividades de aula con ayuda de recursos interactivos como los SRI, ha sido aplicada en la mayoría de los temas de las asignaturas de física, si

bien para esta investigación se ha elegido la unidad de física ondulatoria por los motivos indicados anteriormente.

Esta parte de la física presenta importantes dificultades de aprendizaje porque, al igual que en otros temas de física, los estudiantes que inician los estudios universitarios presentan numerosas concepciones y modelos mentales de carácter alternativo acerca de las ondas y los fenómenos ondulatorios (Perales, 1997; de Pro y Saura, 2003; Caleon y Subramaniam, 2010; Barniol y Zavala, 2016). Asimismo, en general la física no suele estar entre las asignaturas preferidas por los alumnos, ya que les resulta difícil de comprender y los métodos tradicionales de enseñanza generan desmotivación en los estudiantes (Solbes, Montserrat y Más, 2007).

Los citados hechos han motivado la incorporación de metodologías interactivas a la enseñanza de la física ondulatoria y sobre este enfoque se ha desarrollado el proyecto de investigación que se expone en esta memoria. En concreto, la implementación se ha llevado a cabo usando Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI), que consisten en pequeños mandos a distancia para permitir a los alumnos responder a cuestiones de forma instantánea, pulsando el botón correspondiente a la respuesta que consideren correcta. Estas preguntas a menudo necesitan tanto un razonamiento previo por parte de los estudiantes, así como de una discusión después por parte del profesor. Varios estudios muestran que las metodologías basadas en estos dispositivos mejoran aspectos educativos importantes como la motivación y la atención del alumando, la amabilidad de las clases, la participación en el aula y la mayor comprensión de los conceptos físicos (Caldwell, 2007) (Hoekstra, 2008) (Terrion y Aceti, 2012) .

1.3 Orientación general del proyecto

La meta global de esta investigación es indagar acerca de la mejora de los procesos educativos en física ondulatoria, mediante la incorporación de una metodología interactiva como la mencionada anteriormente. Si bien existen otros objetivos, también considerados relevantes, como conocer aquellas concepciones y modelos mentales de carácter alternativo que presentan los alumnos y todos aquellos aspectos que presentan mayor dificultad de aprendizaje del tema de ondas. Del mismo modo se ha querido también conocer las opiniones de los alumnos que han participado en el proyecto.

La investigación se ha dividido en tres estudios. El primero tuvo como finalidad explorar los conocimientos previos de los alumnos en el tema de ondas antes de iniciar los procesos de enseñanza en primer curso de universidad. El segundo fue desarro-

llado en el aula durante el proceso de enseñanza-aprendizaje, recogiendo numerosos datos sobre la actividad cognitiva del alumnado al realizar las actividades con ayuda de los mandos a distancia del SRI. Por último, en el tercer estudio se pretende valorar los resultados del proceso de aprendizaje tras finalizar el periodo de instrucción y la valoración que hacen los estudiantes de la experiencia educativa con el SRI.

1.4 Estructura y guía de lectura de la memoria de investigación

En esta memoria se describe una investigación educativa, desarrollada durante varios años, en la que se ha tratado de mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje de la física ondulatoria en el primer curso de los grados de Ingeniería. Para alcanzar esta meta se ha realizado en primer lugar un estudio de las dificultades de aprendizaje, concepciones personales y modelos mentales de los alumnos antes de iniciar el proceso de instrucción formal en el primer curso de universidad. Posteriormente, se ha diseñado y se ha experimentado una propuesta metodológica innovadora, basada en el desarrollo de actividades de aula con ayuda de un Sistema de Respuesta Inmediata (SRI). Este sistema incluye el PC del profesor y las presentaciones multimedia de cada sesión, el software *Turning Point*, el cañón electrónico, la pantalla de proyección y los mandos a distancia que utilizan los estudiantes para interactuar con el citado programa. Utilizando este recurso, en todas las clases del tema de ondas, se ha desarrollado un intercambio de comunicación constante entre los alumnos y los docentes, pero también se han podido recoger los datos de las respuestas individuales de todos los estudiantes, en cada una de las actividades realizadas con el SRI, lo cual ha proporcionado una información muy amplia e interesante sobre la evolución de las concepciones y modelos mentales del alumnado a lo largo del desarrollo del tema. Finalmente se ha realizado una evaluación muy completa del proceso formativo desarrollado en el tema de ondas, en la que se han recogido abundantes datos sobre el aprendizaje de conceptos y la resolución de problemas, pero también se han recabado las opiniones del alumnado sobre la metodología y los recursos que se han utilizado en esta experiencia.

La memoria incluye siete capítulos, además de las referencias bibliográficas y un conjunto amplio de documentos anexos. A continuación se adelanta una breve síntesis de los aspectos que se abordan en los citados capítulos y demás documentos de la memoria.

En el segundo capítulo se han analizado los trabajos que han servido de base para establecer el fundamento teórico de la investigación, intentando ofrecer una visión global del estado del arte actual en la temática investigada. Esto se ha llevado a cabo mediante una revisión bibliográfica de la literatura científica respecto a la enseñanza de la física ondulatoria, partiendo de algunos trabajos previos de referencia sobre el tema (Saura, 1997; Llinás, López, Rodríguez y Macías, 2003; Osuna García, 2007; Eshach, Lin y Tsai, 2018) y una revisión actualizada sobre el uso de recursos digitales y metodologías interactivas en la educación científica, tomando como base también algunos estudios previos de referencia sobre esta temática tan amplia (Hake, 1998; Webb, 2005; Caldwell, 2007; Romero y Quesada, 2014; Valverde, 2018; López-Quintero, Pontes y Varo-Martínez, 2019).

En el tercer capítulo se explica cómo se ha planificado esta investigación y se describen los procedimientos y métodos que se han puesto en práctica para su realización. Se inicia el capítulo formulando los problemas que han dado origen a este estudio y se justifica su importancia para la investigación en enseñanza y aprendizaje de la física ondulatoria, que es el tema en el que se centra la propuesta didáctica experimentada en esta investigación. A continuación se exponen los objetivos que se pretenden alcanzar y que están estrechamente relacionados con los problemas de partida. Posteriormente se describe la metodología de investigación, que incluye el diseño de las diferentes etapas del proyecto y la cronología de su desarrollo, las muestras de estudiantes que han participado en cada etapa, los instrumentos de medida y los métodos de análisis de los resultados.

Desde una perspectiva constructivista de la educación científica es necesario partir del conocimiento inicial de los estudiantes, para diseñar un proceso adecuado de enseñanza-aprendizaje (Driver, 1988; Novak, 1991). Por ello en el cuarto capítulo se expone el primero de los estudios empíricos de este proyecto (E1), cuya finalidad es recoger datos empíricos para explorar los conocimientos previos sobre física ondulatoria, que muestran los estudiantes de primer curso de Ingeniería, antes de la enseñanza universitaria de dicho tema. Para ello se han utilizado dos cuestionarios diferentes y complementarios (basados en cuestiones del tipo verdadero falso y cuestiones de opción múltiple), aplicados a dos muestras de estudiantes del citado curso. A lo largo del capítulo se exponen y analizan los resultados recogidos en las dos partes de esta primera investigación.

En el quinto capítulo se expone el desarrollo y los resultados de una investigación didáctica basada en la experimentación de una propuesta educativa innovadora, en el primer curso de Ingeniería. La meta global de este segundo estudio (E2) ha sido reco-

ger datos sobre cómo se desarrolla el proceso de enseñanza y aprendizaje del tema de movimiento ondulatorio al realizar en el aula una serie amplia de actividades de reflexión, con ayuda de recursos innovadores como los Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI). La metodología docente interactiva se ha aplicado tanto en las clases teóricas del tema como en las clases prácticas dedicadas a resolución de problemas, recogiendo en ambos casos numerosos datos sobre el proceso de aprendizaje con ayuda de los mandos a distancia del SRI. Este segundo estudio se ha dividido en dos partes, ya que se han recogido datos sobre conocimientos de diferente tipo y ello nos ha llevado a analizar cada aspecto por separado.

Toda innovación metodológica debe ser evaluada con instrumentos adecuados para conocer la influencia ejercida en la mejora del proceso educativo y la opinión de los participantes en el desarrollo de la misma. Por ello en el sexto capítulo se describe el desarrollo y los resultados de un tercer estudio empírico (E3), centrado en analizar el grado de mejora de la calidad de enseñanza de la física universitaria en el tema de ondas y la motivación del alumnado por el aprendizaje de este tema, al aplicar la propuesta metodológica basada en el uso activo y reflexivo de los SRI en clase. El análisis de resultados de este último estudio se ha dividido en varias partes, ya que se han utilizado diferentes instrumentos de recogida de información sobre: (a) el aprendizaje de tipo conceptual, (b) sobre la aplicación del conocimiento teórico en la resolución de problemas y en (c) la valoración de las opiniones de los participantes sobre el desarrollo de la experiencia educativa.

En el capítulo séptimo se expone la discusión de los resultados obtenidos en los anteriores estudios y las conclusiones elaboradas en esta investigación, usando como guía las preguntas derivadas de los problemas de investigación. La discusión y conclusiones se refieren a cada uno de los tópicos que hemos tratado en nuestro trabajo, teniendo en cuenta todos los estudios realizados. Del mismo modo, se realiza una exposición de las limitaciones de esta investigación y de las nuevas perspectivas que surgen tras la experiencia educativa, para seguir profundizando sobre esta línea de investigación en los próximos años.

La memoria finaliza con las referencias bibliográficas citadas a lo largo de este documento, incluyendo también una serie de anexos donde se muestran los cuestionarios que han servido como instrumentos de recogida de información, tal y como fueron entregados a los alumnos.

2 Antecedentes y fundamentos de la investigación

- 2.1 Problemas de enseñanza y aprendizaje de la Física en el contexto educativo universitario
 - 2.2 Tendencias actuales en Didáctica de la Física
 - 2.3 Revisión de antecedentes sobre enseñanza y aprendizaje de el movimiento ondulatorio
 - 2.4 Aplicaciones de las TIC en la educación científica
 - 2.5 Fundamento y marco teórico de la investigación
-

2.1 Problemas de enseñanza y aprendizaje de la Física en el contexto educativo universitario

La enseñanza de las ciencias en las aulas presenta dificultades cuando se basa exclusivamente en exposiciones magistrales, que terminan favoreciendo una falta de atención y motivación por parte de los alumnos (Osborne, Simon y Collins, 2003; Gavidia-Catalán, 2008). En el caso de la enseñanza universitaria de las ciencias físicas este hecho genera actitudes pasivas y hace que muchos de los estudiantes terminen optando por un aprendizaje basado en la repetición de los contenidos explicados. Al finalizar los cursos el uso de los conceptos ha quedado reducido a una aplicación mecánica y algorítmica de ciertas fórmulas matemáticas. También se observa, especialmente en los grados universitarios de disciplinas que incluyen un curso de introducción a la Física, que los estudiantes se enfrentan a esta materia con dificultad, y raramente aparece entre sus favoritas (Arandia Aldalur, Zuza Elozegi y Guisasola Aranzabal, 2016). Parece ser que la instrucción habitual no favorece, por lo tanto, una mejora en las motivaciones de los estudiantes (Solbes et al., 2007), provocando en muchos casos una frustración que finalmente les lleva a decidir a tratar de aprobar la asignatura mediante la memorización de contenidos.

Un importante problema del proceso de aprendizaje de la Física es la presencia de numerosas ideas no científicas, en casi todos los temas del currículum y en los diferentes niveles educativos, hecho que puede considerarse como el efecto palpable de la ausencia de aprendizajes duraderos en la educación científica de carácter tradicional o transmisivo (Gil-Pérez, Carrascosa, Furió y Martínez, 1991; Duit, 1996). Este hecho parece estar bastante relacionado con factores de carácter pedagógico, como son la adecuada selección de objetivos y contenidos del currículum, la metodología de enseñanza, el tipo de materiales didácticos, los criterios de evaluación y la formación del profesorado (Oliva, 1996). En cierto modo, puede decirse que el análisis de las dificultades de aprendizaje de conceptos y modelos científicos, junto con la búsqueda de estrategias didácticas para la superación de las mismas constituye el punto de partida para cualquier intento de mejora de la educación científica desde una perspectiva constructivista (Driver, 1988; Novak, 2002; Oliva, 2008)

Otros problemas recogidos en la literatura sobre Didáctica de la Física se refieren a la baja calidad detectada en el desarrollo de destrezas o habilidades científicas por parte de los estudiantes, tanto en la enseñanza experimental (Duit, 1996) en la re-

solución de problemas (Duit, 1996; Guisasola, Zubimendi, Almudí y Ceberio, 2008), de modo que con frecuencia el aprendizaje de la metodología científica termina convirtiéndose en un proceso memorístico, en el que los estudiantes aplican las “recetas y algoritmos” propuestos por el profesorado para realizar prácticas de laboratorio o resolver problemas de tipo estándar (Halloun y Hestenes, 1985; McDermott, 1991; Hake, 1998)

Por otra parte, los profesores disponen de pocas herramientas didácticas que les permitan conocer en tiempo real si los conceptos están siendo comprendidos por los alumnos durante su explicación en las clases. Una de las estrategias más frecuentes es preguntar al alumnado al mismo tiempo que están siendo explicados los conceptos del tema. Este método puede ser efectivo, pero con frecuencia la comunicación se detiene debido a que los estudiantes se sienten indecisos a responder a las cuestiones que plantea el profesorado. Las principales causas de este problema parecen ser la apatía, el miedo a hablar en público o a ser juzgado y desaprobado por sus compañeros (Caldwell, 2007). Esto se ve amplificado en los primeros cursos universitarios, donde las clases son numerosas y muchos alumnos no se conocen entre ellos. Como resultado las sesiones de clase se convierten en largas exposiciones docentes, de alrededor de una hora de duración, donde apenas existe ninguna interacción ni comunicación entre los alumnos y el profesor, con el peligro de que muchos estudiantes terminen convirtiéndose en sujetos pasivos de aprendizaje (Guisasola, Garmendia, Montero y Barragués, 2012).

Otro método que suele adoptar el profesorado es preguntar directamente a un determinado alumno. Esta alternativa suele excluir al resto de la clase, y tampoco garantiza una participación plena pues la respuesta seguirá estando influenciada por el juicio al que pueda ser sometida por el resto de estudiantes. Otra posible alternativa es preguntar y pedir que los alumnos levanten la mano para responder una pregunta, pero de nuevo y por las mismas causas, el grupo condiciona las respuestas individuales (Stowell, Oldham y Bennett, 2010).

2.2 Tendencias actuales en Didáctica de la Física

Los problemas educativos en la enseñanza de la Física que se han comentado anteriormente han puesto en marcha, desde hace tiempo, diversos movimientos de renovación didáctica que han tratado de buscar solución a tales problemas adoptando un enfoque investigador, es decir elaborando propuestas metodológicas de todo tipo y recogiendo datos empíricos sobre la aplicación de tales propuestas en el aula (Pontes, 2018). El análisis de datos de las experiencias educativas ha permitido construir,

durante las últimas décadas un cuerpo de conocimientos sobre Didáctica de las Ciencias bastante considerable, en torno a diversas líneas de trabajo, que han resultado bastante fructíferas y que en la actualidad permiten abordar nuevas investigaciones educativas desde unas bases más firmes (Aliberas, Gutierrez y Izquierdo Aymerich, 1989; Duschl, 1995; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Duit, 2007; Jiménez-Tenorio y Oliva, 2016). Sobre los fundamentos de la investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales (DCE) se ha tratado de buscar alternativas al modelo tradicional de enseñanza por transmisión-recepción, intentando mejorar la calidad de los procesos educativos y la motivación del alumnado por el aprendizaje de la ciencia. Ello implica romper con el modelo de comunicación unidireccional y dinamizar las aulas, para favorecer la participación del alumnado y alcanzar una comunicación docente más efectiva (Guisasola et al., 2012).

La mayor parte de los investigadores en DCE están de acuerdo, desde hace tiempo, en relacionar las dificultades de aprendizaje en ciencias con la construcción y utilización de numerosas ideas intuitivas, por parte de los alumnos de todos los niveles, que son personales y tienen en muchos casos un carácter acientífico, por lo que se conocen como concepciones erróneas o modelos alternativos, que pueden llegar a formar esquemas de pensamiento no científico cuando se trata de ideas relativamente estructuradas (Gilbert, Osborne y Fenshan, 1982; Driver, 1989; Oliva, 1996). Las ideas previas de los alumnos sobre diversos temas de ciencia suelen ser implícitas y se manifiestan a menudo mediante un lenguaje impreciso, en el que se utilizan términos distintos de forma indiferenciada. En muchos casos las ideas de los alumnos parecen estar bastante arraigadas en la estructura cognitiva y se resisten a ser cambiadas a través de la enseñanza tradicional, de modo que permanecen a lo largo de diferentes niveles educativos, en forma de errores conceptuales de carácter post-instruccional, constituyendo concepciones alternativas persistentes que constituyen el reflejo evidente de una enseñanza de escasa calidad (Gil-Pérez et al., 1991; Tobin, 1993; Duit, 2007).

En algunos dominios cognitivos próximos a la vida cotidiana como la mecánica o la electricidad (Oliva, 1996; Pontes y de Pro, 2001), se ha comprobado en muchos estudios que las ideas de los alumnos presentan un alto grado de extensión o generalización y un importante grado de consistencia, coherencia y estabilidad, en cuyo caso se puede hablar de modelos mentales del alumnado, para diferenciarlos de ideas simples o concepciones aisladas. También se ha observado un cierto grado de paralelismo entre las ideas de los alumnos y ciertas hipótesis o teorías erróneas que se han propuesto a lo largo de la historia de la ciencia (Pozo y Gómez Crespo, 1998).

El carácter alternativo de los modelos mentales de los alumnos, aparte de ser fuente de errores y dificultades de aprendizaje, se basa también en otras diferencias respecto al conocimiento científico, ya que suelen ser inductivas mientras que las teorías científicas tienden a ser deductivas y demostrables por la experiencia. Los alumnos utilizan esquemas de relación causal lineal y simple en sus razonamientos, mientras que las explicaciones científicas se basan en una causalidad múltiple y compleja. Por otra parte, los alumnos suelen expresar ideas muy específicas, ya que tienden a centrarse en lo concreto de los hechos y fenómenos, mientras que las ideas científicas son generales y tienden a explicar el máximo número posible de hechos. Finalmente, las ideas intuitivas de los alumnos buscan sobre todo la utilidad inmediata, con objeto de ser empleadas en situaciones concretas y les basta con alcanzar un resultado que les parezca satisfactorio. Por el contrario, las ideas científicas buscan la verdad y su objetivo principal es comprender globalmente la naturaleza de los sistemas que son objetos de estudio (Driver, 1989).

El origen de las concepciones y modelos del alumnado sobre la ciencia es diverso, ya que en su elaboración influyen factores de diversa índole: sensorial (para explicar el funcionamiento de la realidad cotidiana que se percibe a través de los sentidos), social (el entorno cultura transmite a los individuos un conjunto de creencias compartidas que se transmiten a través del lenguaje cotidiano) y psicológico (por ejemplo el razonamiento analógico, que permite trasvasar ideas por analogía desde un dominio de conocimiento a otro diferente). El origen de tales ideas puede ser también académico, ya que en muchas ocasiones los libros de texto y los propios docentes no tienen en cuenta el papel que desempeñan las ideas de los alumnos en los procesos de aprendizaje de conceptos y modelos científicos, eludiendo el tratamiento didáctico adecuado de las concepciones alternativas de los estudiantes sobre diversos temas del currículum educativo (Gil-Pérez et al., 1991).

La problemática de las concepciones alternativas de los estudiantes en ciencias, junto con el problema de la escasa motivación por el aprendizaje, han contribuido al desarrollo de diversas líneas de trabajo en DCE orientadas a favorecer la transformación de las ideas previas de los alumnos en ideas científicas, mediante procesos de cambio conceptual (Posner, Strike, Hewson, Gertzog y others, 1982; Duschl, 1995), o a aplicar la metodología científica en actividades educativas importantes como los trabajos prácticos de laboratorio (Perales, 1994) y la resolución de problemas, mediante la aplicación del modelo de aprendizaje por investigación y el aprendizaje basado en problemas (Gil-Pérez et al., 1991; Duit, 1996; Guisasola, Ceberio, Almudí y Zubimendi, 2011). Otra perspectiva teórica más amplia y más

integradora que las anteriores es el llamado enfoque educativo constructivista (Driver, 1988; Anderson, 1992), que hace hincapié en la necesidad de tener en cuenta los conocimientos previos de los alumnos en los procesos educativos y desarrollar actividades de aula que ayuden a transformar sus concepciones personales en ideas científicas (Novak, 1991; Osborne, 1996; Dillon, 2008).

A largo plazo este enfoque ha dejado ser exclusivamente un método educativo para convertirse en un paradigma teórico bastante amplio (Pontes, 2018), que acoge en su interior a otros enfoques educativos más específicos, como pueden ser la enseñanza en contexto y las relaciones ciencia-tecnología-sociedad, la enseñanza orientada al desarrollo de competencias científicas, el aprendizaje por indagación o la enseñanza basada en modelos (Jiménez-Tenorio y Oliva, 2016). Asimismo el enfoque educativo constructivista ha servido de fundamento al uso educativo de una amplia gama de recursos digitales interactivos que tratan de fomentar la motivación del alumnado y la construcción de conocimientos significativos (Hennessy, Twigger, Driver, O'Shea, O'Malley, Byard, Draper, Hartley, Mohamed y Scanlon, 1995; Webb, 2005; Romero y Quesada, 2014; López-Quintero et al., 2019).

Dentro de las líneas de investigación didáctica de mayor influencia en la enseñanza de la Física, que forman parte del paradigma constructivista, se ha citado anteriormente el modelo de aprendizaje por investigación (Gil-Pérez et al., 1991; Guisasola et al., 2011) que ha servido de base al desarrollo de numerosas experiencias relacionadas con la renovación de los trabajos prácticos de laboratorio (Perales, 1994) y la resolución de problemas en el aula (Duit, 1996; Pavón y Martínez, 2014). Posteriormente, se ha considerado que el término “investigación” es demasiado complejo y es preferible usar un término más suave como es la “indagación escolar”, de modo que en la actualidad se suele hablar con más frecuencia del modelo de aprendizaje por indagación (Duit, 1996; Windschitl, Thompson y Braaten, 2008; Garritz, 2010). Las propuestas basadas en el aprendizaje por indagación consideran que la ciencia es un proceso abierto, donde se plantean cuestiones de interés que se intentan resolver aplicando el método científico de resolución de problemas. Por ello, para muchos docentes resulta lógico incorporar estos procesos en actividades educativas que proporcionen a los alumnos un entorno donde puedan experimentar en primera persona dichos procesos (Linn, Pea, Songer y others, 1994). Hay que destacar que este enfoque ha servido de base para el desarrollo de muchas experiencias innovadoras en la enseñanza de la Física realizadas a través de programas de simulación (De Jong y Van Joolingen, 1998; Romero y Quesada, 2014) (De Jong y Van Joolingen, 1998; Romero

y Quesada, 2014) y otros recursos informáticos como la pizarra digital interactiva (López Simó, Grimalt-álvaro y Couso, 2018).

Por otra parte, el interés por mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias no se han centrado solo en la metodología docente sino también en el marco conceptual desde el cual se fundamentan, describen y engloban los procesos educativos. Para Edelson, Gordin y Pea (1999) estos enfoques cada vez han ido teniendo más en cuenta el contexto social de la propia ciencia ya que ésta necesita de un discurso que depende del contexto donde se desarrolla la propia ciencia, así como por el entorno donde viven los estudiantes (Duschl y Grandy, 2013; Osborne, 2014). En este sentido Roschelle, Pea, Hoadley, Gordin y Means (2000) argumentan que el contexto tiene una carga importante en el aprendizaje de las ciencias y esto es debido a que el mismo se desarrolla en gran parte por imitación de los factores del entorno en el cual viven los alumnos. Según (Fensham, 2001) no se debe considerar los cambios conceptuales derivados del aprendizaje como cambios en contenidos meramente científicos y teóricos, sino que estos se encuentran entrelazados con otros. Esta superposición puede darse entre la propia comprensión de la ciencia desde sus múltiples ramas y paradigmas tales como la tecnología, pero también más generales como las emergencias climáticas e incluso también con otro tipo de conocimientos que no estén directamente relacionados con la propia disciplina científica. Con respecto a la linealidad proceso de aprendizaje algunos autores (Bao y Redish, 2006), afirman que no parece existir una dicotomía clara entre un alumno que conozca bien un concepto aplicándolo correctamente con otro que no lo conozca. Esto se vuelve especialmente confuso en el periodo de aprendizaje y tales os autores argumentan que el conocimiento de cómo el alumno activa una acepción científica u otra alternativa puede depender de múltiples factores.

Una de las líneas de investigación más importantes en el panorama actual de la didáctica de las ciencias, que también está relacionada con el enfoque constructivista, es el estudio de los modelos mentales de los alumnos sobre temas de ciencias y su evolución a través de la enseñanza hacia el desarrollo de modelos científicos. Según (Giere, 2004) los modelos científicos se entienden como el medio mediante el cual los científicos razonan y expresan la realidad con un propósito específico. El modelo individual de un alumno sobre un sistema físico es una representación única y experimentada subjetivamente acerca de dicho sistema. Por otra parte, los modelos son funcionales porque se modifican y van evolucionando orgánicamente a medida que el individuo interactúa con el sistema (Vosniadou, 1994).

Los modelos desempeñan un papel central en la ciencia y la educación científico-técnica pues actúan como mediadores entre el mundo y las teorías. Por ello resulta útil la enseñanza basada en modelos como referente para mejorar la educación científico-técnica y se aprecia un interés creciente por la modelización como competencia a desarrollar en el aula (Justi, 2006). En particular conviene destacar la capacidad de estas dos perspectivas para aglutinar buena parte de la investigación actual en didáctica de las ciencias, y por presentar conexiones con otros enfoques, como el de las concepciones (o ideas previas) del alumnado y los estudios sobre progresión del conocimiento, el aprendizaje por indagación, la enseñanza ligada al contexto del alumnado, la argumentación en ciencias y la enseñanza basada en competencias. Por ello se considera un reto importante para la investigación didáctica el hecho de profundizar en estos enfoques y utilizarlos como base para el desarrollo de propuestas educativas innovadoras (Oliva, 2019). Por último, hay que indicar que este enfoque también ha servido de base para el desarrollo de muchas experiencias innovadoras en la enseñanza de la Física con recursos informáticos tales programas de simulación y laboratorios virtuales (Windschitl y Andre, 1998; Casellas y Guitart, 2011; Pontes, 2017)

2.3 Revisión de antecedentes sobre enseñanza y aprendizaje de el movimiento ondulatorio

Las ondas y su propagación constituyen un tema importante de la Física. A través del conocimiento de los movimientos ondulatorios y sus características generales se consigue explicar un amplio rango de fenómenos físicos relacionados con la vida cotidiana, tales como el sonido, la luz, la transmisión de información y las ondas electromagnéticas en general. Asimismo, las ondas están muy relacionadas con el mundo tecnológico, a través de fenómenos tales como: vibraciones en materiales, acústica, óptica, telecomunicaciones, etc. Por tal motivo está bien justificado el tratamiento de esta temática en los currículos de ciencia y tecnología, tanto en educación secundaria como universitaria. Sin embargo, muchos estudios previos han puesto de manifiesto que los alumnos de tales niveles presentan importantes dificultades para aprender de forma significativa los modelos teóricos que explican los fenómenos ondulatorios, presentando numerosas concepciones alternativas y modelos de pensamiento no científicos (Saura, 1997; Welti, 2002; de Pro y Saura, 2003; Pejuan, Bohigas, Jaén y Periago, 2011; Barniol y Zavala, 2016), que afectan también al profesorado de Física en formación (Perales, 1987; Aykutlu, Bezen y Bayrak, 2021)

Desde una perspectiva constructivista de los procesos de enseñanza-aprendizaje de la ciencia (Risch, 2010) se considera necesario explorar las concepciones previas y modelos mentales de los alumnos (Llinás et al., 2003; Oliva, 2019), para plantear propuestas metodológicas que ayuden a mejorar el proceso de aprendizaje y favorecer la evolución de los modelos mentales previos hacia la construcción de modelos científicos (Fetherstonhaugh y Treagust, 1992). Sobre esta base hemos realizado en primer lugar una revisión de estudios previos en torno a la problemática didáctica del bloque temático de ondas, que incluye numerosos trabajos sobre las dificultades de aprendizaje y concepciones alternativas de los estudiantes, para analizar después las propuestas metodológicas que se han elaborado con vistas a mejorar la calidad de la enseñanza y el aprendizaje sobre las ondas (Saura y de Pro, 2009; Maulidah y Prima, 2018).

2.3.1 Concepciones de los alumnos y dificultades de aprendizaje

En relación a los conocimientos previos de los estudiantes, modelos mentales y dificultades de aprendizaje en Física Ondulatoria se comentan a continuación las aportaciones derivadas de los estudios precedentes encontrados en esta revisión.

2.3.1.1 Sobre ondas y fenómenos ondulatorios en general

Entre los estudios que han abordado la problemática didáctica de las ondas en general (incluyendo los temas de acústica y óptica), tanto desde la perspectiva de las dificultades de aprendizaje como en la experimentación de propuestas metodológicas podemos destacar la investigación de Saura (1997). Dicho autor realiza un estudio muy detallado de los conocimientos previos y dificultades de aprendizaje de los alumnos de enseñanza secundaria sobre los temas de ondas, sonido y luz, con vistas a diseñar y validar después una propuesta de enseñanza con un enfoque constructivista. Utilizando una batería de cuestiones abiertas, sobre un conjunto amplio de tópicos (movimiento ondulatorio, ondas mecánicas, energía de las ondas, el sonido y sus características, fenómenos acústicos, ondas electromagnéticas, naturaleza de la luz y de la visión, reflexión y refracción de la luz y otros fenómenos luminosos) se llegaron a identificar unos esquemas conceptuales que los estudiantes utilizaban reiteradamente en sus respuestas a las preguntas del cuestionario inicial y las actividades de aula realizadas durante la experiencia educativa.

Algunas de las investigaciones sobre las ideas de los alumnos sobre ondas muestran que los estudiantes universitarios presentan notables dificultades para interpretar y describir los mecanismos físicos asociados a la generación y propagación de ondas y la energía involucrada en estos procesos, debido a la falta de comprensión del modelo científico de onda (Welti, 2002). Uno de los modelos de los alumnos más detectado en la literatura es aquel que establece una analogía un objeto físico y un pulso de onda. De modo que estos son tratados como como cuerpos mecánicos a los cuales se les asignan propiedades del movimiento de las partículas tales como masa, choques elásticos o relaciones entre fuerzas y velocidades.

Wittmann, Steinberg y Redish (2003) consideran que los alumnos tienden a establecer una especie de analogía entre con los pulsos que transmiten las ondas y objetos como bolitas o pelotas, entendiéndolas como si un solo un punto móvil fuera lo relevante, sin contar con toda la amplitud espacial perturbada y haciendo una traslación del movimiento de partículas al desplazamiento de las ondas. Por ello muchos alumnos piensan sobre las ondas transversales en una cuerda que al aplicarle más fuerza con la manola onda se moverá a mayor velocidad. Los citados autores encuentran el mismo modelo de partícula al preguntar sobre como interactuarán dos pulsos que se propagan al encuentro en sentidos contrarios, encontrando dos tipos de respuestas mayoritarias, una donde los estudiantes piensan que las ondas se cancelan o bien se produce un único pulso resultante en la dirección de aquel que tenga mayor amplitud, como si de un choque inelástico de dos masas se tratase. Asimismo, observan como las ondas se siguen tratando como puntos individuales, donde solo el pico de máxima enlongación es el que suma las amplitudes de las ondas que están interaccionando.

Dado que el bloque temático de ondas en general es muy amplio, pues incluye muchos conceptos, leyes y fenómenos diferentes, es natural que la mayoría de las investigaciones sobre los problemas de aprendizaje se hayan centrado en temas más concretos como las ondas mecánicas o las ondas electromagnéticas, aunque también se han realizado estudios centrados en fenómenos ondulatorios muy específicos como la reflexión y refracción, las interferencias, las ondas estacionarias o el Efecto Doppler. Por tales motivos, en los apartados siguientes se analizarán por separado la problemática didáctica específica que presentan tales temas.

2.3.1.2 Sobre ondas mecánicas, sonido y acústica

Las ondas mecánicas son perturbaciones que se propagan a través de un medio material (sólidos, líquidos y gases), transmitiendo energía mecánica desde el foco vi-

brante que origina la onda y propagándose en una o varias dimensiones según el sistema físico donde se produce la transmisión (cuerda tensa, placa, superficie del agua, aire,...). Desde hace varias décadas se han realizado numerosas investigaciones sobre las dificultades de aprendizaje de los estudiantes sobre las ondas mecánicas en general (Maurines, 2010) y sobre el sonido que es el tipo de ondas mecánicas más importante para los seres humanos (Perales, 1997).

Maurines (1992) ha analizado las dificultades que encuentran los alumnos al estudiar el proceso de propagación de una onda en una cuerda tensa, observando que se repiten dos tendencias: un razonamiento mecanicista y una reducción del número de variables. Para los alumnos, el medio es un soporte pasivo y el "bulto" que viaja es un objeto material creado y puesto en movimiento por la fuente. En consecuencia, la velocidad de la señal depende de la fuente y puede disminuir con el tiempo. La señal no puede moverse antes de formarse por completo y su longitud no depende del medio. Los alumnos reducen el número de variables de dos maneras: Algunos tienden a combinar diferentes magnitudes físicas en una sola noción y otros razonan sobre la base de una variable cada vez. Algo parecido han constatado Wittmann et al. (2003), porque sus estudiantes consideran que el movimiento de la mano que hace vibrar una cuerda tensa influye en el movimiento del pulso que se propaga a través del medio. Por ejemplo, un movimiento más rápido o una amplitud más grande crea un pulso que irá propagándose a mayor velocidad. Tales autores señalan que antes del proceso de enseñanza casi el 90% de los alumnos pensaban así, mientras que solo la mitad de los estudiantes razonaron correctamente al finalizar el tratamiento didáctico del tema.

Guimarães, Takeco, J Affonseca, Azevedo y Machado (2013) han explorado los modelos mentales de los estudiantes de enseñanza secundaria sobre la producción y propagación de las ondas mecánicas cuando se les pidió que explicaran sus percepciones sobre las ondas más conocidas. Los resultados muestran que los estudiantes usan representaciones analógicas construidas de forma intuitiva y que sus ideas están bastante influenciadas por el ambiente social o el contexto cotidiano a la hora de explicar las ondas que se aprecian en la vida cotidiana.

Por su parte, los autores Robertson, Goodhew, Heron y Scherr (2019) han analizado las dificultades de aprendizaje sobre la propagación y la superposición de ondas mecánicas, indicando que los estudiantes a veces tratan los pulsos de onda como objetos, considerando que "los pulsos rebotan entre sí cuando se encuentran" y otras veces razonan explícitamente sobre los pulsos como no-objetos, es decir como perturbaciones que transmiten energía y argumentando que varios pulsos pueden estar en el

mismo lugar al mismo tiempo. Los autores consideran que el pensamiento de los estudiantes sobre la propagación y superposición de ondas mecánicas depende del contexto del problema planteado.

En el ciclo inicial universitario, formando parte de los contenidos de Mecánica, se aborda el estudio de las ondas mecánicas transversales representándolas matemáticamente a través de una función armónica de dos variables. Esta función involucra parámetros característicos cuya naturaleza no es inmediata para los estudiantes. Los autores Giorgi, Marino, Carreri y Cámara (2019) han analizado los conocimientos previos de los estudiantes universitarios sobre los parámetros básicos en la ecuación de ondas mecánicas, encontrando que los significados atribuidos a la amplitud, frecuencia, rapidez de propagación, longitud de onda y fase inicial en dicha ecuación, no coinciden con las nociones científicas que se muestran los libros de Física usados frecuentemente en el ciclo inicial. Del estudio realizado se desprende, por un lado, que los estudiantes presentan dificultades en comprender fenomenológicamente al movimiento ondulatorio y en interpretar el significado físico de la constante de fase; y por otro lado se observa que no todos los autores de los libros de texto analizados hacen referencia a esos parámetros de un modo explícito, y con los detalles convenientes. Por tal motivo los autores del estudio proponen una serie de recomendaciones a los docentes para el diseño de estrategias didácticas que favorezcan la comprensión del fenómeno ondulatorio y su propagación entre los estudiantes.

Dentro del estudio de las ondas mecánicas desempeña un papel muy importante el sonido y los fenómenos acústicos, que es un tema que ha sido objeto de numerosos estudios sobre las concepciones previas y dificultades de aprendizaje del alumnado de diversos niveles educativos (Linder, 1992; Perales, 1997; Saura y de Pro, 1999; Sözen y Bolat, 2011). A continuación, se comentan los resultados de algunos de los estudios más relevantes sobre esta temática.

Uno de los investigadores pioneros sobre la problemática didáctica del sonido ha sido C.J. Linder, que ha publicado interesantes trabajos en este tema. En el primer estudio (Linder, 1992) se analizan algunas de las dificultades que tienen los alumnos universitarios para comprender el sonido y la necesidad de que los profesores de Física examinen críticamente los aspectos de las analogías y demostraciones didácticas de moda antes de utilizarlas. En otros trabajos, que se comentarán con más detalle posteriormente, se han analizado también las concepciones de licenciados de Física que aspiran a ser profesores, encontrando modelos mentales alternativos similares a los que usan los estudiantes universitarios de primer ciclo sobre el sonido.

En nuestro país Perales (1997) ha explorado las concepciones de los estudiantes de diferentes niveles sobre el sonido y los fenómenos acústicos, al considerar que la Acústica es un tema importante de la Física que había recibido muy poca atención. Por ello este trabajo examina, en primer lugar, la Acústica desde una amplia perspectiva, situándola en un marco científico, didáctico y sociológico. En segundo lugar, se analizan los resultados de un test realizado a estudiantes de diferentes edades y niveles para identificar las preconcepciones comunes sobre la Acústica. Finalmente se hace una reflexión sobre las posibles implicaciones que éstas pueden tener para el aula de Física. Asimismo, investigadores de la Universidad de Murcia también se han interesado por la problemática didáctica del sonido (Saura y de Pro, 1999) tratando de identificar los esquemas conceptuales que utilizan los estudiantes de enseñanza secundaria para la interpretación del sonido y los fenómenos acústicos. En tales estudios se considera que los conocimientos previos de los alumnos condicionan el proceso de aprendizaje. Sin embargo, hay dos aspectos que deben tenerse en cuenta: en primer lugar, conocer las ideas previas del alumnado no debe considerarse como un fin en sí mismo, sino como el punto de partida hacia una intervención deliberada y, en segundo lugar, cuando un estudiante utiliza sus conocimientos, lo hace con estructuras conceptuales y con determinadas estrategias relacionadas con ellas. Por ello el trabajo docente se debería centrar en la identificación de los posibles esquemas que los alumnos utilizan sobre el sonido y sus aplicaciones en la vida cotidiana, tratando de extraer consecuencias útiles para mejorar la enseñanza de estos contenidos en la Educación Secundaria Obligatoria.

En relación con los modelos mentales alternativos de los alumnos en el tema de acústica, que han sido más recogidos en la literatura, es aquel que conceptualiza el sonido como partículas que se mueven en la dirección de propagación del mismo. Este modelo se encuentra presente en todos los niveles educativos. Así, Sözen y Bolat (2011) mediante un estudio realizado a 286 estudiantes con edades comprendidas entre 11 y 14 años encontraron que más de la mitad de los participantes sostienen que el sonido se propaga por partículas que se mueven alejándose de la fuente. Asimismo, muestran como los alumnos no saben responder si el sonido transporta energía.

Por otra parte, en un estudio realizado por Pejuan et al. (2011), los autores encontraron que más de dos terceras partes de sus alumnos eran capaces de explicar la propagación del sonido en el aire como un fenómeno ondulatorio. No obstante, los autores detectan que cuando se pregunta acerca de la propagación en medios sólidos la respuesta mayoritaria es a pensar en el sonido como “partículas invisibles” que atraviesan la pared.

2.3 REVISIÓN DE ANTECEDENTES SOBRE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE EL MOVIMIENTO ONDULATORIO

En torno a las ideas de los estudiantes sobre el sonido otros autores Hrepic, Zollman y Rebello (2010) llegan a categorizar cuatro modelos de pensamiento distintos. El modelo ondulatorio donde el sonido es el movimiento vibracional y longitudinal de las partículas del medio causado por la fuente de sonido. El modelo de entidad independiente donde el sonido son partículas conceptualizadas como una entidad independiente del medio en el cual se propaga. En este modelo el sonido se propagaría independientemente entre los espacios vacíos de las partículas que componen el medio. El modelo intrínseco donde el sonido es el movimiento traslacional de las partículas del medio. Cuando el sonido se propaga estas partículas se alejan de la fuente en la dirección de propagación, sin necesitar necesariamente una vibración. Y el modelo de entidad dependiente, donde el sonido es una entidad independiente del medio, pero necesita el movimiento de las partículas del medio para poder propagarse entre las partículas.

Existe la preocupación de que el pensamiento materialista -es decir, la tendencia a atribuir un conjunto de propiedades similares a las de la materia a los conceptos que no lo son- pueda ser una de las principales barreras a las que se enfrentan los estudiantes en su camino hacia la comprensión de los modelos científicos de la Física ondulatoria (Eshach et al., 2018). Sobre esta temática los citados autores han realizado un estudio transversal, utilizando como Instrumento de investigación el llamado "Inventario de Conceptos sobre Sonido", aplicado para examinar cómo los estudiantes taiwaneses de varios niveles educativos y profesores en formación inicial asocian el concepto no material de sonido con este conjunto de propiedades materialistas (alternativas o erróneas) con la visión científica (correcta). Los resultados muestran que los estudiantes de todos los niveles académicos asociaron el sonido, al menos en cierta medida, con "todas" las propiedades materialistas definidas en el instrumento. También se comprobó que la confianza de los encuestados en la visión materialista que expresaban era alta. Los resultados sugieren que la medida en que los estudiantes asocian el sonido con el pensamiento materialista no está ordenada por el nivel académico, sino que más bien se ve influida por la relevancia inmediata del plan de estudios reciente de cada grupo con respecto al tema del sonido. El estudio concluye examinando los resultados a través de la lente de varias teorías diferentes del cambio conceptual y haciendo sugerencias o propuestas para mejorar la enseñanza del tema de sonido.

Buena parte de la literatura que contribuye al conocimiento de los docentes de Física sobre las ideas de los estudiantes apunta hacia la existencia de patrones comunes

de razonamiento que presentan un carácter alternativo respecto a los modelos científicos usados en Física Ondulatoria. Goodhew, Robertson, Heron y Scherr (2019) han tratado de mejorar la enseñanza de conceptos relacionados con la propagación de ondas mecánicas utilizando recursos conceptuales que los profesores pueden aplicar con sus estudiantes. Entre tales recursos se incluyen cuestiones problemáticas en diferentes versiones y utilizan un esquema de codificación emergente para caracterizar un conjunto muy amplio de respuestas escritas por alumnos de seis universidades de Estados Unidos. En torno a una cuestión específica sobre la propagación de pulsos mecánicos en medios elásticos los resultados del estudio revelan la existencia de tres aspectos principales: a) las propiedades del medio impiden o facilitan el movimiento del pulso, b) la velocidad o duración del movimiento transversal afecta a la velocidad del pulso, y (c) la velocidad del pulso se ve afectada por su energía cinética.

2.3.1.3 Sobre ondas electromagnéticas, luz visible y óptica

Las ondas electromagnéticas (OEM) son vibraciones espaciales de los campos eléctrico y magnético, propagándose en todas direcciones a través del espacio a la velocidad de la luz, sin necesidad de un medio material, de modo que pueden propagarse en el vacío, en el aire o en medios materiales, transmitiendo energía radiante desde el foco vibrante que origina la onda. Existen diferentes tipos de ondas EM según el origen físico de las mismas (rayos infrarrojos, microondas, luz visible, rayos ultravioleta, ...). Este tipo de ondas tienen aplicaciones muy importantes en la tecnología actual relacionada con la transmisión de información y las comunicaciones.

Por ello, desde hace años se han realizado numerosas investigaciones sobre las dificultades de aprendizaje que presentan los estudiantes en torno a las ondas EM, la luz, la visión, el color y los fenómenos ópticos en general. Entre los primeros estudios sobre el tema podemos citar que Perales (1987) analizó las preconcepciones de estudiantes de magisterio sobre óptica geométrica, detectando gran número de esquemas alternativos, Bascones (1989) también hizo indagaciones sobre los conocimientos previos de los estudiantes universitarios sobre óptica geométrica y la formación de sombras, mientras que Monk (1991) estudió la relación entre la epistemología genética y las concepciones de los niños y adolescentes sobre la luz.

Por su parte, Llinás et al. (2003) exploraron la persistencia de las concepciones alternativas de los estudiantes universitarios sobre óptica básica y Osuna García (2007) investigó sobre esa temática con estudiantes de secundaria, como paso previo para formular una propuesta didáctica de mejora de la enseñanza. Asimismo, Solbes y Zacarés (1993) analizaron la introducción de las nociones básicas de óptica en libros

de texto de bachillerato y exploraron las concepciones sobre esta temática con alumnos de bachillerato y con una muestra de profesores de secundaria en formación inicial, mientras que Shapiro (1995) llevó a cabo un estudio en el que se analizan, desde una perspectiva constructivista, las dificultades del alumnado en la comprensión de conceptos relacionados con la luz y las diferencias de puntos de vista con los modelos científicos sobre su naturaleza. Unos años después Ambrose, Shaffer, Steinberg y McDermott (1999a) estudiaron la visión de los estudiantes sobre la naturaleza de la luz y llegaron a concluir que las principales dificultades del alumnado para entender la óptica Física pueden deberse, en parte, a la falta de comprensión de la luz como onda electromagnética, formulando algunas propuestas didácticas para ayudar a superar las dificultades de aprendizaje de los estudiantes en este tema.

Entre las investigaciones pioneras sobre la enseñanza y aprendizaje de la luz, que han tenido mayores implicaciones posteriores, se encuentra el trabajo realizado por Feher (1986), al comparar las concepciones de novatos y expertos sobre la luz y la visión. Se consideran novatos a los sujetos que no han tenido una exposición formal a la Física de la luz, en particular niños de escuela primaria que fueron entrevistados en el entorno informal de un museo interactivo y se considera expertos a los futuros profesores de ciencias que participaban en curso de formación en la universidad. En este estudio se analizaron detalladamente los siguientes aspectos: a) evolución histórica de las explicaciones relativas a los fenómenos visuales; b) las concepciones de los niños que se obtuvieron durante sus experiencias con las exposiciones del museo, centrándose en las fuentes de luz intermitentes y extendidas; c) las estrategias de investigación utilizadas para identificar las concepciones previas de los niños; y (d) una propuesta didáctica para mejorar la enseñanza de la óptica, que se comentará posteriormente.

Posteriormente, Feher y Rice (1988) examinaron las concepciones alternativas de los niños y adolescentes (de 8 a 14 años) sobre la formación de sombras a través de entrevistas y describían sus esquemas de pensamiento mediante mapas cognitivos, llegando a identificar "el modelo desencadenante" de las sombras y constatando que son múltiples las funciones "casi mágicas" que los niños atribuyen a la luz. Unos años después los citados autores realizaron un estudio centrado en las concepciones de los niños sobre la naturaleza del color. El examen de las nociones de los niños sobre la luz y los fenómenos visuales puso de manifiesto la existencia de modelos mentales, es decir, formas de pensar que son coherentes y generalizadas (Feher y Meyer, 1992). Estos esquemas conceptuales ingenuos, utilizados por muchos niños para explicar fe-

nómenos similares, determinan el tipo de respuestas que ofrecen en situaciones de resolución de problemas. En esta investigación se estudiaron las ideas de los niños sobre los objetos y las sombras de colores, prestando especial atención a la forma en que estas ideas se organizan en modelos mentales. La elucidación de estos modelos proporciona valiosas herramientas instructivas que sirven para evaluar y confrontar las concepciones ingenuas de los alumnos. Este trabajo se llevó a cabo en un museo de ciencias en el que se realizaron exposiciones interactivas que muestran efectos inesperados. Los niños que visitaron el museo participaron en situaciones de resolución de problemas que implicaban predicciones, explicaciones y manipulaciones de la exposición.

Por su parte, Olivieri, Torosantucci y Vicentini (1988) investigaron también los conocimientos de los estudiantes universitarios sobre óptica geométrica y la comprensión del fenómeno de las sombras coloreadas. La investigación se llevó a cabo mediante entrevistas en las que se pidió a estudiantes con diferentes niveles de conocimientos la explicación de la observación experimental de una sombra roja y otra verde sobre un fondo amarillo y, posteriormente, la predicción del fenómeno con tres haces de luz. Las entrevistas se analizaron en términos de un conocimiento organizado en redes de experiencia y teoría. Los autores de esta investigación llegaron a concluir que el conocimiento de la óptica geométrica facilita la localización del problema del color, mientras que la experiencia con la mezcla de pinturas puede actuar como una barrera para la comprensión de la mezcla de haces de luz.

Después Osborne, Black, Meadows y Smith (1993) analizaron las dificultades de comprensión sobre la naturaleza de la luz y los fenómenos asociados por parte de los niños pequeños (7-11). Tras revisar brevemente los trabajos anteriores en este ámbito se llevó a cabo una investigación educativa en cuatro fases: una fase piloto, una elicitación previa a la intervención, una fase de intervención y una elicitación posterior a la intervención. Los datos se recogieron mediante una mezcla de escritura y dibujo de 64 niños y se analizaron utilizando redes sistémicas para proporcionar una imagen semicuantitativa del pensamiento de los niños. Esto permitió comparar las características de las ideas de los niños antes y después de la fase de intervención. El trabajo se centró en cuatro aspectos de las ideas de los niños sobre la luz: las ideas sobre las fuentes de luz, las representaciones de la luz, la naturaleza de la visión y la dependencia del contexto de las respuestas. Los datos presentados se concentran en uno de estos aspectos, las opiniones de los niños sobre la naturaleza de la visión.

En fechas más recientes, algunos investigadores han abordado el tema de las concepciones de los estudiantes sobre la luz, como vía para elaborar herramientas di-

2.3 REVISIÓN DE ANTECEDENTES SOBRE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE EL MOVIMIENTO ONDULATORIO

dácticas de apoyo al profesorado de Física del nivel preuniversitario (Ndihokubwayo, Uwamahoro, Ndayambaje y Ralph, 2020). Por ello diseñaron una batería de cuestiones sobre la luz y los fenómenos ópticos para ayudar a los profesores a evaluar la comprensión conceptual de tales fenómenos por parte de sus alumnos. En la investigación se analizaron las respuestas al cuestionario por parte de 244 estudiantes de Física. Los resultados revelaron una baja comprensión de los fenómenos de la luz, y esta baja comprensión está relacionada con las herramientas y estrategias de instrucción utilizadas por los profesores. Los estudiantes confundieron la reflexión y la refracción de la luz. También les costó entender la reflexión interna total y la dispersión de la luz. Por lo tanto, los profesores deberían enseñar óptica permitiendo a los alumnos observar los fenómenos relacionados para promover de forma más eficaz la comprensión conceptual de los fenómenos de la luz por parte de los alumnos.

Finalmente hay que constatar que en los últimos tiempos se está desarrollando una línea de investigación en la que se abordan otros temas de óptica relacionados con la Física moderna. Por ejemplo, algunos investigadores Henriksen, Angell, Vistnes y Bungum (2018) se han interesado sobre el tema de la naturaleza dual de la luz desde una perspectiva educativa, en la que se concede importancia a las reflexiones de los estudiantes sobre este asunto. La física cuántica describe que la luz tiene propiedades tanto de partícula como de onda; sin embargo, no hay consenso sobre cómo interpretar esta dualidad a nivel ontológico. Los citados autores han explorado cómo los estudiantes de física preuniversitaria, mientras trabajan con material didáctico centrado en aspectos histórico-filosóficos de la física cuántica, interpretan la dualidad onda-partícula de la luz y qué opiniones expresan sobre la naturaleza de la Física. Se realizó un análisis temático de 133 respuestas escritas sobre la naturaleza de la luz, dadas al principio de la secuencia de enseñanza, y de 55 discusiones en pequeños grupos grabadas en audio que abordaban la dualidad onda-partícula, dadas más adelante en la secuencia. La mayoría de los estudiantes expresaron inicialmente una visión de la luz como onda y como partícula, pero algunos de ellos dieron una "descripción acrítica de la dualidad", aceptando sin cuestionar las dos descripciones ontológicamente diferentes de la luz. En las discusiones en pequeños grupos, los alumnos expresaron opiniones más matizadas. Muchos trataron de conciliar las dos descripciones utilizando un razonamiento semiclásico; otros entraron en discusiones filosóficas sobre el estado de la actual descripción científica de la luz y esperaron que la ciencia presentara un modelo mejor. Para algunos, la descripción ondulatoria de la luz resultaba especialmente difícil y carecían de una concepción de "lo que ondea". Muchos parecían adoptar

implícitamente una visión realista de la descripción de los fenómenos físicos, contraria a la interpretación científica que prevalece en los libros de texto. Los resultados del estudio se discutieron sobre la base de las diferentes interpretaciones de la física cuántica, y los autores concluyen argumentando a favor de una perspectiva histórico-filosófica como punto de entrada para que los estudiantes de Física exploren el desarrollo y la interpretación de los conceptos físicos cuánticos.

2.3.1.4 Sobre algunos fenómenos ondulatorios específicos

En relación con el aprendizaje de la Física Ondulatoria se han llevado a cabo también numerosos estudios centrados en el análisis de fenómenos específicos, que son comunes a las ondas mecánicas y electromagnéticas, de modo que también afectan a la propagación del sonido y de la luz, como pueden ser la reflexión y refracción de ondas, las interferencias, las ondas estacionarias o el efecto Doppler. Entre los primeros estudios realizados en esta línea se encuentra el trabajo de Villani y Pacca (1987) acerca de las concepciones previas de los estudiantes sobre la velocidad de la luz o la investigación de Mohapatra (1988) en torno a los problemas de aprendizaje de los estudiantes sobre la reflexión de la luz.

Un estudio que ha tenido amplia difusión fue el llevado a cabo por Singh y Butler (1990) al analizar las concepciones de los estudiantes sobre la refracción de la luz y las implicaciones para la enseñanza de este fenómeno. Para ello se administraron seis cuestionarios que abarcaban los términos utilizados en la refracción, las ecuaciones utilizadas en la refracción, la refracción en interfaces planas y curvas, la refracción y la reflexión en superficies planas, la refracción en las lentes y la refracción en los prismas. Con tales cuestionarios se recogieron datos de estudiantes de quinto curso de grado en Nueva Zelanda (de 15 a 19 años), de estudiantes preuniversitarios de Singapur (de 16 años) y de estudiantes extranjeros de primer curso de universidad que estudiaban en Nueva Zelanda (de 18 a 19 años). Se comprobó que el nivel de conocimientos de los estudiantes de primer año de licenciatura estaba al mismo nivel conceptual que el de los estudiantes de secundaria. Según los autores del estudio, la enseñanza y el aprendizaje de la refracción en diferentes niveles se caracterizan por aplicar un modelo educativo de transmisión-recepción de contenidos científicos. Los estudiantes utilizan características superficiales para clasificar los contenidos aprendidos y esta categorización del contenido se ha formulado a través de las respuestas de los alumnos. Cuando se enfrentan a una situación problemática, los alumnos suelen responder sólo si se ajusta a un grupo de contenidos específicos, dentro de su estructura de conocimientos, pero cada grupo de contenidos se rige por un único rasgo su-

perficial o por un pequeño grupo de rasgos superficiales relacionados. Como alternativa educativa se propone un modelo educativo que permita adquirir un aprendizaje significativo de los contenidos sobre refracción y mejorar la capacidad de resolución de problemas sobre este fenómeno.

Por su parte, Maurines (2010) ha realizado un estudio interesante sobre el fenómeno de la difracción de las ondas, que formaba parte de un programa de investigación sobre las dificultades que encuentran los estudiantes universitarios para comprender la naturaleza de los fenómenos ondulatorios en un medio tridimensional, en ausencia o en presencia de obstáculos. El estudio se centraba en identificar cómo razonan los estudiantes en situaciones en las que es necesario utilizar la óptica ondulatoria (difracción de la luz por una abertura, obtención de imágenes en presencia de difracción e imágenes de iluminación coherente). Se diseñaron cuestionarios de papel y lápiz y se interrogó a doscientos estudiantes después de las clases de óptica ondulatoria. Los resultados obtenidos demuestran que las tendencias al razonamiento geométrico son recurrentes. Los estudiantes razonan a nivel macroscópico, siguiendo los rayos de la luz incidente, en lugar de razonar a nivel de ondas elementales al utilizar el concepto de fase y el principio de Huygens-Fresnel. En consecuencia, para ellos, la imagen de una fuente puntual situada en el infinito está detrás del plano de enfoque de la imagen de la lente cuando hay que considerar la difracción. Además, no es posible tener la imagen de la fuente y de un diafragma iluminado detrás de una lente: estas imágenes no pueden existir simultáneamente o se fusionan. Tras la discusión de estos resultados se hicieron algunas observaciones sobre la forma en que se enseñan las ondas en la universidad y sobre la necesidad de mejorar la acción pedagógica sobre este tema.

En otros estudios se ha observado que los estudiantes presentan dificultades para utilizar el modelo de onda al tratar de interpretar los fenómenos de interferencia y superposición de ondas, así como que cada estudiante no posee un modelo de ondas que englobe a los demás, pudiendo interpretar correctamente un tren de ondas, pero no un pulso (Wittmann, 2002). Estos hechos apuntan por una parte a la necesidad de conocer las concepciones previas de los estudiantes sobre ondas y a utilizar estrategias didácticas que favorezcan la progresión de sus ideas.

Con respecto al fenómeno de interferencia que se produce cuando se superponen varias ondas, Coetzee y Imenda (2012) han encontrado diversos modelos alternativos entre los estudiantes universitarios. Los autores observan como sus alumnos interpretan la superposición de ondas como un fenómeno que tiene lugar en ambos ejes,

implicando que no solo las amplitudes se suman, sino que las longitudes de ondas —o el eje temporal— también lo hacen. Otro modelo alternativo es que las ondas siempre se refuerzan, de forma que la interferencia siempre será constructiva con una amplitud resultante siempre mayor. Observan, asimismo, respecto a la interferencia que los alumnos presentan dificultades para entender el concepto de fase. También se encuentran con el modelo de onda como partícula, en el que las ondas colisionan siguiendo las leyes del momento lineal y donde una onda con mayor amplitud predominaría sobre otra de menor valor, o bien en caso de colisión se formaría un pulso grande que dependería de aquella que tuviera mayor velocidad.

Un fenómeno que ha recibido especial atención por parte de quienes realizan investigaciones educativas sobre los movimientos ondulatorios es la formación de ondas estacionarias, ya sean de tipo mecánico (como el sonido) o de tipo electromagnético (como la luz). En algunos casos esta temática se ha abordado dentro de estudios relacionados con las dificultades de aprendizaje en torno a conceptos más específicos como la velocidad de la onda, la longitud de onda y la transmisión de energía en el movimiento de la onda (Halloun y Hestenes, 1985; Maurines, 1992; Wittmann, 2002; Caleon y Subramaniam, 2010; Kennedy y de Bruyn, 2011). En otros muchos casos los estudios específicos sobre ondas estacionarias se han realizado en torno al diseño y experimentación de propuestas didácticas que se analizarán posteriormente (Yalcin, 2010; Brody, Villhauer y Espiritu, 2014; Crockett y Rueckner, 2018).

Diversos estudios han puesto de manifiesto que, en efecto, los alumnos de diferentes niveles educativos tienen bastantes dificultades para comprender el fenómeno de formación de ondas estacionarias, ya que se trata de un modelo científico bastante abstracto. En este sentido cabe destacar el estudio de Tongchai, Sharma, Johnston, Arayathanikul y Soankwan (2009) sobre estudiantes de bachillerato y de Física. Tales autores desarrollaron una prueba de comprensión conceptual de las ondas mecánicas que tenía preguntas de comprensión conceptual sobre las ondas estacionarias. Posteriormente Barniol y Zavala (2016) lo aplicaron a estudiantes universitarios en clases del bloque de "Fluidos, ondas y termodinámica", y trataron de determinar las preguntas y conceptos con los que los estudiantes tenían dificultades. Al final de este estudio, se reveló que los estudiantes mostraban deficiencias en la comprensión conceptual de las ondas estacionarias y que es necesario realizar más estudios para analizar esta dificultad en detalle.

2.3.1.5 Concepciones del profesorado sobre ondas, luz y sonido

Numerosos estudios sobre las concepciones personales, modelos mentales y esquemas alternativos de los alumnos acerca de la ciencia han puesto de manifiesto que tales constructos están bastante generalizados y son resistentes al cambio (Risch, 2010). De modo que estos modelos de pensamiento, a veces, permanecen inalterados hasta finalizar la enseñanza universitaria en carreras científico-técnicas y afectan también a los profesores de Física en formación inicial en diversos temas de esta disciplina (Viennot y Kaminski, 1991; Pontes y de Pro, 2001; Gunstone, Mulhall y McKittrick, 2009). Este hecho también se ha constatado en el tema de la Física Ondulatoria como puede apreciarse en los estudios que se analizan a continuación.

Uno de los primeros trabajos sobre las concepciones de profesores de Física sobre el sonido fue realizado por Linder y Erickson (1989). En el citado este estudio se recogieron datos de diez licenciados en Física canadienses, matriculados en un programa de formación inicial de profesores, que participaron en entrevistas clínicas donde se hacían diversas demostraciones y experimentos basados en situaciones que representaban tanto ejemplos "cotidianos" como "escolares" de fenómenos acústicos. El análisis de los datos se enmarcó en una tradición fenomenográfica y las conceptualizaciones se ilustraron con extractos de diálogos tomados de las entrevistas a los estudiantes de profesorado. Posteriormente se discutieron las implicaciones del estudio para mejorar la calidad de la enseñanza de las ondas y la formación del profesorado. En un estudio posterior Linder (1993) investigó sobre propagación del sonido y sobre los factores que los profesores de Física en formación inicial consideran relevantes en su velocidad, extrayendo implicaciones para la enseñanza. La fuente de datos del estudio consiste la comparación detallada de las explicaciones que una muestra de licenciados en Física (canadienses y sudafricanos) proporcionaron en el transcurso de entrevistas de tipo clínico sobre su comprensión del sonido. El análisis de las explicaciones de los participantes permitió hacer una categorización de tres tipos de conceptualizaciones o modelos de pensamiento cualitativamente diferentes: a) Concepciones y razonamientos coherentes con el modelo científico de ondas sonoras; b) Modelos de pensamiento híbrido, que combinan explicaciones correctas con ideas confusas y razonamientos acientíficos; c) Concepciones y modelos de carácter alternativo, similares a las que muestran los estudiantes de primer ciclo de universidad (Linder, 1992).

En nuestro país, Perales, Nievas y Cervantes (1989) realizaron un estudio descriptivo de las concepciones previas de los estudiantes de magisterio sobre óptica geométrica. Se eligió el tema de la óptica geométrica para diagnosticar las preconcepciones de 44 profesores de primaria en formación inicial sobre esta materia. Se examinaron las puntuaciones obtenidas en un pretest con respecto a diversas variables que describen factores cognitivos, académicos y sociales. Los resultados sugieren que tanto el nivel de desarrollo cognitivo de los alumnos como sus preconcepciones deben tenerse en cuenta a la hora de elaborar un paradigma integrador para la enseñanza de las ciencias. El estilo cognitivo aparece como una variable más a tener en cuenta en este sentido.

Por su parte, Welti (2002) ha estudiado las concepciones de estudiantes y profesores acerca de la energía de las ondas. Su objetivo era examinar las dificultades que tienen estudiantes y profesores para interpretar los mecanismos físicos asociados con la generación y propagación de una onda y la energía involucrada en estos procesos. Tras analizar los resultados de encuestas y entrevistas realizadas a docentes y alumnos de un curso introductorio de Física de nivel universitario, se apreciaron algunos modelos de pensamiento correctos y otros muchos claramente incorrectos, o bien ambiguos, entre profesores y estudiantes. En el estudio se analizan las posibles causas de estas ideas entre docentes y alumnos, esbozando algunas pautas para lograr un aprendizaje significativo del tema de ondas en la enseñanza de la Física y la formación del profesorado.

Otros autores también han explorado después los conocimientos previos sobre óptica geométrica de una muestra de profesores de Física durante un curso de formación inicial docente (Kaltakci-Gurel, Eryilmaz y McDermott, 2017), considerando que la identificación adecuada de los modelos mentales del alumnado es un paso previo importante para mejorar los procesos de aprendizaje de la Física. Durante el desarrollo de la investigación se consiguió elaborar y validar una prueba de opción múltiple de cuatro niveles destinada a explorar los preconcepciones de los profesores de Física en formación sobre óptica geométrica. Tras varias experiencias piloto en las que se usaron entrevistas y varios borradores del cuestionario se obtuvo el Test de Óptica Geométrica de Cuatro Niveles que fue administrado a 243 profesores en formación de 12 universidades estatales de Turquía. Tras analizar los resultados se pudo verificar la validez y fiabilidad del instrumento y también se identificaron seis modelos mentales alternativos sobre óptica geométrica, que afectaban a uno de cada diez de los participantes en la investigación.

Recientemente se ha realizado un estudio muy interesante sobre los modelos de pensamiento que utilizan los futuros docentes de Física a la hora de explicar el fenómeno de las ondas estacionarias (Aykutlu et al., 2021). La comprensión conceptual de los profesores en formación sobre el concepto de onda estacionaria se determinó a través del patrón fenomenológico, y el objetivo era conocer cómo daban sentido a este fenómeno, cómo lo percibían y experimentaban. En el estudio se recogieron datos de 13 participantes mediante una encuesta de cinco preguntas sobre la naturaleza de las ondas estacionarias producidas en diferentes sistemas o contextos (cuerdas tensas, placas, palos, columnas de aire, sonido producido en instrumentos musicales y ondas electromagnéticas), que se llevó a cabo realizando entrevistas semiestructuradas a tales profesores. Dado que sus respuestas fueron variadas, se analizaron las ideas mostradas a través de mapas cognitivos que pusieron de manifiesto los hechos siguientes: a) los profesores en formación tienen problemas para comprender de forma adecuada la noción de onda estacionaria; b) la mayoría de los participantes tienen información incompleta y no científica sobre este fenómeno ondulatorio (excepto un par de docentes en formación que muestran una comprensión adecuada del modelo científico de onda estacionaria). Las principales dificultades detectadas en esta investigación se refieren a que muchos participantes no sabían explicar la transferencia de energía que se produce en la formación de una onda estacionaria, o eran incapaces de relacionar la energía de la onda con la amplitud. Se observó también que muchos sujetos asimilaban la radiación de un cuerpo negro a las ondas estacionarias sin hacer establecer ninguna relación con la dualidad entre onda y partícula.

2.3.2 Propuestas didácticas y experiencias educativas sobre ondas

La física de las ondas es actualmente uno de los temas fundamentales de la Física, que incluye temas específicos importantes como la acústica, la óptica física, la mecánica cuántica y las ondas electromagnéticas, con aportaciones relevantes en el ámbito de la tecnología y la sociedad. Sin embargo, los estudiantes ven el estudio de las ondas como un tema complicado y lleno de dificultades, tanto desde el punto de vista de los modelos físicos como en su descripción matemática (Rutherford, 2013). A partir de los numerosos estudios previos sobre dificultades de aprendizaje y modelos de pensamiento alternativos de estudiantes de todos los niveles (Maurines, 1992; Saura, 1997; Yavuz Özdemir y Kocakulah, 2017) y profesores de ciencias en formación (Perales et al., 1989; Kaltakci-Gurel et al., 2017; Aykutlu et al., 2021), se

ha visto la necesidad de diseñar y ensayar propuestas metodológicas, de enfoque constructivista, en las que se deben incluir actividades que permitan a los alumnos explicitar sus concepciones personales y modelos mentales sobre las ondas y los fenómenos ondulatorios (de Pro y Saura, 2003), ya que tales actividades pueden servir de ayuda para captar la atención en torno a las explicaciones del docente en aquellos aspectos de los modelos científicos donde existen mayores dificultades de aprendizaje (López-Quintero, Pontes y Varo-Martínez, 2017a). Por ello, antes de formular nuestra propia propuesta para el tratamiento del tema de ondas en la enseñanza universitaria, hemos realizado una revisión de estudios sobre propuestas metodológicas y experiencias educativas sobre esta temática que se comentan a continuación.

2.3.2.1 Propuestas y experiencias didácticas sobre ondas en general

Entre las experiencias educativas que han abordado el estudio completo del bloque de ondas hay que citar la tesis doctoral de (Saura, 1997), en la que se describe la implementación de una propuesta metodológica de carácter constructivista. Participaron 71 alumnos de 2º curso de Formación Profesional (1º grado) de la rama de electricidad y electrónica, a lo largo de un curso académico completo, tratando de averiguar si la aplicación en el aula de una metodología basada en actividades de aula favorecía una evolución positiva de los conocimientos de los alumnos respecto a los contenidos (conceptuales y procedimentales) de ondas, sonido y luz. Para el estudio experimental, se diseñó una fase de acomodación metodológica y un módulo de aprendizaje, previamente fundamentado en un análisis didáctico del contenido y en un estudio de la problemática del aprendizaje sobre esta temática. Asimismo, se planteó una estrategia de seguimiento basada en la utilización de una serie de instrumentos de recogida de información (pruebas escritas, cuaderno de trabajo de los alumnos, entrevistas, diario del profesor, etc.), que tenían gran importancia por estar muy vinculadas al proceso de construcción del conocimiento y que permitía hacer un análisis riguroso del mismo. La investigación realizada partía de la detección de un conjunto amplio de esquemas conceptuales que los estudiantes utilizaban reiteradamente en sus respuestas al test de conocimientos previos, observando que dichos esquemas se fueron ampliando y modificando como fruto del aprendizaje. Se recogieron datos también sobre la valoración que los alumnos hacían al comparar sus conocimientos iniciales con los adquiridos después aplicar esta metodología, y si consideraban que los progresos cognitivos eran significativos respecto al aprendizaje desarrollado durante la experiencia en un amplio número de tópicos (movimiento ondu-

latorio, ondas mecánicas, energía de las ondas, el sonido y sus características, fenómenos acústicos, ondas electromagnéticas, naturaleza de la luz y de la visión, reflexión y refracción de la luz y otros fenómenos luminosos). También se recogieron datos interesantes sobre lo que quedaba de lo aprendido al cabo del tiempo y si se producían pérdidas significativas en los aprendizajes. En años posteriores se han publicado diversos trabajos de actualización de la propuesta didáctica anterior, adaptada al contexto de la enseñanza secundaria obligatoria (Saura y de Pro, 2009), observando que la aplicación en el aula de una metodología de tipo constructivista favorecía una evolución positiva de los conocimientos de los alumnos respecto a los contenidos (conceptuales y procedimentales) sobre ondas, sonido y luz.

También en el contexto de la educación secundaria en Nigeria, Ekomaye (2019) ha realizado una experiencia educativa para determinar el efecto de la enseñanza por indagación) sobre el rendimiento de los estudiantes en el tema de las ondas de luz y sonido. En el estudio participaron 95 estudiantes (dos grupos experimentales y uno de control) y se utilizó un diseño de investigación cuasi-experimental. A los alumnos de tales grupos se les administró una prueba de conocimientos previos antes de la instrucción. Durante el proceso de enseñanza, se presentó el mismo contenido sobre ondas a los dos grupos durante un periodo de seis semanas y después se administró una prueba de evaluación posterior. En el grupo de control se utilizó una metodología tradicional de enseñanza y en los grupos experimentales se aplicó el método de aprendizaje por indagación. Los resultados del estudio revelaron que el grupo experimental obtuvo una puntuación significativamente más alta en la prueba posterior que el grupo de control, concluyendo que el método de indagación contribuye más para mejorar el rendimiento de los estudiantes en ondas luminosas y sonoras, independientemente de otros factores como el género o la edad de los participantes.

En el contexto de la enseñanza universitaria, otros autores han propuesto una metodología alternativa para el tratamiento del tema movimiento ondulatorio (Pérez-Carmona, Tanuré y Esper, 2015). En el citado trabajo, que se fundamenta en el Marco de Enseñanza para la Comprensión, se describe cómo implementar una estrategia pedagógica innovadora para el tratamiento físico-matemático del tema de movimiento ondulatorio, en la formación de estudiantes universitarios de Geología (en Argentina). Para desarrollar esta propuesta se generaron instrumentos que contribuyesen a lograr un mejor entendimiento acerca de los cambios que se producían en la comprensión de los estudiantes en lo que respecta al tema, tras realizar una reestructuración de los conceptos disciplinares.

Como se ha comentado anteriormente, el bloque temático de ondas es muy amplio y, por ello, muchas de las innovaciones y propuestas didácticas se han circunscrito al tratamiento de temas más reducidos como la acústica o la óptica, aunque también se han realizado experiencias sobre el tratamiento didáctico de algunos fenómenos ondulatorios muy específicos (reflexión, refracción, interferencias, ondas estacionarias,...) que se analizan a continuación.

2.3.2.2 Innovaciones educativas sobre ondas mecánicas y acústica

Diversos autores han realizado, desde hace unos años, experiencias innovadoras centradas en el estudio de las ondas mecánicas y del sonido (Hrepic, Zollman y Rebello, 2003; Yalcin, 2010; Leccia, Colantonio, Puddu, Galano y Testa, 2015; Aykutlu et al., 2021), tomando como punto de partida las dificultades de los estudiantes para comprender los modelos científicos sobre generación y propagación de este tipo de ondas que se han analizado anteriormente (Maurines, 1992; Perales, 1997; Sözen y Bolat, 2011). Por ejemplo, Yalcin (2010) puso a sus alumnos a indagar sobre las ondas producidas en la superficie del agua, mediante actividades de aprendizaje colaborativo. Los alumnos descubrieron que en determinadas condiciones de interferencia “las ondas de agua parecían estar quietas”, debido a la formación de ondas estacionarias. En la evaluación de la experiencia se pudo concluir que se había producido un aumento en la comprensión de algunos fenómenos ondulatorios relacionados con las ondas producidas en el agua.

Caleon y Subramaniam (2013) han tratado de favorecer el cambio de concepciones previas de los estudiantes usando el análisis de textos sobre ondas mecánicas. En el citado estudio se exploró la eficacia de un texto y un vídeo de refutación (destinados ambos a promover conflictos cognitivos) para trabajar con las concepciones previas y alternativas que tienen los estudiantes de secundaria sobre el tema de la propagación de ondas en un medio elástico. El texto de refutación que presentaba el modelo partícula-muelle, resultó ser más eficaz para promover el cambio conceptual que un texto tradicional extraído de libros de texto de Física estándar. Un vídeo de refutación, que muestra animaciones del modelo partícula-muelle, así como ilustraciones de los elementos conceptuales de las ideas básicas presentadas en el texto de refutación, parece ser también bastante eficaz para reducir aún más el porcentaje de estudiantes que albergan concepciones alternativas sobre el tema cuando se utiliza para complementar el texto de refutación o el tradicional.

2.3 REVISIÓN DE ANTECEDENTES SOBRE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE EL MOVIMIENTO ONDULATORIO

En el estudio realizado por (Leccia et al., 2015) se presenta una unidad didáctica sobre ondas mecánicas y sonido, basada en la realización de actividades de diversos tipos que incluyen analogías y tareas de enseñanza asistida por ordenador. El objetivo global de tales actividades es trabajar con las concepciones personales de los alumnos sobre la frecuencia y la propagación de las ondas mecánicas utilizando una representación múltiple de varios fenómenos ondulatorios. A tal efecto se presentan ejemplos de mediciones de frecuencia para los sonidos analizados, así como tareas de papel y lápiz para determinar la velocidad del sonido en diversos fenómenos. Finalmente se discuten las implicaciones didácticas de la experiencia para mejorar la enseñanza de las ondas y el sonido.

Bostan Sarioglan (2016) ha realizado un estudio donde se examinaron los procesos de cambio conceptual de los alumnos relacionados con el concepto de sonido, al aplicar un modelo de enseñanza basado en la experimentación. El grupo de estudio estaba formado por 325 alumnos de quinto curso de secundaria. Se utilizaron tres preguntas de opción múltiple como herramienta de recogida de datos. En el proceso de análisis de datos se utilizaron las categorías "respuesta científica", "respuesta científicamente inaceptable" y "sin respuesta". Mientras que la tasa de respuestas científicas sobre el concepto de sonido antes de la instrucción era muy baja, después de la instrucción la tasa de conceptos erróneos ha disminuido. En los estudiantes se encontraron conceptos erróneos como "el sonido no se propaga en la fase sólida y líquida" y "la velocidad de propagación del sonido no depende de la fase". Después de la instrucción, la tasa de respuestas científicas de los estudiantes ha aumentado. El proceso de instrucción basado en la experimentación ha sido eficaz para cambiar las ideas de los alumnos sobre el concepto de sonido.

Por su parte, Bezen y Bayrak (2020) han realizado recientemente una investigación sobre la enseñanza del tema de ondas mecánicas en educación secundaria, aplicando el método de aprendizaje por indagación. Se pretendía evaluar los cambios en la comprensión de los estudiantes acerca de las ondas que se propagan en muelles y cuerdas tensas, en la superficie del agua y en el aire (sonido). Se diseñó un plan de acción didáctica compuesto por actividades de indagación sobre la propagación de ondas mecánicas en los medios citados. Los instrumentos de recogida de datos utilizados en la investigación fueron un cuestionario de comprensión conceptual de las ondas mecánicas, entrevistas semiestructuradas, grabaciones de vídeo, diarios de los alumnos y pruebas de evaluación escritas sobre el aprendizaje del tema. Tras el análisis de resultados se apreció un cambio significativo en la comprensión conceptual de los es-

tudiantes sobre las ondas mecánicas que se propagan en muelles o en el agua y sobre las ondas sonoras, considerando que el método de aprendizaje por indagación contribuyó positivamente a mejorar la calidad educativa en el tratamiento de este tema.

2.3.2.3 Innovaciones educativas sobre ondas electromagnéticas y óptica

También en el tema de las ondas electromagnéticas y de la óptica se han formulado numerosas propuestas metodológicas orientadas a tratar el problema de las concepciones alternativas de los estudiantes. (Perales, 1987; Bascones, 1989; Llinás et al., 2003; Osuna García, 2007).

Entre los primeros trabajos sobre esta temática podemos recordar que Feher (1986), tras comparar las concepciones de novatos y expertos sobre la luz y la visión, elaboró una propuesta metodológica de varias etapas para mejorar la enseñanza de la óptica, que implicaba elicitar, confrontar, involucrar y ampliar los conocimientos, utilizando la exposición de modelos fáciles de entender en las exposiciones que se llevan a los talleres infantiles y en los cursos de formación inicial del profesorado de ciencias. Posteriormente, Feher (1990) analizó el papel de los museos interactivos en el proceso de Enseñanza-Aprendizaje de la luz y de la visión, indicando que tales lugares ofrecen un tipo de laboratorio de investigación único para estudiar cómo aprenden ciencia las personas de todas las edades.

Trabajando también en esta temática Beléndez, Pascual y Rosado (1989) realizaron un estudio donde se analiza el papel de la óptica en la ciencia y la importancia de su enseñanza, apuntando ideas para enseñar modelos sobre la naturaleza de la luz. Fetherstonhaugh y Treagust (1992) estudiaron la efectividad en el aula de estrategias y materiales elaborados a partir de la exploración de las concepciones previas de los estudiantes sobre la luz y sus propiedades. Solbes y Zacarés (1993) analizaron la introducción de las nociones básicas de óptica en libros de texto de bachillerato, exploraron las concepciones de los estudiantes de diversos niveles sobre esta temática con alumnos de bachillerato y formularon orientaciones didácticas de enfoque constructivista.

Otras investigaciones sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje de la óptica realizadas en nuestro país dieron lugar al desarrollo de varias tesis doctorales sobre el tema. En la tesis de Llinás et al. (2003) se analiza el marco teórico que explica la existencia de preconcepciones en ciencias y se proponen innovaciones didácticas para la enseñanza de la Física. En el desarrollo de esta investigación se ha elaborado y validado experimentalmente un modelo de enseñanza-aprendizaje sobre contenidos de

2.3 REVISIÓN DE ANTECEDENTES SOBRE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE EL MOVIMIENTO ONDULATORIO

Óptica Geométrica basado en la Teoría de la Elaboración de Reigeluth y Stein complementada con las innovaciones propuestas. En la tesis de Osuna García (2007) se ha procedido a la planificación, puesta en práctica y evaluación de la enseñanza problematizada sobre la luz y la visión en la educación secundaria obligatoria. Tras una revisión histórica de las ideas científicas en este campo y de la investigación didáctica sobre el tema, se ha planificado una propuesta didáctica que se ha implementado en el aula, partiendo del análisis de los obstáculos que dificultan el proceso de aprendizaje significativo del alumnado. La puesta en práctica de la secuencia de enseñanza de estructura problematizada ha permitido reducir notablemente tales obstáculos y se ha alcanzado un buen nivel de comprensión global del modelo científico sobre la visión humana.

En fechas más recientes, algunos autores han estudiado las ideas previas de los estudiantes universitarios sobre el color, como punto de partida para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje sobre este tema (Martinez-Borreguero, Pérez-Rodríguez, Suero-López y Pardo-Fernández, 2013). En esta investigación se utilizaron mapas conceptuales para reflexionar sobre las preconcepciones erróneas que se encontraron en la aplicación de una prueba específicamente diseñada para explorar los conocimientos previos sobre el tema. Se demostró que las concepciones alternativas encontradas tenían una consistencia interna en forma de pequeñas mini-teorías (teorías implícitas). Se compararon experimentalmente los resultados de dos métodos de enseñanza diferentes aplicados para combatir estos conceptos erróneos. Este estudio se realizó con 470 estudiantes de primer ciclo de Universidad, que se dividieron aleatoriamente en un grupo experimental (GE) y un grupo de control (GC). Para tratar de superar sus concepciones alternativas previas, el GE siguió un método basado en el uso de mapas conceptuales, y en el GC se siguió el método de enseñanza tradicional. Se compararon los resultados de un pre-test y un post-test para los dos grupos, encontrando diferencias estadísticamente significativas. Los resultados permitieron considerar que los mapas conceptuales favorecen el aprendizaje significativo y ayudan a superar muchas de las concepciones alternativas de los estudiantes sobre este tema.

Otra experiencia didáctica interesante en el ámbito de la óptica ha sido realizada por Mešic, Hajder, Neumann y Erceg (2016). Tales autores consideran que los estudiantes de todos los niveles educativos muestran importantes dificultades para desarrollar una visión cualitativa adecuada de la óptica ondulatoria. Por ello han puesto en práctica tres enfoques diferentes para visualizar las ondas de luz y han analizado

cómo afectan a la comprensión de los conceptos y leyes de la óptica. En el primer enfoque, el convencional, las ondas de luz se representan mediante curvas sinusoidales. El segundo enfoque didáctico incluye la representación de las ondas de luz mediante una serie de imágenes estáticas, mostrando los vectores del campo eléctrico oscilantes en instantes de tiempo característicos y posteriores. En el tercer enfoque se utilizan fasores para visualizar las ondas luminosas. Un total de $N = 85$ estudiantes de secundaria fueron asignados al azar a uno de los tres enfoques de enseñanza, cada uno de los cuales duró un período de cuatro horas de clase. Los estudiantes que aprendieron con los fasores y los que aprendieron con las series de imágenes estáticas superaron a los estudiantes que aprendieron según el enfoque convencional, es decir, mostraron una comprensión mucho mejor de la óptica ondulatoria básica, según se midió en una encuesta de tipo conceptual administrada a los estudiantes una semana después del tratamiento. Los resultados obtenidos sugieren que la visualización de las ondas de luz con fasores o con vectores de campo eléctrico oscilantes constituye un enfoque prometedor para desarrollar una comprensión más profunda de la óptica ondulatoria.

2.3.2.4 Innovaciones sobre fenómenos ondulatorios específicos

Considerando la amplia gama de fenómenos ondulatorios que existen en la naturaleza es comprensible que se hayan realizado, a lo largo de los años, numerosos estudios sobre el tratamiento didáctico específico de algunos de estos fenómenos. A continuación se analizan algunos de tales estudios que implican el diseño de actividades, la implementación de estrategias docentes innovadoras o el uso de recursos educativos de todo tipo.

En torno al tema de la superposición de ondas y los fenómenos derivados de este proceso Sungar (1996), ha presentado una actividad diseñada para cursos de introducción a la Física que trata de mejorar la comprensión de los estudiantes sobre la naturaleza de las ondas el principio de superposición. El autor ha puesto en práctica dicha actividad utilizando dos enfoques educativos diferentes que permiten a los estudiantes ver la conexión entre las propiedades espaciales y temporales de los movimientos ondulatorios y ayudan a interpretar mejor los fenómenos de superposición de ondas.

La luz se puede definir como una onda o una partícula dependiendo del fenómeno físico que se esté presentando. Sobre esta dualidad el investigador Ramírez y others (2007) ha realizado un experimento orientado a explicar el fenómeno de interferencia

de la luz de forma cualitativa, considerando que se comporta como una onda emitida por un láser de helio-neón dentro de un tubo de vidrio (ya sea una probeta o un tubo fluorescente). La interferencia producida se debe a la reflexión interna entre las superficies del vidrio, que debido a la curvatura y al índice de refracción del vidrio produce la superposición espacial de los frentes de onda, y de esta forma se puede observar el fenómeno. El experimento se ha realizado con el fin de ofrecer una introducción a la óptica ondulatoria, porque el autor considera que en la mayoría de los centros de enseñanza secundaria se explica la óptica geométrica a partir de los rayos de luz o las radiaciones consideradas como partículas. El tratamiento didáctico del fenómeno de interferencia de ondas también ha sido abordado desde la perspectiva del principio de conservación de la energía por Drosd, Minkin y Shapovalov (2014). Estos autores consideran que la interferencia es un proceso de redistribución de la energía de las fuentes de ondas en el espacio circundante que da lugar a interferencias constructivas y destructivas. Como es de esperar, el flujo total de energía se conserva, pero hay situaciones en las que parece no conservarse la energía y los autores utilizan este tipo de controversias para discutir problemas físicos interesantes en las aulas universitarias.

También en el ámbito de la actividad experimental algunos autores (Ramírez-Flores, Rodríguez, Guel, Rodríguez y Luna, 2016) han diseñado un sistema de comunicación óptica, utilizando diodos láser de bajo coste y hologramas de multiplexación, para ayudar a los estudiantes universitarios a manipular y comprender la naturaleza ondulatoria de la luz. Con este sistema se pueden enviar diversos tipos de información, usando longitudes de onda apropiadas para realizar un efecto de multiplexación. La modulación de la luz láser se realizó por medio de circuitos eléctricos simples estándar que llevan a cabo diferentes tipos de información tales como señales de audio, transmisiones de radio, etc. Además, con circuitos estándar simples para los fotodetectores, se pueden convertir las variaciones de intensidad de luz en diferencias de señal eléctrica que permiten la recuperación de la información final, utilizando los transductores correspondientes, como altavoces. El método propuesto se ha probado en una experiencia educativa que ha proporcionado resultados favorables en torno al aprendizaje de los conceptos y procesos involucrados en la actividad experimental.

Un fenómeno ondulatorio típico como el corrimiento Doppler se ha utilizado en el desarrollo de una propuesta didáctica diseñada por Szigety, Bernal y Bilbao (2017)). Tales autores consideran que los trabajos prácticos de laboratorio sobre efecto Dop-

pler óptico son una tarea compleja, tanto en el diseño como en su realización para fines didácticos. La principal dificultad es el movimiento de la fuente, ya que pequeñas perturbaciones del orden de la longitud de onda de la luz introducen ruidos en la medición. El uso de un espejo giratorio, en el que un haz se refleja desde el lado de avance y otro es reflejado desde la parte en retroceso, minimiza problemas de ruido. El trabajo práctico que proponen los autores de este trabajo se puede realizar con material de bajo costo y accesible a un laboratorio con fines didácticos. En la propuesta se incluyen actividades (en formas de cuestiones y problemas) que permiten al alumnado universitario abordar el desarrollo de esta experiencia, tratando de extraer conclusiones interesantes desde el punto de vista teórico y procedimental o metodológico.

Diversos autores han abordado el tratamiento didáctico del fenómeno de superposición de ondas sonoras (Jaafar, Daud y Yusof, 2019). Para ello han tratado de visualizar las consecuencias del principio de superposición de las ondas sonoras usando un tubo de resonancia de extremos cerrados, cuyas características se describen en este estudio. Los resultados obtenidos permiten a los autores confirmar que el experimento puede utilizarse para visualizar el principio de superposición de las ondas sonoras en tubos de resonancia y realizar actividades de reflexión sobre los conceptos físicos involucrados en este proceso.

En relación con el estudio simultáneo de varios fenómenos ondulatorios importantes, Bravo y Pesa () han formulado una propuesta didáctica para el familiarizar a los alumnos universitarios con los modelos explicativos sobre interferencia y difracción de la luz en el laboratorio de Física, tratando de fomentar el aprendizaje significativo de conceptos físicos. Los autores tratan de abordar situaciones que actúen como referentes de los conceptos involucrados, elaborar material didáctico que actúe como organizador previo, proponer secuencias de actividades e identificar invariantes operatorios y representaciones simbólicas relevantes para el desarrollo de cada una de las actividades propuestas, incluyendo las pautas de intervención docente durante su realización. La propuesta se estructura en base a secuencias de actividades experimentales de complejidad creciente, estructuradas alrededor del concepto de coherencia luminosa, que atienden a la progresión en la construcción del conocimiento por parte de los alumnos. Su desarrollo está pautado por el rol del docente como mediador, tanto para explicitar los significados que van adquiriendo los alumnos, como para negociar sobre ellos durante el desarrollo de las actividades experimentales. Sobre la doble temática de la interferencia y difracción de ondas también han trabajado Rabosky, Inglefield y Spirito (2020), realizando un experimento clásico de introducción al Preg-

rado de Física que consiste en medir el patrón de difracción e interferencia óptica de las rendijas simples y dobles para determinar la anchura y la separación de las mismas. Esta innovación educativa se ha llevado a cabo en el marco de un proyecto de Experiencias de Investigación de Pregrado en Física, donde se pretende fomentar que esta ciencia sea más inclusiva y que ayuden al alumnado a entender mejor en qué consiste el proceso de investigación científica.

En general los estudiantes suelen tener dificultades para comprender las situaciones en las que se manifiestan las características ondulatorias de la luz. Durante el proceso de enseñanza de la óptica ondulatoria diversos autores han estudiado el nivel de comprensión de la difracción reflexiva de la luz y el fenómeno de la difracción en general con un grupo de alumnos de secundaria (Krulj y Nešić, 2019). En esta experiencia han analizado la posibilidad de utilizar rejillas de difracción reflexiva adecuadas (discos compactos y reglas con marcas milimétricas y semimétricas) mediante experimentos de indagación escolar. Usando métodos adecuados de visualización de la superposición de las ondas luminosas, esos experimentos proporcionan una buena base para fomentar un cambio conceptual adecuado en la comprensión del modelo científico sobre la difracción de la luz.

Por último, entre los antecedentes sobre innovaciones educativas se han encontrado muchos trabajos relacionados con el tratamiento didáctico de un fenómeno ondulatorio de gran importancia como es la formación de ondas estacionarias (Aykutlu et al., 2021). Este tema se ha abordado en numerosos estudios didácticos. Tales fenómenos se producen en un alambre, una placa, una barra, una columna de aire, el sonido, la luz o las ondas electromagnéticas en general, de modo que pueden tener lugar en la mayoría de los sistemas que tienen una vibración.

Por ejemplo, en el tema de sonido Davis (2007) realizó un experimento visual llevando una guitarra a la clase de Física. Así los estudiantes de secundaria tuvieron la oportunidad de observar la onda estacionaria que se formaba en la cuerda de la guitarra y de dar sentido a cómo se crean diferentes notas determinando de forma diferente las condiciones de contorno. Como conclusión en el estudio, se determinó que los estudiantes aprendieron mejor el modelo científico de ondas estacionarias y prestaron mayor interés a las explicaciones del profesor sobre este fenómeno físico. También Crockett y Rueckner (2018) examinaron la formación de un patrón de onda estacionaria con ondas sonoras. Si bien el estudio se realizó en un entorno de laboratorio dentro del departamento de Física, se comprobó que la formación de la onda estacionaria en las ondas sonoras podía verse en las actividades experimentales.

Además, se indicó que los entornos de laboratorio permiten a los estudiantes concretar los conocimientos teóricos y abstractos para aprenderlos adecuadamente.

Sobre la formación de ondas estacionaria Bhathal, Sharma y Mendez (2009) realizaron aplicaciones de experimentos de Física para estudiantes de Ingeniería y analizaron el proceso de aprendizaje desarrollado. En torno a estos experimentos los autores consideran que la onda estacionaria es un fenómeno conceptualmente difícil de entender, de modo que la visualización de este experimento es esencial para su tratamiento didáctico. Al final del estudio, se determinó que el aprendizaje del modelo de onda estacionaria que se desarrolla en el laboratorio, mediante la visualización del fenómeno físico, ayuda a los estudiantes a comprender mejor los conceptos abstractos y a utilizar las leyes físicas para interpretar mejor los fenómenos ondulatorios. Además de comprobar un mayor grado de aprendizaje significativo se observó también un mayor interés del alumnado durante el desarrollo de la experiencia.

En una experiencia realizada por Rutherford (2013), el autor pidió a los estudiantes de secundaria que hicieran mediciones sobre los sistemas de ondas estacionarias verticales y horizontales, impulsando a que los estudiantes trataran de interpretar los datos experimentales mediante conjeturas teóricas. Al final del estudio, el autor indica que al considerar la onda estacionaria como un fenómeno visual se asegura que los estudiantes alcancen una comprensión más clara sobre la formación de los armónicos. Trabajando también en el tema de ondas mecánicas varios autores desarrollaron un montaje experimental casero para observar la formación de ondas estacionarias en cuerdas tensas (Bozzo, de Sabata, Pistori y Monti, 2019), mostrando las relaciones entre los conceptos básicos relacionados con este fenómeno como son la longitud de onda, el periodo y la tensión del hilo. Se subrayó que este tipo de montajes experimentales aumenta el interés y la motivación de los estudiantes.

Por su parte, Brody et al. (2014) examinaron cómo las microondas, que son ondas electromagnéticas, forman un patrón de ondas estacionarias. En este estudio, se determinaron las ondas estacionarias que se forman entre el transmisor de microondas y la placa metálica, y los datos obtenidos fueron contrastados con el modelo teórico por los estudiantes de Física. Los autores concluyen que se trata de un experimento simple, en el que las microondas crean una onda estacionaria, que ayuda a los estudiantes a comprender mejor un fenómeno complejo trabajando en de forma experimental.

En varios estudios, se ha visto que que las ondas estacionarias pueden servir como vía para analizar otros fenómenos ondulatorios más complejos. Por ejemplo, con actividades sobre la interferencia, Yavuz Özdemir y Kocakulah (2017) examinaron la

evolución conceptual de los estudiantes de secundaria en relación con este concepto. Realizado con un grupo de control y otro de experimentación, este estudio determinó que los estudiantes del grupo de experimentación fueron capaces de explicar correctamente este fenómeno mencionando las ondas estables en la interferencia después de las actividades realizadas con el grupo.

Además de las innovaciones metodológicas desarrolladas para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje de la Física Ondulatoria, que se han descrito anteriormente, hay que tener en cuenta que en las dos últimas décadas las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) han desempeñado un papel importante en la renovación de la educación científica (Pontes, 2005; Romero y Quesada, 2014; Valverde, 2018). Por ello también se han realizado muchas experiencias sobre la aplicación de recursos TIC en la enseñanza de la Física en general y en el tratamiento didáctico del tema de ondas (Ambrose, Heron, Vokos y McDermott, 1999b; Bouciguez y Santos, 2010; Moreno, 2013). Pero esta temática es bastante importante para el desarrollo de esta investigación y se analizará con detalle en un apartado posterior.

2.4 Aplicaciones de las TIC en la educación científica

En las últimas décadas se han ido incorporando a la educación científico-técnica diversas metodologías que hacen uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), incluyendo el desarrollo de nuevas estrategias docentes y el uso de una amplia gama de recursos digitales, disponibles muchas de ellas en Internet (Windschitl y Andre, 1998; Esquembre Martínez, Martín, Christian y Belloni, 2004; Pontes, 2005; Romero y Quesada, 2014).

En varias revisiones bibliográficas sobre esta temática (Webb, 2005; Valverde, 2018; López-Quintero et al., 2019) se describen muchas de las mejoras educativas que aportan las TIC a la enseñanza de las ciencias, como son las siguientes: promover la interacción y participación del alumnado en el aprendizaje (a través de discusiones y debates que utilizan foros digitales y plataformas de intercambio de información), proporcionar una visión más amplia de las experiencias, relacionar mejor los conceptos científicos con el contexto del alumnado y mejorar el rendimiento intelectual del alumnado en las materias científico-técnicas. Dentro de la enseñanza de la Física, algunos de los citados estudios han puesto de manifiesto el especial interés de las simulaciones interactivas para ayudar a resolver problemas de tipo cualitativo y

cuantitativo, desarrollar destrezas científicas, enriquecer los contextos educativos y la visualización de los fenómenos, comprender mejor los conceptos físicos y los modelos científicos, aprender haciendo indagaciones en laboratorios virtuales, facilitar la recolección y análisis de datos experimentales, ayudando a promover el cambio conceptual y la evolución de los modelos mentales de los estudiantes (Esquembre Martínez et al., 2004; Romero y Quesada, 2014).

2.4.1 Metodologías Interactivas

Bajo el nombre de *Interactive Engagement* (compromiso interactivo) se engloban varias metodologías que llevan desarrollándose desde hace varias décadas, especialmente a partir de 1990, en algunas universidades de Estados Unidos, y que posteriormente se han extendido a otros países. Tales métodos surgieron inicialmente en el ámbito de los cursos introductorios de Física, aunque su puesta en práctica se ha ido extendiendo a otros campos de la educación científico-técnica. Se basan en la evidencia de que la enseñanza tradicional -donde el alumno suele adoptar un papel pasivo— no contribuye como cabría esperar a mejorar el proceso de aprendizaje y a fomentar el cambio conceptual de los estudiantes (McDermott, 1984; Halloun y Hestenes, 1985; Reif, 1986; Mazur, 1997; Hwang y Chang, 2011; Morais et al., 2015). Frente a este panorama y, con objeto de fomentar el aprendizaje activo, las clases de ciencias empezaron a incluir debates y resolución de problemas en grupo, incorporando también espacios y medios tecnológicos para facilitar la comunicación entre alumnos y docentes. Un ejemplo comparativo del tipo de comunicación que se produce en ambos enfoques educativos puede apreciarse en la Figura 2.1.

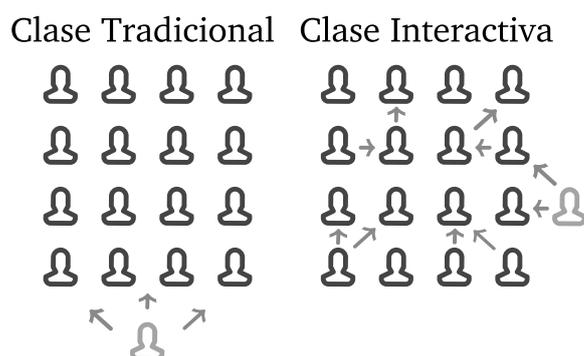


Figura 2.1: Comunicación en las metodologías tradicionales versus interactiva

Varios estudios aportan datos y argumentos suficientes para considerar que estas metodologías interactivas suponen una clara mejora de la motivación y del aprendizaje de los alumnos (Hake, 1998; Cortright, Collins y DiCarlo, 2005; Knight y Wood,

2005; Yourstone, Kraye y Albaum, 2008; Prather, Brissenden, Tipo y Klein, 2009a; Hodges, Anderson, Carpenter, Cui, Feeser y Gierasch, 2017; Onodipe y Ayadi, 2020). Asimismo, cuando son introducidas los estudiantes suelen preferirlas frente a los métodos tradicionales de la enseñanza transmisiva, e igualmente perciben que las metodologías interactivas proporcionan amenidad a las clases, incrementan la atención del alumnado y contribuyen a entender mejor los contenidos que se desarrollan en clase (Sharma, Khachan, Chan y O'Byrne, 2005; DeBourgh, 2008; Patry, 2009; Perkins y Turpen, 2009; Prather, Rudolph, Brissenden y Schlingman, 2009b; Onodipe y Ayadi, 2020) Las principales diferencias entre la metodología tradicional y la interactiva han sido expuestas por Hake (1998) y pueden destacarse las siguientes:

- Enseñanza tradicional (*traditional methods*): aquella que se basa exclusivamente en clases teóricas de comunicación unidireccional, recetas para hacer prácticas de laboratorio, resolución algorítmica de ejercicios y problemas y exámenes de tipo memorístico.
- Clases interactivas (*Interactive-Engagement*): métodos diseñados para promover el aprendizaje activo y significativo a través de un compromiso de comunicación basado en técnicas de participación interactiva, y que propician una retroalimentación inmediata a través de la discusión entre alumnos y docentes en el aula.

Uno de los principales cambios que introducen estas nuevas metodologías es la necesidad de reservar tiempo de clase para permitir a los estudiantes discutir la resolución de problemas con sus compañeros cercanos y, también, permitir que el profesor actúe como un guía de este proceso. Este sistema se conoce como *Peer Learning* (aprendizaje entre iguales). Varios autores señalan que explicar, argumentar y confrontar las ideas en clase supone una gran ventaja pedagógica y ayuda a compartir e integrar el conocimiento (Hake, 1998; Smith, Wood, Adams, Wieman, Knight, Guild y Su, 2009; Chen, Whittinghill y Kadlowec, 2010; Pollock, Chasteen, Dubson y Perkins, 2010)

En el enfoque metodológico denominado *Peer Instruction*, (Mazur, 1997) propone invitar a los estudiantes a ser participantes activos durante todo el tiempo en el que transcurre una clase teórica. Para conseguirlo de manera regular se deben realizar preguntas que requieren algún tipo de razonamiento no inmediato para ser resueltas. Estas cuestiones son respondidas por todos los alumnos, a través de sistemas de respuesta inmediata (SRI en adelante). Estos sistemas (que se analizan con mayor detalle en la sección siguiente) consisten generalmente en un recurso electrónico que

permite a todos los estudiantes presentes en clase elegir su respuesta de manera instantánea y simultánea, a través de un dispositivo inalámbrico e individual.

El citado autor recomienda ofrecer a los alumnos dos oportunidades para responder correctamente a cada pregunta planteada. En una primera fase los alumnos hacen un razonamiento individual, y posteriormente responden de nuevo tras argumentar durante unos minutos con sus compañeros. Este proceso permite cambiar su respuesta individual a cada estudiante, después un debate con sus compañeros, lo cual permite fomentar el aprendizaje colaborativo, mediante la discusión y la argumentación compartida de los contenidos que se pretenden enseñar. Por otra parte, con respecto a esta recomendación otros autores sugieren que no sólo se puede atribuir una mejora en la respuesta, basándose únicamente en la discusión entre compañeros, sino también al hecho de que observar la respuesta más común puede crear un sesgo cuando se contesta por segunda vez (Perez, Strauss, Downey, Galbraith, Jeanne y Cooper, 2010)

Otra implementación de este tipo de metodologías interactivas, que también hace uso de los SRI, ha sido llevada a cabo por (Dufresne, Gerace, Leonard, Mestre y Wenk, 1996). Usando la herramienta *Classtalk* tales autores presentan cuestiones de opción múltiple con el objetivo de que se resuelvan en clase mediante la discusión en pequeños grupos. Posteriormente cada uno de éstos envía una única solución colectiva al receptor. Tras la recolección de todas las respuestas se proyecta un diagrama de barras con los resultados de todos los estudiantes. Este hecho da lugar a un segundo debate, pero esta vez toda la clase interviene en el mismo. Los citados autores también recalcan que este sistema puede ser una herramienta útil para comprometer a los estudiantes con el aprendizaje activo y para promover la comunicación dentro del aula.

Por su parte, (Beatty, 2004) señala algunos cambios y dificultades que el profesor debe afrontar para implementar estas metodologías de corte interactivo. Entre ellas está dedicar tiempo a desarrollar nuevas habilidades o destrezas como las siguientes: (a) crear preguntas que fomenten el razonamiento, (b) controlar y resolver los posibles problemas que se presenten en los sistemas informáticos, (c) moderar discusiones y (d) volver a dirigir la atención de los estudiantes tras las discusiones. Otro aspecto que recalca dicho autor es la necesidad de disminuir el control de la clase en el aparente caos que puede suponer tener a varios grupos discutiendo al mismo tiempo.

Una de las principales estrategias de las que hacen uso estas metodologías interactivas son las cuestiones interactivas sobre los conceptos científicos que se introducen en clase conocidas como preguntas conceptuales (*Concept Test* en inglés).

Éstas consisten generalmente en cuestiones de opción múltiple, en las que los estudiantes deben elegir una opción verdadera entre varias incorrectas. El diseño de las mismas no es trivial, y requiere un estudio y planificación previa. Según Smith, Sheppard, Johnson y Johnson (2005) estas cuestiones se deben diseñar con la triple finalidad de que los alumnos se enfrenten a la resolución de un problema nuevo que les presente cierta dificultad, que utilicen los razonamientos y argumentos adecuados desde el punto de vista científico y que aprendan a relacionar los conceptos entre sí. Por otra parte, Crouch y Mazur (2001) sostienen que usar las preguntas conceptuales apropiadas para cada concepto es necesario para que las mismas resulten efectivas. Por tanto, recomiendan que se diseñen para dar a los estudiantes la oportunidad de explorar conceptos importantes, más que como herramientas para probar la memoria o el ingenio. Asimismo, los autores sugieren que las respuestas incorrectas sean plausibles y, en la medida de lo posible, basadas en las ideas previas y errores comunes de interpretación de conceptos. Un ejemplo de este tipo de preguntas, así como un diagrama de barras similar a los que los estudiantes pueden ver tras la votación, se muestra en la Figura 2.2.

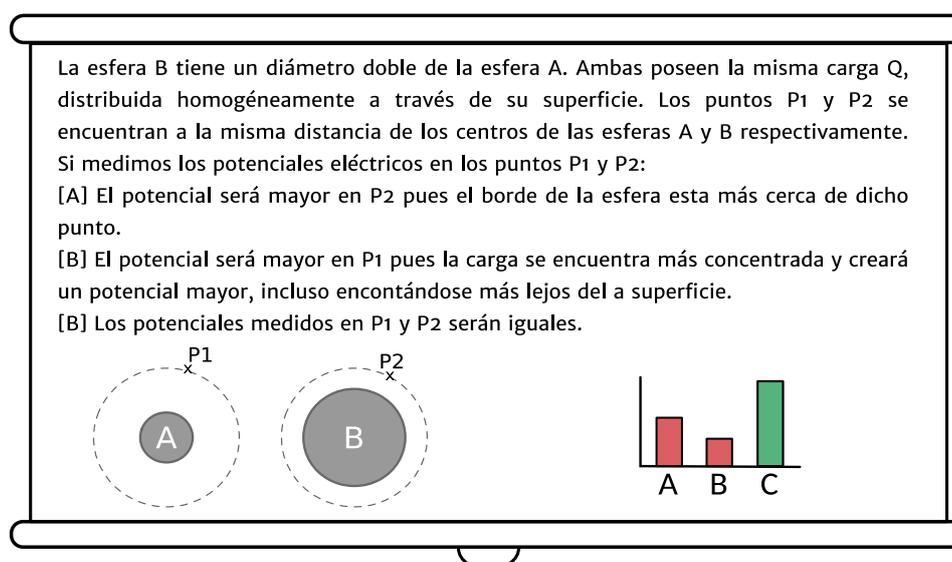


Figura 2.2: Pregunta conceptual y ejemplo de pantalla de resultados

2.4.2 El uso de estrategias y recursos interactivos para la mejora de los procesos de aprendizaje

Desde hace tiempo se han realizado diversos estudios que muestran que las metodologías interactivas basadas en el uso educativo de recursos TIC de pueden reportar

beneficios para mejorar la eficacia de los procesos de aprendizaje. Poulis, Massen, Robens y Gilbert (1998) hicieron notar en su día que los estudiantes obtienen mejores resultados en los exámenes cuando se ha hecho uso de los SRI en las clases teóricas. Por otra parte, en un estudio con N=146 participantes de biología Knight y Wood (2005) concluyen que los alumnos que han participado en clases interactivas desarrollan mejores habilidades para resolver problemas conceptuales frente a los que han seguido una metodología tradicional. También Bardar, Prather, Brecher y Slater (2006) consideran que una metodología interactiva es capaz de incrementar el aprendizaje significativo de los conceptos físicos. Por el contrario, también existen algunas investigaciones donde se indica que el hecho de utilizar en el aula una metodología basada en debates y sistemas de respuesta inmediata no supone siempre una ganancia en el aprendizaje (Gray y Steer, 2012).

Con respecto a la mejora de la atención en clase, en un estudio realizado con 186 estudiantes de distintas asignaturas de ciencias, que seguían clases de tipo tradicional y de tipo innovador, los autores concluyen que los estudiantes no mantienen la atención de manera continuada durante una sesión completa basada en la pura transmisión de conocimientos (Bunce, Flens y Neiles, 2010). Recomiendan, por tanto, a los profesores utilizar estrategias de enseñanza-aprendizaje centradas en potenciar la actividad de los alumnos, como pueden ser las preguntas conceptuales realizadas con SRI. Tales autores consideran que de ese modo se mejora notablemente la atención y el interés del alumnado.

En la enseñanza de la Física se han realizado algunas investigaciones de carácter comparativo, que utilizan muestras muy numerosas de estudiantes, donde se muestra como las metodologías interactivas que usan SRI en el aula suponen una mejora notable en el rendimiento académico del alumnado participante. Por ejemplo, Hake (1998) coordinó el desarrollo de un estudio donde participaron 6542 estudiantes universitarios, pertenecientes a 62 cursos de introducción a la Física, que incorporaron metodologías interactivas, frente a otros muchos grupos que siguieron el método de enseñanza tradicional (con una muestra de 3259 sujetos). Para medir el rendimiento académico y la mejora del aprendizaje se usó el *Force Concept Inventory*, que consiste en un cuestionario sobre conocimientos de física newtoniana, diseñado y validado anteriormente por Hestenes, Wells y Swackhamer (1992) y que se ha usado en otras muchas investigaciones posteriores (Savinainen y Viiri, 2008; Lasry, Rosenfield, Dedic, Dahan y Reshef, 2011). Tras el análisis comparativo de los numerosos datos recogidos en el estudio de Hake (1998) se llegó a concluir que los cursos de Física donde se utilizaron estrategias de enseñanza interactiva con ayuda de SRI contribuyen

a mejorar la eficacia educativa respecto a los cursos impartidos con métodos tradicionales.

Asimismo, en otro estudio longitudinal con datos recopilados durante diez años, Crouch y Mazur (2001) encontraron resultados que indican que el uso de la metodología *Peer Instruction* incrementa tanto la comprensión de los conceptos físicos como la resolución de problemas de tipo cuantitativo. En otra investigación, en la que participaron cerca de 4000 estudiantes, los autores descubrieron que -cuando se utiliza una mayor interactividad metodológica en las aulas- los estudiantes obtienen mejores resultados en el aprendizaje de conceptos de óptica física, usando como instrumento de investigación el *Light and Spectroscopy Concept Inventory* (Prather et al., 2009b)

2.4.3 Los Sistemas de Respuesta Inmediata en la enseñanza Universitaria

Los mandos interactivos a distancia consisten en instrumentos electrónicos que permiten a los estudiantes responder individualmente y de forma instantánea a las preguntas realizadas en clase por los docentes. Los dispositivos actuales suelen ser inalámbricos y han ido reduciéndose tanto en peso como en tamaño. Funcionan con baterías de tipo botón, y los más comunes suelen ser aquellos que usan un sistema de radiofrecuencia, los cuales permiten contestar sin tener que orientar completamente el emisor hacia el receptor, aunque también se pueden sustituir por teléfonos móviles con aplicaciones del tipo *Kahoot!*. Tanto su aplicación en el aula como sus efectos educativos han sido investigados ampliamente en la literatura sobre tecnología educativa (Varo-Martínez, López-Quintero, Pontes-Pedrajas, Muñoz-Rodríguez, Pérez-Martín y Muñoz-Peinado, 2007; Hwang y Chang, 2011; Morais et al., 2015; Hodges et al., 2017; Thapar-Olmos y Seeman, 2018; Onodipe y Ayadi, 2020), aunque se utilizan múltiples denominaciones para referirse a estos sistemas tanto en inglés ("*personal response system*", "*classroom response system*" o "*clickers*",...), como en español ("*dispositivos interactivos de respuesta*", "*sistemas de respuesta inmediata*", "*mandos interactivos a distancia*" y otras denominaciones).

En la Figura 2.3 se muestra un diagrama de un posible flujo de comunicación que se suele producir en un aula donde se han incorporado sistemas de respuesta inmediata (López-Quintero, Varo-Martínez y Pontes, 2017b). Durante una clase con estos dispositivos se pueden formular preguntas por parte del profesor de la forma tradicional, pero además de éstas se introducen preguntas conceptuales de manera

periódica 'B'. Este tipo de cuestiones de opción múltiple se formulan a través de un método electrónico, de manera que cada uno de los alumnos puede responder mediante el uso de un mando a distancia, 'C'. Tras la respuesta se muestra cual es la opción correcta y se produce una pequeña repetición de la teoría 'D' y/o un debate 'E'. Este proceso se repite varias veces durante cada sesión de modo planeado por el profesor durante el diseño de la unidad didáctica, generalmente incorporándolo dentro de una presentación de diapositivas digitales.

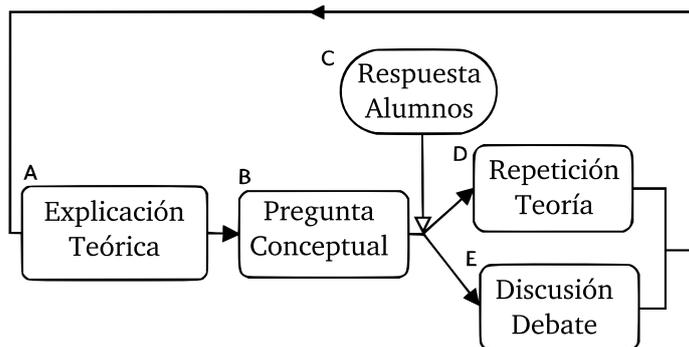


Figura 2.3: Diagrama de flujo de comunicación en el aula

Para implementar esta metodología se necesita un soporte informático dentro del aula. Una configuración de equipo frecuente consiste en un ordenador portátil, donde se ha instalado previamente una aplicación informática que permite recoger y almacenar las respuestas individuales de los alumnos. La recepción se realiza a través de un sistema inalámbrico similar al mostrado en la Figura 2.4. El equipo completo aquí descrito consiste en: (1) pantalla (2) proyector de vídeo, (3) ordenador portátil, (4) antena receptora conectada al puerto USB del mismo y (5) mandos interactivos que se reparten los alumnos al inicio de la clase. Un esquema de esta configuración se encuentra ilustrada en la Figura 2.5.



Figura 2.4: Mando de respuesta inmediata y receptor USB

Las preguntas realizadas a través de este sistema están integradas en forma de diapositivas como parte la presentación que se proyecta, siguiendo generalmente siguiente orden: (1) se muestra y se lee el texto de la pregunta, tras la lectura (2) se enciende el receptor —generalmente visualizando una cuenta atrás en la pantalla— y en este momento los alumnos responden pulsando el botón correspondiente en su mando, acabado el tiempo (3) aparece una gráfica de barras mostrando los porcentajes de cada opción.

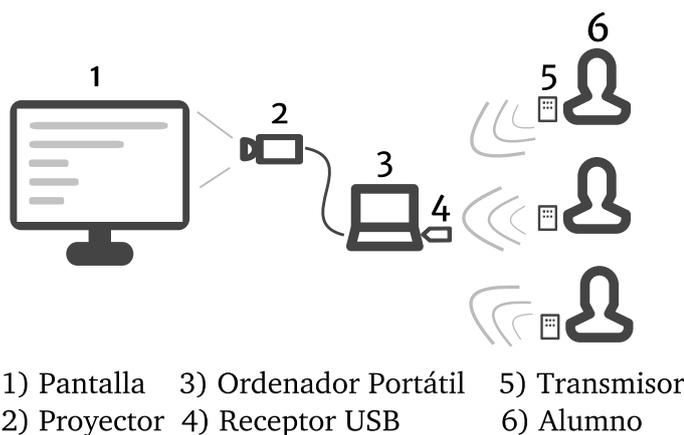


Figura 2.5: Configuración del equipo

A la hora de mostrar dichos porcentajes se puede optar por resaltar la opción correcta con un color diferente, y a partir de ahí generar una pequeña discusión o una repetición de la teoría. Otra opción es enseñar los resultados de la votación, pero sin señalar la respuesta correcta, y posteriormente invitar a los alumnos a que debatan durante un periodo de tiempo (generalmente de unos pocos minutos) sobre los resultados y el porqué de su elección. Posteriormente se repite la pregunta, esta vez mostrando cual es la opción verdadera. Durante el debate el profesor puede asesorar a los alumnos en pequeños grupos. Este sistema es el recomendado por Mazur (1997) en su manual sobre *Peer Instruction*, que se ha aplicado posteriormente en numerosas experiencias educativas (Morais et al., 2015) (López-Quintero, Varo-Martínez, Laguna-Luna y Pontes, 2016) (Hodges et al., 2017). Durante el trascurso de la clase la metodología se desarrolla aproximadamente de la forma siguiente: 1) Se explica la teoría; 2) Se interrumpe la explicación cuando un concepto importante aparece, aproximadamente en intervalos de 10 a 20 minutos previamente programados por el profesor en la planificación de las unidades; 3) Se lanza una pregunta conceptual a través del SRI; 4) Los alumnos responden a la cuestión con los mandos a distancia; 5) Toda la clase puede ver la respuesta correcta y las opciones alternativas, así como los porcentajes de cada opción de respuesta; 6) Generalmente se abre después un tiempo

para debatir tales resultados; 7) Se continúa después con la explicación teórica hasta volver a realizar otra pregunta y usar de nuevo el SRI.

2.4.3.1 Los Sistemas de Respuesta Inmediata como herramienta de aprendizaje reflexivo y colaborativo

DeBourgh (2008) considera que los SRI ayudan a fomentar el aprendizaje reflexivo y la metacognición en el aula porque favorecen la participación y ayudan a desarrollar la capacidad para realizar razonamientos avanzados. Otros autores también sostienen que la reflexión individual sobre preguntas conceptuales estimula los procesos cognitivos necesarios para un aprendizaje significativo (Beatty, Gerace, Leonard y Dufresne, 2006). Por otra parte, Chen et al. (2010) consideran que la retroalimentación rápida promueve un efecto positivo y significativo en el rendimiento de los alumnos cuando éste se compara con grupos de control que no han usado la metodología. Mayer, Stull, DeLeeuw, Almeroth, Bimber, Chun, Bulger, Campbell, Knight y Zhang (2009) formulan la hipótesis de que en el momento de responder preguntas conceptuales, tras obtener una retroalimentación inmediata, se estimulan en los alumnos los procesos cognitivos necesarios para: (a) prestar más atención a las explicaciones, (b) organizar mentalmente e integrar el conocimiento aprendido y (c) desarrollar habilidades metacognitivas para regular el aprendizaje. Tales autores también consideran que estas cuestiones aumentan la atención de los alumnos a las explicaciones teóricas (especialmente antes de responder) y les ayuda a organizar e integrar mentalmente los conocimientos aprendidos. También hay evidencias de que la metodología interactiva con SRI ayuda a mejorar el rendimiento de los alumnos en las pruebas de evaluación continua y en los exámenes (Yourstone et al., 2008).

Acerca de los debates en clase algunos autores consideran que la mera discusión entre compañeros favorece la comprensión de los conceptos de biología, incluso cuando ninguno de los estudiantes conoce la respuesta correcta (Smith, Wood, Krauter y Knight, 2011). Por otra parte, respecto al aprendizaje colaborativo, Beatty (2004) señala varias ventajas asociadas a debatir en pequeños grupos de estudiantes las preguntas conceptuales. Con este método los alumnos comprenden los conceptos de manera más útil, con mayor aplicabilidad y los relacionan mejor. Ello les ayuda a ser conscientes de las limitaciones de su conocimiento, siendo esto una ventaja para el razonamiento crítico. Asimismo, la colaboración puede ayudar a ampliar su vocabulario, mejorar su razonamiento y desarrollar las habilidades sociales. Para Pollock et al. (2010) no basta con responder a preguntas, el debate y discusión entre iguales es lo que provoca que los alumnos adquieran buenas habilidades de razonamiento. Smith

et al. (2011) también sostienen que la combinación de discusión entre compañeros seguida de una explicación del profesor mejora el aprendizaje —medido como ganancia normalizada según Hake (1998) Hake (1998)— cuando se compara con cada una de de las mismas por separado.

2.4.3.2 La motivación del alumnado en clases interactivas con Sistemas de Respuesta Inmediata

Ya se ha indicado en un apartado anterior que la metodología de enseñanza tradicional de las ciencias, que se aplica todavía con frecuencia en las aulas universitarias, presenta entre otras dificultades una notable falta de atención y motivación por parte de muchos de los alumnos (Solbes et al., 2007; Gavidia-Catalán, 2008; Arandia Aldalur et al., 2016). Sin embargo, tras el desarrollo de experiencias educativas en las que se han utilizado los SRI para implementar estrategias de enseñanza interactiva se han realizado investigaciones para conocer las opiniones de los alumnos sobre tales experiencias y la mayoría de tales estudios mayoría reporta opiniones positivas acerca de los mismos (Varo-Martínez et al., 2015; López-Quintero et al., 2016). A continuación se comentan algunas de las experiencias más relevantes sobre esta temática.

En el estudio realizado por (Prather et al., 2009a) se observó que los estudiantes opinaban mayoritariamente que los SRI contribuyen positivamente a mejorar el aprendizaje de los contenidos desarrollados en clase, a incrementar el rendimiento en los exámenes y que aumenta bastante su atención en clase y la motivación por la asignatura. Por otra parte, Perkins y Turpen (2009) encontraron que tres cuartas partes de los alumnos de segundo ciclo de licenciaturas de ciencias físicas también recomiendan el uso de SRI en los últimos cursos universitarios. Asimismo, los estudiantes también suelen valorar positivamente las ventajas que estas metodologías suponen hacia el aprendizaje (Cortright et al., 2005; Giuliadori, Lujan y DiCarlo, 2006). Respecto a poder aportar respuestas interactivas de forma anónima con los SRI a las preguntas del profesorado, Berry (2009) realizó una experiencia con los estudiantes de enfermería y concluía que los participantes consideraban positivo este hecho, porque al aportar respuestas anónimas se favorecía la sinceridad y espontaneidad de los estudiantes para responder a las preguntas formuladas. Y que, por el contrario, cuando los estudiantes estaban siendo evaluados preferían muchas veces no responder antes que arriesgarse a elegir una respuesta equivocada.

Para conocer las opiniones de los estudiantes sobre el uso de los SRI en el aula se han usado, con frecuencia, encuestas basadas en cuestiones de escala Likert. Por ejemplo, Crossgrove y Curran (2008) pasaron un cuestionario de este tipo a 228

alumnos de biología y encontraron los resultados bastante positivos sobre los aspectos siguientes: a) el uso de los SRI ayuda a los estudiantes a estar más involucrados en el desarrollo de la clase; b) esta metodología les ayuda a prestar más atención; c) les permite entender mejor los conceptos expuestos en clase; d) los estudiantes obtienen retroalimentación inmediata sobre el grado de comprensión de los contenidos va explican el profesorado; e) también aumenta bastante la motivación y la participación en clase. Tales autores encontraron también opiniones positivas, pero con una frecuencia más moderada, sobre si la metodología empleada estimula un mayor aprendizaje, o si les ayuda a relacionar mejor los conceptos de cada tema.

Por su parte, Gauci, Dantas, Williams y Kemm (2009) encuestaron a 175 estudiantes de varios grupos de un curso introductorio de fisiología, en el que se habían usado SRI para el desarrollo de las clases de esta materia, encontrando también opiniones bastante positivas de los participantes sobre los siguientes aspectos: a) Los alumnos se sienten más comprometidos con las clases; b) se divierten “votando” en cada una de las preguntas; c) el proceso educativo seguido les ha ayudado globalmente a mejorar su aprendizaje; d) tuvieron que reflexionar acerca de las preguntas del profesor antes de responder. Con puntuaciones menos altas en la escala de valoración usada los estudiantes expresaron que el sistema de votos mejoró su pensamiento crítico y su capacidad analítica. Asimismo, los participantes en el citado estudio se manifiestan con posiciones neutrales hacia el uso de los SRI como medio de evaluación del aprendizaje de contenidos teóricos, o creen que hubieran respondido a las cuestiones planteadas en clase de una manera más seria sabiendo que dichas respuestas no formarían parte de la evaluación.

En otro estudio llevado a cabo por Terrion y Aceti (2012), se pasó una encuesta de opinión a 200 alumnos del primer año de la carrera de química donde se usaron mandos a distancia. En este estudio encontraron que según sus alumnos los SRI fomentan el compromiso con las explicaciones teóricas y que usar mandos a distancia en clase tiene un efecto positivo en su capacidad para aprender los contenidos del curso.

Entre las principales ventajas de usar los SRI en el aula los participantes en un estudio realizado por Hoekstra (2008) han señalado que tales recursos educativos disminuyen la ansiedad relacionada con el hecho de aprender nuevos conceptos, ya que se crea un ambiente de trabajo distendido y relajado. Los estudiantes también valoran bien el anonimato frente a otros métodos como levantar la mano, donde las respuestas pueden ser vistas por otros compañeros. Asimismo se señala la capacidad que tienen los SRI para mostrar diagramas de barras con los resultados de las votacio-

nes, lo cual permite a los alumnos comprobar que no son los únicos que han respondido una opción concreta, especialmente en el caso de ser incorrecta.

Por último, Stowell y Nelson (2007) encontraron en un curso introductorio de psicología que cuando los SRI se comparan con otros métodos de respuesta, como las cartas de colores o la posibilidad de levantar la mano en clase, los estudiantes prefirieron los primeros y creen que con los SRI se contestan a las preguntas hechas en clase de manera más libre y espontánea.

2.4.4 Experiencias de uso de las TIC en la enseñanza de la Física ondulatoria

En la actualidad las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) desempeñan un papel verdaderamente importante en la mejora de la educación científica (López-Quintero et al., 2019), contribuyendo a enriquecer notablemente el contexto educativo ya que han proporcionado recursos muy valiosos a los docentes y han permitido implementar múltiples estrategias de enseñanza-aprendizaje basadas en el enfoque educativo constructivista, en el que tienen especial importancia aspectos como las concepciones personales de los estudiantes, así como la actividad y la motivación del alumnado en el proceso de aprendizaje (Kearney, 2004; Pontes, 2005; Zucker y Hug, 2008; Lai y Hsu, 2011; Valverde, 2018). Por ello, tras haber revisado anteriormente los estudios sobre ideas previas y dificultades de aprendizaje de los estudiantes sobre ondas, así como las numerosas propuestas metodológicas que se han implementado para tratar de mejorar la enseñanza de este tema, en esta sección nos vamos a centrar en analizar las innovaciones educativas en las que se han utilizado diferentes recursos TIC para el tratamiento didáctico de los fenómenos ondulatorios.

2.4.4.1 Tratamiento didáctico general de bloques temáticos

Muchos de los trabajos publicados en los últimos años sobre el uso de las TIC en el estudio de las ondas se han centrado en fenómenos ondulatorios muy específicos como las interferencias y ondas estacionarias (Jiménez y Beleño, 2017; Ventura, de Carvalho y Dias, 2017), o bien en el tratamiento de bloques temáticos concretos como la acústica o la óptica (Gong, 2017; Francés, Bleda, Martínez Guardiola, Fernandez, Calzado Estepa y Vera Guarinos, 2018), pero también hay estudios de carácter general en los que se aplican herramientas TIC para abordar globalmente el estudio de las ondas mecánicas y electromagnéticas. Un ejemplo de recurso interesante lo constituye el software WebTOP (Mzoughi, Herring, Foley, Morris y Gilbert, 2007), que es un sis-

tema gráfico tridimensional, disponible en internet, que ayuda a los profesores a enseñar y a los estudiantes a aprender sobre las ondas en general y óptica. Este programa se ha desarrollado con un interfaz flexible para adaptarse a las distintas necesidades de instructores y estudiantes, de modo que puede utilizarse como recurso para la enseñanza en el aula o puede utilizarlo el alumnado para realizar un proceso de aprendizaje autoguiado. Con esta herramienta se pueden estudiar los principios básicos de las ondas y la óptica geométrica, o abordar el estudio virtual de fenómenos ondulatorios como la reflexión y la refracción, la polarización, la interferencia, la difracción, el láser y la dispersión de la luz. Los autores del trabajo muestran ejemplos de actividades que se pueden realizar con este recurso, indicando que algunos de los temas tratados pueden ser recomendables para estudiantes de enseñanza secundaria, mientras que otros son más adecuados para estudiantes de óptica de nivel universitario.

En los últimos años ha aparecido un enfoque educativo sobre el uso de las TIC conocido como un aprendizaje mixto (o "Blended Learning" en inglés), que combina la enseñanza presencial y on-line o enseñanza virtual. Córdova (2011) ha desarrollado una investigación sobre enseñanza de la Física Ondulatoria aplicando el enfoque Blended Learning y estrategias de trabajo cooperativo, para mejorar el rendimiento académico y promover el aprendizaje significativo en los estudiantes. Se ha aplicado una metodología de investigación cuasi-experimental, basada se basa en comparar el rendimiento académico y el aprendizaje entre un grupo experimental y uno control, en el tratamiento del tema de Ondas Mecánicas, en 1º ciclo de carrera universitaria. Los resultados de la investigación muestran que la propuesta metodológica implementada mejora de forma importante los rendimientos académicos del alumnado. También se considera bastante significativo el aprendizaje de los conceptos fundamentales sobre ondas mecánicas, obtenidos en el desarrollo de la experiencia. Asimismo, se ha apreciado que este método de enseñanza es bien recibido por los estudiantes y permite actitudes más positivas hacia la ciencia.

Una investigación educativa bastante interesante sobre el uso complementario de varios recursos TIC en la enseñanza de las ondas ha sido descrita por Moreno (2013). Se trata de una experiencia interdisciplinar entre profesores de Física y matemáticas, que han colaborado en el tratamiento didáctico del tema de movimiento ondulatorio en 2º curso de Bachillerato, utilizando diversas aplicaciones informáticas. Entre tales recursos se encuentran los siguientes: Pizarra digital, Programa Graphmática (aplicación informática de carácter matemático diseñada para graficar funciones), Programa de simulación ONDAS 2.1 (laboratorio virtual sencillo que permite modelar

zar fenómenos ondulatorios producidos por ondas armónicas tales como propagación, interferencia, difracción y otros procesos), Programa Creative Wave Studio (CTWAVE 32: disponible en el software asociado a la tarjeta de sonido Sound Blaster) y varios vídeos sobre fenómenos ondulatorios. En el artículo del citado autor se describen las actividades realizadas por el profesorado de matemáticas y de Física con tales recursos, las sesiones de clase que se han dedicado a este tema en cada materia y, finalmente, se comparan los resultados de las pruebas parciales de tales materias en tres cursos sucesivos. Tras analizar los datos recogidos, a lo largo de esta investigación, se aprecia una mejora de la calidad del aprendizaje en ambas materias a partir del 2º y 3º año de aplicación de la experiencia, aunque es algo mayor en Física que en matemáticas. El recurso más importante del proyecto ha sido la pizarra digital, ya que se ha utilizado en todas las clases. Durante la experiencia se ha observado que los alumnos se muestran mucho más motivados y participativos al usar esta herramienta que en una clase habitual. También se ha observado que los estudiantes muestran bastante interés por seguir investigando en sus ordenadores personales (en casa) aspectos relacionados con lo que se ha visto en la clase. El autor concluye que en esta innovación didáctica sobre el tema de ondas se ha conseguido alcanzar un alto nivel de integración entre las explicaciones docentes, el trabajo conjunto de profesores de varias materias, la resolución de ejercicios, el trabajo de laboratorio y la discusión en grupo.

Otras innovaciones educativas sobre ondas basadas en el uso de las TIC se han centrado en unidades temáticas más reducidas como es el caso de las ondas mecánicas y en especial el estudio de las ondas sonoras, como es el caso del trabajo realizado por Francés et al. (2018). Tales autores han aplicado la metodología de la clase invertida (“flipped classroom” en inglés) utilizando herramientas multimedia en la docencia universitaria. La experiencia se ha desarrollado en la asignatura Acústica del Grado en Ingeniería en Sonido e Imagen en Telecomunicación. La investigación docente realizada se ha basado en incluir nuevas estrategias docentes, relacionadas con el uso de recursos TIC en el aula: clase invertida, laboratorio virtual y actividades de gamificación. Las metas generales de estas iniciativas han sido mejorar la motivación del alumnado, tratando de contribuir a realizar una docencia más colaborativa y dinámica, que sustituya la clase magistral convencional. Además, se han generado recursos que ayudan al alumnado a mejorar ciertas habilidades relacionadas con el laboratorio y con la realización de pruebas tipo test. El laboratorio virtual, se ha utilizado para simular una experiencia sobre acústica que es difícilmente realizable de forma práctica. La gamificación se ha utilizado para ejercitar las cuestiones de tipo test con múltiples

opciones (mediante la actividad de un concurso tipo “¿Quieres ser millonario?”). Finalmente se ha pasado una encuesta para evaluar la opinión sobre estas actividades por parte del alumnado. El resultado de este análisis muestra que, de forma general, el alumnado ha recibido de forma satisfactoria este enfoque metodológico y que verían de forma positiva la posibilidad de implantarlo al resto de la asignatura.

Otra experiencia interesante sobre ondas mecánicas ha sido la realizada por Maulidah y Prima (2018), que han utilizado varios Programas de Simulación del Proyecto PhET, para realizar experiencias virtuales en el aprendizaje del tema de ondas y sonidos, realizando actividades de indagación sobre ondas en una cuerda y propagación del sonido. En esta investigación se ha usado un método descriptivo con triangulación metodológica como diseño del estudio experimental. Los autores, tras analizar los resultados de la experiencia educativa, concluyen que el uso del laboratorio virtual ha resultado positivo para mejorar el aprendizaje de las ondas y los sonidos, tanto en plano cognitivo como en el buen ambiente de trabajo del alumnado al realizar actividades con los programas de simulación.

También se han realizado interesantes innovaciones didácticas sobre óptica y ondas electromagnéticas con ayuda de diversos recursos TIC. Sobre esta temática podemos citar un trabajo pionero realizado por Ambrose et al. (1999b). Tales autores consideran, a modo de hipótesis inicial, que algunas de las graves dificultades que tienen los estudiantes para entender la óptica Física pueden deberse a la falta de comprensión de la luz como onda electromagnética. Por ello han elaborado una serie de materiales informáticos y tutoriales interactivos que permiten abordar las dificultades conceptuales de los estudiantes sobre la naturaleza de la luz y las ondas electromagnéticas, tratando de aproximar los formalismos físico-matemáticos con la visualización de los fenómenos ondulatorios.

En fechas más recientes Gong (2017) ha investigado cómo los estudiantes de Ingeniería utilizan modelos computacionales interactivos en actividades de indagación, con objeto de mejorar sus conocimientos sobre las ondas electromagnéticas. Tales modelos pueden utilizarse para enseñar los principios de los sistemas físicos dinámicos y para favorecer que los estudiantes comprendan mejor los conceptos abstractos de Física e Ingeniería, requeridos para explicar fenómenos complejos como la generación y propagación de las ondas electromagnéticas. Para integrar eficazmente el modelo computacional interactivo en el proceso formativo se ha aplicado el método de aprendizaje por indagación (o de investigación guiada) usando el programa MATLAB y el software MOBILE, que constituye un entorno visual eficaz para la enseñanza universitaria de la Física y la Ingeniería. Tras analizar los resultados de la experiencia

educativa el autor que los modelos computacionales utilizados pueden considerarse como recursos eficaces de enseñanza y que el método de aprendizaje por indagación contribuye significativamente para que los estudiantes de Ingeniería aprendan conceptos abstractos y comprendan mejor la explicación de fenómenos complejos de la Física Ondulatoria.

2.4.4.2 Estudio de fenómenos ondulatorios específicos con recursos TIC

Además de las innovaciones metodológicas realizadas con recursos TIC en el tratamiento global de bloques conceptuales, como la óptica o la acústica, que se han analizado anteriormente, también se han realizado en los últimos años numerosos estudios centrados en el uso de aplicaciones informáticas para el tratamiento didáctico de fenómenos ondulatorios específicos.

Podolefsky, Perkins y Adams (2010) han realizado una investigación sobre el uso de simulaciones por ordenador por parte de los estudiantes para indagar en el estudio de la interferencia de ondas. Los autores han diseñado un proceso educativo orientado a fomentar que los estudiantes universitarios interactúen activamente con los materiales educativos y que exploren los fenómenos físicos a partir de sus propias preguntas e hipótesis. En el trabajo se describe que los estudiantes exploran los fenómenos de interferencia de ondas, con unas orientaciones mínimas del profesorado, de manera similar a como los científicos exploran los fenómenos naturales. El recurso utilizado en la experiencia es el software PHET (elaborado por un grupo de trabajo de la Universidad de Colorado), ya que proporciona herramientas de simulación flexibles que permiten a los estudiantes elegir su propio camino de aprendizaje, aunque también establecen restricciones para que las elecciones de los estudiantes sean productivas. Los procesos de indagación que realizan los estudiantes se apoyan en diversas características propias de las simulaciones interactivas: las conexiones concretas con el mundo real, las representaciones que no están disponibles en el mundo real, las analogías para ayudar a los estudiantes a dar sentido a lo que estudian y a conectar múltiples representaciones de fenómenos, el alto nivel de interactividad con retroalimentación dinámica y el hecho de que cada simulación se realiza en tiempo real. Estas características de las simulaciones PhET permiten a los estudiantes plantear preguntas y responderlas, utilizando de forma complementaria materiales educativos más tradicionales como medios de consulta. Para evaluar la experiencia los autores han realizado entrevistas a los estudiantes para recoger sus opiniones sobre el proceso de aprendizaje y

para identificar los factores que contribuyen en mayor medida a realizar indagaciones efectivas.

Bouciguez y Santos (2010) han utilizado Applets en la enseñanza de la Física Ondulatoria. Según estos autores un applet proporciona un andamiaje para conceptualizar fenómenos dinámicos y permite relacionar el modelo científico, las matemáticas y el sentido común. En este estudio los autores describen las características tecnológicas y disciplinares de varios Applets usados para el estudio simulado de movimientos ondulatorios. Los resultados que se presentan en este estudio corresponden a una primera etapa de análisis, y muestran una amplia gama de elementos potencialmente facilitadores de las interacciones del alumno con el software desde la visualización de gráficos de variables y fenómenos dinámicos a pequeños micro-mundos.

En el tema de acústica otros autores han realizado una investigación educativa centrada en la formación de ondas estacionarias mediante la superposición de ondas sonoras (Zeng, Smith, Poelzer, Rodriguez, Corpuz y Yanev, 2014). Durante el proceso educativo se formaron dos grupos de estudiantes universitarios de Física, uno experimental y otro de control. Al grupo experimental se le presentó el tema a través de la práctica y la ilustración del modelo científico con animaciones dinámicas, mientras que al grupo de control se le enseñó a través de las imágenes disponibles en el libro de Física. Al final del estudio, se indicó que los libros de texto deberían incluir enlaces de acceso a simulaciones o animaciones dinámicas para favorecer el aprendizaje de modelos abstractos, ya que el grupo experimental fue capaz de dar más sentido a los conceptos físicos involucrados en la formación de ondas estacionarias.

Ventura et al. (2017) han estudiado las ondas estacionarias en las que la energía se transmite de un punto a otro sin desplazamiento espacial de sus partículas materiales. La experiencia se realizó con estudiantes de educación enseñanza, utilizando ordenadores y medios audiovisuales. Como resultado del estudio se determinó que los estudiantes podían entender fácilmente la formación de ondas estacionarias con la ayuda de vídeos y animaciones. Además, se observó que tales recursos constituyen herramientas de aprendizaje de bajo coste y son fáciles de usar, por lo que los autores consideran que uso de medios audiovisuales para ilustrar modelos científicos debería utilizarse con más frecuencia para mejorar la enseñanza de la Física. Sobre este tema también se han realizado estudios en la enseñanza universitaria, utilizando simulaciones de ordenador en la formación de estudiantes de Ingeniería (Radinschi, Fratiman, Ciocan y Cazacu, 2017). Estos autores enseñaron a los estudiantes el modelo científico de onda estacionaria argumentando que tales ondas presentan aplicaciones

importantes en diversos campos de la Ingeniería y que las simulaciones son medios muy útiles para una enseñanza eficaz de tales aplicaciones.

Según Sinclair y Vondracek (2015) el estudio de la Física Ondulatoria debería realizarse, tanto en la enseñanza secundaria como en la universidad, utilizando recursos TIC interactivos para favorecer la implicación de los estudiantes en actividades de investigación práctica, aprender a analizar datos y desarrollar habilidades de pensamiento computacional. Los autores del trabajo describen varias opciones para utilizar recursos TIC en el estudio físico de un tipo particular de ondas estacionarias, como son las ondas de Faraday. Tales opciones incluyen el uso por parte del profesorado de las ondas de Faraday para demostrar en clase las propiedades de los fluidos y las ondas y para realizar por parte de los estudiantes tareas de indagación en un laboratorio virtual donde se puede investigar la formación de las ondas de Faraday en las gotas de agua.

El efecto Doppler es uno de los fenómenos ondulatorios que se estudia de forma recurrente en las asignaturas de Física de la enseñanza secundaria y la universidad. Dias, Carvalho y Ventura (2016) han realizado una experiencia educativa sobre este tema, orientada a implicar a los alumnos en el protagonismo del proceso de aprendizaje y que se basa en el desarrollo de una actividad sencilla y fácil de reproducir, utilizando grabaciones de vídeo y el software gratuito Audacity. En primer lugar se graba el sonido del motor de un vehículo que pasa junto a la cámara de vídeo y después se analiza dicho sonido con el citado software, midiendo la frecuencia del sonido durante la aproximación y el alejamiento del vehículo del observador. Posteriormente los estudiantes pueden llegar a determinar la velocidad del vehículo mediante la aplicación de las ecuaciones del efecto Doppler para las ondas acústicas y extraer sus propias conclusiones.

Otros autores han utilizado recursos TIC para estudiar fenómenos ondulatorios en tres dimensiones (3D). En esta línea de trabajo Singh, Khun, Kaur, Kaur y Singh (2020) han descrito una forma de estudiar y visualizar representaciones en 3D de la propagación del vector del campo eléctrico mediante ondas planas, circulares y elípticamente polarizadas. La polarización se obtiene mediante la superposición de dos ondas coherentes polarizadas linealmente que oscilan en dos direcciones mutuamente perpendiculares. Los datos necesarios para obtener las simulaciones de estas representaciones se generan programando una hoja de cálculo Excel para resolver las ecuaciones de polarización y variando diversos parámetros del proceso tales como la diferencia de fase y la amplitud de las ondas superpuestas. Posteriormente, los resultados obtenidos se analizan con el software Origin Pro (V8.5) para dibujar gráficos

vectoriales en 3D que proporcionan una ayuda visual para comprender la propagación del vector del campo eléctrico en el espacio y el tiempo. Según los autores este método puede utilizarse como una forma fácil y eficaz de ayudar a los estudiantes a comprender mejor el fenómeno de polarización de las ondas electromagnéticas.

También se han utilizado recursos TIC para la enseñanza de las ondas en la formación de profesores de Física. Por ejemplo Fazio, Guastella y Tarantino (2009) presentan una experiencia de indagación basada en problemas para la enseñanza de la propagación de ondas mecánicas, centrada en la observación y medición de las propiedades de las ondas en los sólidos y en la modelización de estas propiedades. En particular, se utilizan algunos resultados experimentales, originalmente destinados a medir la velocidad de propagación de las ondas sonoras en varillas metálicas, para profundizar en el papel de las restricciones en la propagación de las ondas mecánicas. Se construyen modelos interpretativos de los resultados obtenidos en el laboratorio y se implementan utilizando un programa de simulación. Posteriormente los resultados de la simulación se comparan con los datos experimentales y se analizan entre los profesores que participan en un taller sobre propagación de ondas mecánicas del Programa de Postgrado de Formación de Profesores de Física en Italia.

2.5 Fundamento y marco teórico de la investigación

En apartados anteriores se han comentado algunos problemas de la enseñanza de la Física en el contexto universitario actual, como son las dificultades de aprendizaje significativo de los principales conceptos y modelos científicos, constatadas ampliamente por las investigaciones sobre las concepciones y modelos metales de carácter alternativo que muestran muchos estudiantes antes y después de la instrucción (Duit, 1993; Oliva, 1996; Pontes y de Pro, 2001; Coetzee y Imenda, 2012; Kaltakci-Gurel et al., 2017), o la falta de atención e de interés del alumnado en clase, como consecuencia del uso reiterado del método clásico de enseñanza por transmisión y recepción, que utiliza como principal estrategia docente la llamada clase magistral y que se apoya principalmente en la explicación oral del profesorado usando recursos de comunicación tradicionales como la pizarra o las presentaciones de diapositivas (Solbes et al., 2007; Arandia Aldalur et al., 2016).

Para buscar soluciones a estos problemas y tratar de mejorar la calidad de la educación científica se han formulado, en las últimas décadas, numerosas propuestas metodológicas que tratan de orientar la acción docente hacia el uso de metodologías

interactivas, que fomenten el aprendizaje significativo y reflexivo de la ciencia (Ausubel, Novak, Hanesian y others, 1976; Novak, 1991; Pozo y Gómez Crespo, 1998) y que propicien una mayor participación del alumnado en los procesos de enseñanza-aprendizaje, para mejorar su motivación por la ciencia (Osborne et al., 2003; Guisasola et al., 2012). Muchas de las líneas de investigación didáctica que tratan de alcanzar tales metas son convergentes, o tienen bastante conexión, con el enfoque educativo constructivista (Driver, 1988; Novak, 2002; Dillon, 2008), en el que se considera necesario partir de los conocimientos previos de los estudiantes y desarrollar la enseñanza en torno a actividades que les permitan explicitar y movilizar sus concepciones personales durante el proceso de aprendizaje (Gil-Pérez et al., 1991; Oliva, 2008; Osborne, 2014). En este enfoque también se concede gran importancia al uso de métodos interactivos y al empleo de recursos innovadores que fomenten un mayor interés del alumnado por el aprendizaje (Hake, 1998; Berry, 2009; Risch, 2010; Hodges et al., 2017; Pontes, Varo-Martínez y López-Quintero, 2017).

En esta investigación, que se ha desarrollado en varias etapas, hemos tratado mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje de la Física en primer curso de Ingeniería, aplicando las orientaciones metodológicas del enfoque educativo constructivista al tratamiento didáctico del tema de ondas (Saura, 1997; Llinás et al., 2003; Osuna García, 2007). Por ello, en la primera fase, se han realizado diversos estudios exploratorios sobre los conocimientos previos de ondas por parte de los alumnos que inician los estudios universitarios de Ingeniería (López-Quintero, Varo-Martínez y Pontes, 2018a) y, tras analizar las principales dificultades de aprendizaje de tales estudiantes sobre esta temática (Maurines, 1992; Coetzee y Imenda, 2012; Barniol y Zavala, 2016), se ha diseñado una propuesta metodológica orientada a fomentar el aprendizaje reflexivo y la movilización de de las concepciones previas o de modelos mentales de los alumnos (Leccia et al., 2015; Bostan Sarioglan, 2016), como vía para construir ideas compatibles con los modelos científicos de la Física ondulatoria (Aykutlu et al., 2021) y poder aplicar tales ideas en cuestiones conceptuales tratadas en clase o en la resolución de problemas.

En el desarrollo de la propuesta metodológica implementada en esta investigación han desempeñado un papel relevante los estudios previos sobre métodos interactivos de enseñanza (Hake, 1998; Beatty et al., 2006; Prather et al., 2009b) y el uso de las TIC para favorecer el aprendizaje significativo de la Física en general (Hennessy et al., 1995; Esquembre Martínez et al., 2004; Pontes, 2005; Romero y Quesada, 2014) y de la Física Ondulatoria en particular (Ambrose et al., 1999b; Bouciguez y Santos, 2010; Moreno, 2013; Singh et al., 2020). Dentro de esta línea de trabajo se ha concedido

una especial importancia a los estudios sobre el uso de Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI) en la educación científica (Bunce et al., 2010; Hodges et al., 2017; Thapar-Olmos y Seeman, 2018), ya que tales recursos han mostrado su eficacia para fomentar la atención y participación del alumnado en clase, para mejorar la calidad de la educación universitaria y para conseguir que los estudiantes mejoren su motivación e interés por el aprendizaje de la ciencia (Crouch y Mazur, 2001; Prather et al., 2009b; Morais et al., 2015; López-Quintero et al., 2016; Onodipe y Ayadi, 2020).

La propuesta metodológica para el tratamiento didáctico del tema de ondas en primer curso de Ingeniería se ha basado en el diseño de una serie de Secuencias de Enseñanza Aprendizaje (SEAs). Tales secuencias incluyen actividades de diversos tipos (explicitación de ideas previas, presentación de modelos científicos, análisis de cuestiones conceptuales con ayuda de SRI, debates sobre los resultados de tales cuestiones, resolución de problemas, ...) y, tras su aplicación en el aula, se ha procedido a evaluar los efectos de la propuesta educativa en el aprendizaje del tema y en las opiniones del alumnado sobre su desarrollo. El diseño de las tres fases de la investigación se expone en el capítulo siguiente de esta memoria y los resultados de cada estudio se muestran en los capítulos posteriores.

3 Metodología y diseño de la investigación

3.1 Introducción

3.2 Problemas de investigación

3.3 Finalidad del proyecto

3.4 Enfoque metodológico

3.5 Contexto educativo y participantes en la experiencia

3.6 Diseño y fases de la investigación

3.1 Introducción

En el presente capítulo se explica cómo se ha planificado este trabajo y se describen los procedimientos y métodos que se han puesto en práctica para su realización. Se inicia el capítulo formulando los problemas que han dado origen a este estudio y se justifica su importancia para la investigación en la enseñanza y aprendizaje de la Física Ondulatoria, que es el tema en el que se centra la propuesta didáctica llevada a cabo.

Se exponen los objetivos que se pretenden alcanzar y que están estrechamente relacionados con los problemas de partida. Posteriormente se describe la metodología de investigación, que incluye el diseño de las diferentes etapas del proyecto y la cronología de desarrollo. Se continúa con las muestras de estudiantes que han participado en cada etapa, los instrumentos de medida y los métodos de análisis de los resultados.

3.2 Problemas de investigación

El punto de partida de esta investigación ha sido la inquietud del equipo de trabajo del proyecto por mejorar la enseñanza de la Física en el primer curso de Ingeniería, tratando de incorporar nuevas estrategias y recursos que permitan a los estudiantes involucrarse con mayor protagonismo en el proceso formativo y mejorar su motivación por el aprendizaje. Dentro de esta problemática general, y tras seleccionar en el tema de ondas de la asignatura de Fundamentos Físicos de la Ingeniería II, se han generado algunos interrogantes más concretos que han dado origen al desarrollo de esta investigación y que están relacionados con los aspectos siguientes: (a) la exploración del conocimiento inicial del alumnado universitario sobre Física Ondulatoria, (b) el análisis de las características del proceso de aprendizaje implementado en el aula con ayuda de Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI), que incluye la recogida de datos sobre cómo evoluciona dicho proceso y (c) la valoración de las mejoras encontradas tras el proceso formativo y de las opiniones del alumnado que ha participado en esta experiencia educativa.

Estos tres problemas específicos mencionados han sido formulados como preguntas de investigación. Las mismas pretenden ser respondidas de forma abierta, para no limitar el campo de resultados que se desea investigar. Estas cuestiones han sido desglosadas en varios sub-problemas más concretos. Estos últimos están directamente relacionados con los objetivos específicos que sirvieron de base para el diseño de cada

uno de los estudios parciales que componen este trabajo. Del mismo modo, el trabajo se ha dividido en tres estudios numerados como Estudio 1 (E1), Estudio 2 (E2) y Estudio 3 (E3), donde cada uno se corresponde con los interrogantes o problemas principales de la investigación (P) que se enuncian a continuación:

(P1) ¿Qué características presentan los conocimientos de los estudiantes universitarios acerca de la Física Ondulatoria, al finalizar los estudios de bachillerato e iniciar el estudio de este tema en primer curso de Ingeniería, y qué aspectos del mismo presentan mayores dificultades para alcanzar un aprendizaje significativo de los contenidos de este tema?

(P2) ¿Cómo se desarrolla el proceso de enseñanza y aprendizaje de los fenómenos ondulatorios al aplicar una propuesta metodológica basada en actividades de reflexión y en el uso de recursos interactivos multimedia tales como los Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI)?

(P3) ¿En qué medida mejora la calidad de enseñanza de la física universitaria en el tema de ondas y el interés del alumnado por el aprendizaje al aplicar dicha propuesta metodológica?

Como se ha mencionado, cada problema principal se ha dividido en varios sub-problemas. La primera cuestión puede desglosarse en los siguientes interrogantes que, a su vez, han servido de base al diseño de los sub-estudios E.1.1 y E.1.2 respectivamente:

(P1.1) ¿Qué tipo de conocimientos previos expresan los estudiantes universitarios de primer curso de Ingeniería al responder a un conjunto amplio de cuestiones cerradas, del tipo verdadero o falso, sobre los fenómenos ondulatorios y en qué medida muestran seguridad en sus respuestas?

(P1.2) ¿Qué nivel de conocimientos previos y qué dificultades de aprendizaje muestran los estudiantes universitarios de primer curso de Ingeniería al responder a una batería de cuestiones cerradas de opción múltiple sobre el tema de ondas?

Del mismo modo, el segundo problema principal se ha desglosado en dos sub-problemas y, al igual que en el caso anterior, estos apartados han servido de base para el diseño de otros dos sub-estudios específicos denominados respectivamente E.2.1 y E.2.2. El primero de ellos (E2.1) se ha centrado en registrar las ideas de los alumnos sobre cuestiones conceptuales de diversos tópicos de Física Ondulatoria, a medida que se va desarrollando el proceso de enseñanza-aprendizaje en las clases teóricas con ayuda de los mandos a distancia SRI usados en esta experiencia. El segundo sub-estudio (E2.2) se ha centrado en registrar también las ideas de los alumnos sobre cuestio-

nes de tipo práctico relacionadas con la aplicación de los modelos científicos de la Física Ondulatoria en las actividades de resolución de ejercicios y problemas de tipo cuantitativo, que se desarrollan en las clases de Prácticas de Aula. Por tanto, los dos sub-problemas en los que se desglosa el Problema Principal 2 son los siguientes:

(P2.1) ¿Qué tipo de conocimientos sobre fenómenos ondulatorios muestran los estudiantes al reflexionar y responder a preguntas de opción múltiple, en las clases teóricas del tema de ondas que se imparten en la materia de Física de primer curso de Ingeniería, con ayuda de los mandos interactivos SRI?

(P2.2) ¿Qué conocimientos de tipo práctico muestran los alumnos de primer curso de Ingeniería al realizar ejercicios y problemas sobre ondas, con ayuda de los mandos interactivos a distancia, en las actividades realizadas en las clases de Prácticas de Aula de la asignatura de Física?

Por último, el tercer problema principal también se ha desglosado en los siguientes sub-problemas que, asimismo, sirven de base al diseño de varios estudios específicos:

(P3.1) ¿En qué medida ha mejorado el aprendizaje de conceptos científicos sobre el tema de ondas tras la aplicación de la propuesta metodológica desarrollada en esta investigación?

(P3.2) ¿Qué relación existe entre el aprendizaje de modelos científicos y la capacidad de resolución de problemas en el tema de ondas?

(P3.3) ¿Cómo valoran los alumnos universitarios la experiencia llevada a cabo al implementar la propuesta metodológica?

3.3 Finalidad del proyecto

En este apartado se describen los objetivos que se pretenden alcanzar en este proyecto. Estos han sido planeados como consecuencia directa de los tres problemas de investigación que se han descrito anteriormente. En consecuencia, se han fijado tres objetivos principales, así como otros derivados de los sub-problemas.

Para entender la naturaleza de los objetivos propuestos conviene recordar que esta investigación es de tipo descriptivo y no obedece a un diseño de tipo experimental, donde participan grupos experimentales y de control, de modo que no cabe formular hipótesis que puedan ser posteriormente demostradas. Sin embargo, cabe considerar que los interrogantes planteados pueden actuar como guías adecuadas para alcanzar los fines del proyecto de investigación.

3.3.1 Objetivos del Estudio 1

En la primera parte del proyecto se ha llevado a cabo un estudio (E1) orientado a recoger datos sobre las características que presentan los conocimientos de los estudiantes universitarios sobre el tema de ondas, al finalizar los estudios de bachillerato e iniciar el estudio de este tema en el primer curso de Ingeniería. Asimismo, se pretende indagar en qué aspectos de este tema los estudiantes presentan mayores dificultades para su aprendizaje significativo (P1).

En torno a esta problemática, conviene diferenciar entre los distintos instrumentos de recogida de información usados para indagar sobre los conocimientos previos de los estudiantes universitarios del primer curso objeto de este estudio. El primer problema específico se relaciona con la información recogida cuando los estudiantes responden a cuestiones cerradas del tipo verdadero o falso sobre los fenómenos ondulatorios y en qué medida muestran seguridad en sus respuestas (P1.1). Por el contrario, el segundo consiste en otro tipo distinto de datos empíricos sobre los conocimientos previos y las dificultades de aprendizaje, que ha sido recogido mediante un conjunto variado de cuestiones cerradas de opción múltiple sobre el tema de ondas (P1.2). El interés por abordar de forma diferenciada tales aspectos es obtener una visión más completa y basada en datos que proceden de distintas fuentes de información. Los objetivos concretos que orientan el desarrollo de ambos estudios son los siguientes:

- (O1.1) Explorar los conocimientos previos que muestran los estudiantes universitarios de primer curso de Ingeniería al responder a un conjunto amplio de cuestiones cerradas del tipo verdadero o falso sobre los fenómenos ondulatorios y analizar la seguridad en las respuestas a tales cuestiones.
- (O1.2) Evaluar las concepciones previas y los modelos de pensamiento que muestran tales estudiantes al responder a una batería de cuestiones cerradas de opción múltiple sobre el tema de ondas.

Como se ha mencionado anteriormente, para desarrollar adecuadamente tales objetivos se ha visto la necesidad de llevar a cabo dos estudios complementarios y paralelos (E1.1 y E1.2), utilizando los dos instrumentos de investigación diferentes que se muestran en los Anexos 1 y 2 respectivamente.

Conviene precisar que las preguntas que integran las dos baterías de cuestiones correspondientes los estudios E1.1 y E1.2 de esta primera fase, provienen de varias fuentes distintas como son las siguientes: cuestiones de examen sobre el bloque de ondas utilizadas en años anteriores en la asignatura de Fundamentos Físicos de la Ingeniería

II, la revisión bibliográfica sobre concepciones previas y dificultades de aprendizaje de los alumnos sobre ondas mostrada en el capítulo anterior, así como de los resultados de un estudio propio previo exploratorio a través de cuestiones abiertas que se realizó en los años anteriores de iniciar este proyecto (López-Quintero, Pontes y Varo-Martínez, 2018b; López-Quintero, Pontes y Varo-Martínez, 2021).

3.3.2 Objetivos del Estudio 2

En la segunda parte del proyecto se ha llevado a cabo un estudio empírico (E2) relacionado con el problema principal P2. Por tanto, este segundo estudio se ha centrado en recoger datos sobre cómo se desarrolla el proceso de enseñanza y aprendizaje del tema de movimiento ondulatorio en el primer curso de Ingeniería, al aplicar una propuesta metodológica basada en actividades de reflexión y en el uso de recursos interactivos multimedia tales como los Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI). Esta metodología de trabajo docente se ha aplicado tanto en las clases teóricas del tema de ondas como en las Prácticas de Aula, pero en cada caso se han recogido datos sobre conocimientos de diferente tipo y ello ha llevado a analizar cada aspecto por separado. Este hecho ha concluido en formular los siguientes objetivos específicos del segundo estudio:

- (O2.1) Analizar el tipo de conocimientos y concepciones personales sobre fenómenos ondulatorios que muestran los estudiantes al reflexionar y responder, con ayuda de los mandos a distancia SRI, a preguntas de opción múltiple sobre los conceptos, leyes, modelos y fenómenos que se desarrollan en las clases teóricas del tema de Física Ondulatoria, en primer curso de Ingeniería.
- (O2.2) Utilizar los SRI en las clases de Prácticas de Aula para recoger datos sobre el aprendizaje de tipo práctico que desarrollan los alumnos de primer curso de Ingeniería al realizar ejercicios y problemas sobre ondas en la asignatura de Física.

3.3.3 Objetivos del Estudio 3

Finalmente, para abordar el problema principal P3 se ha llevado a cabo un tercer estudio empírico (E3) centrado en analizar el grado de mejora de la calidad de la enseñanza de la física universitaria en el tema de ondas y la motivación del alumnado por el aprendizaje de este tema, al aplicar la propuesta metodológica basada en el uso activo y reflexivo de los SRI en clase. Este problema se ha desglosado en varios sub-

problemas que sirven de base a la formulación de los tres objetivos específicos siguientes:

- (O3.1) Recoger y analizar datos empíricos para conocer en qué medida ha mejorado el aprendizaje de conceptos y modelos científicos sobre el tema de ondas tras el desarrollo de la propuesta metodológica, basada en actividades de reflexión y debate con ayuda del recurso SRI, en la enseñanza universitaria de la Física.
- (O3.2) Recoger y analizar datos empíricos para conocer qué relación existe entre el aprendizaje de modelos científicos y la capacidad de resolución de problemas en el tema de ondas.
- (O3.3) Recoger y analizar datos empíricos que permitan valorar las opiniones de los estudiantes sobre la experiencia educativa llevada a cabo al implementar la citada propuesta metodológica en la enseñanza de la Física a nivel universitario.

3.4 Enfoque metodológico

En este apartado se describe la metodología de investigación aplicada, en la que se ha utilizado un enfoque descriptivo y, por tanto, no se han planteado hipótesis que haya que contrastar a través de un diseño experimental. Como se ha indicado antes, el punto de partida ha sido los tres problemas principales que han permitido definir unos objetivos concretos y unas líneas de actuación, pasando después a describir los datos recogidos durante las tres fases del proyecto, analizar tales datos y extraer las conclusiones e implicaciones educativas que sean pertinentes.

Durante las diversas etapas de este proceso se ha seguido un modelo de investigación mixto, donde se combinan instrumentos y técnicas de análisis de carácter cualitativo y cuantitativo. De modo similar a otros estudios sobre las concepciones personales y modelos mentales de los alumnos, se han utilizado diferentes tipos de técnicas de indagación como son las cuestiones abiertas en las que el alumno puede justificar su respuesta, junto con preguntas de tipo verdadero o falso y de opción múltiple. Al aplicar este modelo mixto se pretende utilizar diferentes fuentes de información para proporcionar mayor validez a los resultados empíricos de las diferentes fases de la investigación (Bisquerra y Alzina, 2004; León y Montero, 2015).

3.4.1 Características de la propuesta didáctica

3.4.1.1 Orientaciones metodológicas

Los métodos de enseñanza incluyen las estrategias docentes que son empleadas por el profesorado en las clases y el uso de recursos que permiten llevar a la práctica tales estrategias. Las estrategias y recursos se concretan en el diseño y desarrollo de actividades de aula, que se integran en un conjunto bien estructurado de Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje (Pontes, 2018). A continuación se describen las estrategias didácticas y recursos que se han usado en el desarrollo de esta experiencia educativa. Se indican las secuencias de actividades que integran la unidad didáctica del tema de ondas, las cuales se sintetizan en el Cuadro 3.1. Estas se describen con detalle en el capítulo 5 de esta memoria, en el que también se muestran los resultados del Estudio 2.

Cuadro 3.1: Secuencias de Enseñanza y Aprendizaje de la unidad didáctica de ondas

Sección	Denominación
S1	Nociones básicas sobre movimiento armónico simple.
S2	Introducción al movimiento ondulatorio: tipos de ondas.
S3	Ondas armónicas: características y descripción matemática.
S4	Velocidad de propagación de las ondas.
S5	Energía e intensidad de las ondas.
S6	Principio de Huygens de la propagación de ondas: fenómenos de reflexión y refracción.
S7	Efecto Doppler.
S8	Principio de superposición de ondas: interferencias y otros fenómenos.
S9	Ondas estacionarias.
S10	Ondas sonoras: aspectos característicos y aplicaciones.
S11	Ondas electromagnéticas: aspectos característicos y aplicaciones.

A continuación se describe el desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje realizado en las clases del tema de ondas, al implementar la metodología propuesta. Hay que considerar que en el calendario académico de la asignatura Fundamentos Físicos de la Ingeniería II, se distingue entre clases teóricas (en las que se desarrollan los contenidos del programa) y clases prácticas (dedicadas a la resolución de problemas y a realizar experiencias de laboratorio real o virtual).

En las clases teóricas las exposiciones del profesorado se han desarrollado mostrando las ideas clave del tema (conceptos, leyes, modelos y hechos) en presentacio-

nes multimedia de diapositivas, usando un ordenador portátil y un cañón electrónico para la proyección de dichas diapositivas en la pantalla. Aunque también se ha usado la pizarra clásica para aclarar ideas, realizar demostraciones y resolver ejercicios de aplicación directa de las leyes y modelos científicos. El contenido de las diapositivas se puede clasificar en tres tipos: (a) contenido teórico, (b) problemas (para ser resueltos en la pizarra) y (c) preguntas conceptuales.

Para plantear estas últimas se ha usado el Sistema de Respuesta Inmediata (SRI) proporcionado por el fabricante *Turning Technologies*, que incluye una aplicación informática (*Turning Point*) instalada en el PC del docente y un conjunto de mandos interactivos a distancia que permiten a los estudiantes responder a las preguntas de opción múltiple que va proponiendo el profesor a lo largo de la presentación oral del tema. Los mandos a distancia de este SRI son de fácil manejo para los alumnos y además son bastante pequeños, de modo que se transportan en un maletín reducido y de poco peso.

Al inicio de cada clase el profesor entrega a los alumnos una hoja de asistencia y los mandos a distancia que son repartidos de manera que cada uno de los estudiantes dispone de un único dispositivo electrónico. Cada uno de estos emisores está identificado de manera única en su parte trasera y en la hoja de firmas los alumnos anotan dicho número junto a su nombre. De ese modo es posible conocer las respuestas individuales de cada uno de los estudiantes.

3.4.1.2 Desarrollo de las clases teóricas

En las clases, cada vez que aparece y se explica un concepto importante, el docente interrumpe la explicación para realizar una pregunta conceptual. Esto divide la exposición en intervalos de quince minutos aproximadamente. Cada pregunta es proyectada en pantalla y posteriormente se abre un intervalo de 10 segundos aproximadamente para que los alumnos puedan contestar pulsando con su emisor la opción que creen correcta. Durante este breve periodo de tiempo los estudiantes saben que su respuesta ha llegado al receptor cuando el número correspondiente a su mando cambia de color, en un listado que aparece en la pantalla del proyector durante el tiempo de respuesta de los alumnos. Al finalizar la recogida de respuestas se muestra un diagrama de barras con los resultados de las mismas, donde la opción correcta está resaltada generalmente en color verde. Si todos los alumnos —o una mayoría suficientemente amplia considerada por el profesor— han respondido correctamente se infiere que los estudiantes han entendido el concepto y se continúa con la explicación

pasando a la siguiente diapositiva. En el caso contrario se abre un debate con alguna de las siguientes posibilidades:

- El profesor propone un número al azar y el alumno que posee el mando correspondiente justifica su respuesta, sea ésta correcta o no.
- El profesor pregunta directamente a un alumno para que justifique su elección, sea ésta correcta o no.
- El profesor pide que un alumno, entre los que han elegido la opción correcta, se ofrezca voluntario para explicar el por qué de su elección.
- El profesor pide que un alumno, entre los que han elegido una opción incorrecta, se ofrezca voluntario para explicar el por qué de su elección.

Cualquiera de los cuatro casos es seguido por una matización de la respuesta del alumno por parte del docente, tanto si el argumento es correcto como incorrecto, produciéndose en tales casos una repetición de la explicación teórica tras un periodo en el que los alumnos han reflexionado acerca de los conceptos tratados en la pregunta.

3.4.1.3 Resolución de problemas

En el desarrollo de las clases denominadas Prácticas de Aula, dedicadas en este tema a la resolución de problemas prácticos, se ha seguido también una metodología interactiva donde las explicaciones del profesor han sido desarrolladas después de que los alumnos intenten resolver por ellos mismos los diversos problemas y cuestiones específicas que los integran. De este modo se ha fomentado que los estudiantes se enfrenten a la tarea de intentar descubrir por ellos mismos los procesos de resolución, potenciando así el aprendizaje por indagación.

Cada problema práctico se ha dividido en distintos apartados, tantos como elementos haya que desarrollar para su resolución aplicando el modelo científico adecuado a cada situación problemática. Cada uno de los apartados ha sido enunciado en una diapositiva en la que se han incluido preguntas de opción múltiple para ser contestadas por los alumnos mediante el uso de los mandos a distancia del sistema SRI. Estas cuestiones se han clasificado en tres tipos: (a) preguntas relacionadas con los modelos científicos donde se interroga a los alumnos acerca de los conceptos involucrados, así como pequeñas formulaciones de hipótesis acerca de los métodos de resolución, (b) preguntas relacionadas con la identificación de las variables contempladas en las leyes físicas a utilizar y (c) cuestiones cuya respuesta requiere la realización de cálculos matemáticos para llegar a su resolución.

El periodo de recogida de respuestas dura varios minutos desde las cuestiones que identifican el problema hasta que los alumnos realizan los cálculos necesarios para elegir la que consideran la opción numérica correcta. Tras finalizar este proceso el profesor muestra la opción correcta y procede a la resolución del problema, o del subapartado correspondiente, en la pizarra.

3.5 Contexto educativo y participantes en la experiencia

Todos los alumnos participantes en este trabajo han estado matriculados en el primer curso del Grado de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Superior de Córdoba, perteneciente a la Universidad de Córdoba. Estos estudios corresponden a 240 créditos ECTS que cada alumno debe superar para obtener dicho título. Tales créditos se encuentran distribuidos en 60 créditos ECTS por cada uno de los cuatro años académicos de duración del grado, lo cual implica un total de 1500 horas de trabajo, que cada alumno debe distribuir en cada curso en un total de 40 semanas. El periodo de docencia se reparte en dos cuatrimestres de 15 semanas cada uno. Existen dos asignaturas de Fundamentos Físicos de la Ingeniería, ambas se imparten en primer curso del Grado en Ingeniería Eléctrica, por lo que el perfil de su alumnado coincide con el de los alumnos de nuevo acceso al título, salvo en el caso de los alumnos repetidores de cursos anteriores. Ambas son asignaturas de carácter básico en el plan de estudios.

En concreto la Física Ondulatoria se imparte en la materia Fundamentos Físicos de la Ingeniería II. Esta asignatura se desarrolla en el segundo cuatrimestre y su programa contempla los bloques de electricidad, magnetismo y ondas (tanto electromagnéticas como mecánicas). Esta asignatura está relacionada con otras materias del ciclo mediante el organigrama mostrado en la Figura 3.1 donde las relaciones directas están representadas mediante líneas continuas y las indirectas mediante discontinuas. La otra asignatura Fundamentos Físicos de la Ingeniería I es cursada en el primer cuatrimestre y trata los tópicos de mecánica y termodinámica. Si bien ambas son complementarias, y comparten la mayoría de estudiantes matriculados, este trabajo se ha desarrollado íntegramente en la primera asignatura descrita (Fundamentos Físicos de la Ingeniería II) ya que es en ella donde se imparte el tema de estudio elegido para esta investigación.

Acercas del perfil del alumnado, en el sistema educativo español la regulación de las vías de acceso a la enseñanza superior universitaria se rige por las Leyes Orgánicas 2/2006 y 8/2013. Estas establecen la posibilidad de acceso tanto a alumnos proceden-

tes bachillerato como desde un Ciclo Formativo de Grado Superior. El perfil del alumnado que ha participado en esta experiencia en su mayoría es de nuevo ingreso, siendo un 74% proveniente de los estudios de bachillerato y un 15% proceden de ciclos formativos de grado superior (formación profesional). La cantidad restante procede de traslados de expedientes o de otros itinerarios académicos.

Con respecto a la temporización, el estudio experimental se ha llevado a cabo en tres cursos académicos consecutivos, en la mencionada asignatura del segundo cuatrimestre del primer curso de Ingeniería Eléctrica. La investigación se ha llevado a cabo con tres grupos. Los dos primeros, llamados grupo uno (GR1) y grupo dos (GR2) se corresponden a los estudios E.1.1 y E.1.2 respectivamente. Ambos pertenecen al Estudio 1 (E1). Por otra parte, el tercer grupo se corresponde con el grupo experimental (GE) que ha participado tanto el Estudio 2 (E2) como en el Estudio 3 (E3).

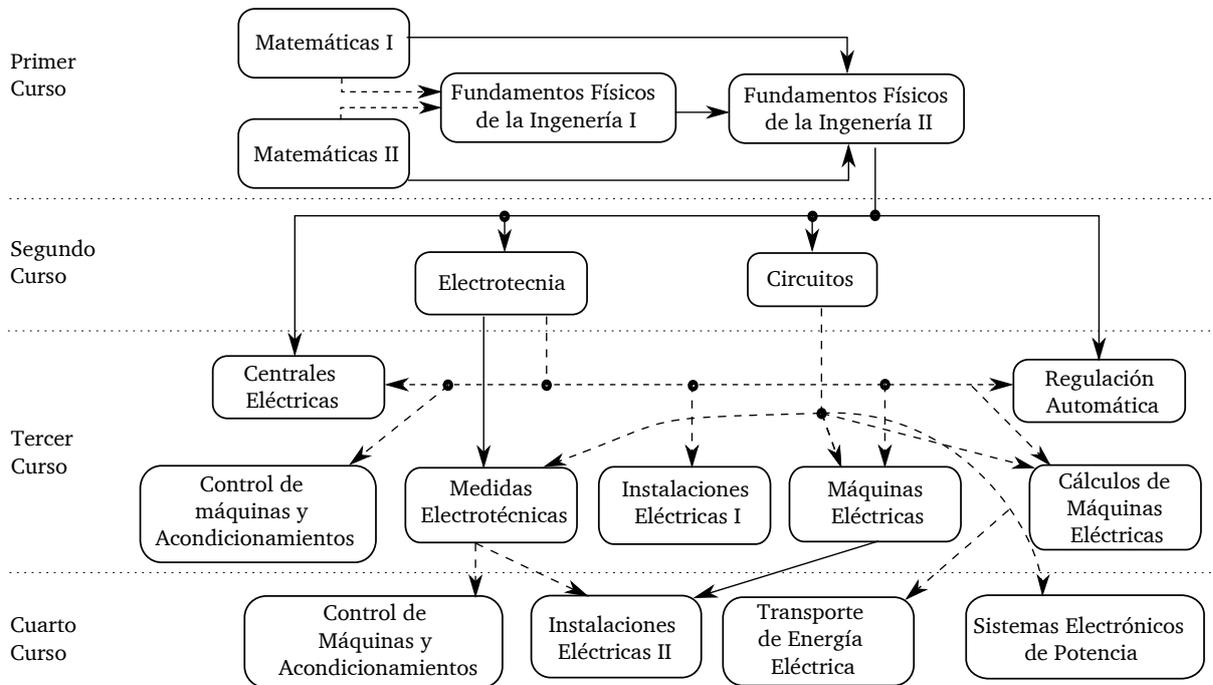


Figura 3.1: Contexto de la asignatura Fundamentos Físicos de la Ingeniería II en el Grado en Ingeniería Eléctrica de la EPSC (UCO)

En concreto, el grupo uno (GR1) estuvo formado por 62 estudiantes de los cuales 53 fueron hombres y 9 mujeres. Este grupo cursó la asignatura durante el año académico 2014/2015. El segundo grupo (GR2) estuvo formado por 57 estudiantes, de los cuales 49 fueron hombres y 8 mujeres, cursando la misma asignatura en el año académico siguiente 2015/2016. Por otra parte, el grupo experimental (GE) consistió en 52 participantes de los cuales 44 fueron alumnos y 8 alumnas y cursó la asignatura en el

año académico 2016/2017. Un resumen de los datos descriptivos de los grupos de participantes en la investigación se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Síntesis de los participantes

Grupo	Curso	N	Grado	H/M
GR1	2014/2015	62	Grado en Ingeniería Eléctrica	53/9
GR2	2015/2016	57	Grado en Ingeniería Eléctrica	49/8
GE	2016/2017	52	Grado de Ingeniería Eléctrica	44/8

3.6 Diseño y fases de la investigación

El diseño y la planificación global del proyecto se ha desarrollado en tres fases cuyas características principales se sintetizan en la Tabla 3.2 y que se comentan con detalle a lo largo de este epígrafe. En dicha tabla se recogen los siguientes aspectos: fase, instrumento de recogida de información, grupos de participantes, número de integrantes de cada grupo, año académico en el cual se desarrolló cada sub-estudio, tipo de estudio y momento en el cual se realizó.

Tabla 3.2: Sumario de las fases de la investigación

Fase	Instrumento		Grupo	N	Curso	Tipo	Momento	
I	E1.1	C1	V-F	GR1	62	2014/2015	Conocimientos previos.	Antes de la unidad
	E1.2	C2	OM	GR2	57	2015/2016		
II*	E2.1	C3.A	SRI	GE	52	2016/2017	Conocimientos adquiridos	Durante la unidad
	E2.2	C3.B**	SRI					
III*	E3.1	C4.P1.A	V-F	GE	52	2016/2017	Conocimientos adquiridos	Después de la unidad
	E3.1	C4.P1.B	OM					
	E3.1	C4.P1.C	AB					
	E3.2	C4.P2.A**	OM					
	E3.2	C4.P2.B**	AB					
IV*	E3.3	C5	AB	GE	52	2016/2017	Opiniones sobre el recurso	Después de la unidad
	E3.3	C5	LIK					

(*) Fases del grupo experimental; (**) Cuestiones Prácticas y Problemas

Tipos de cuestiones: (V-F) Verdadero-Falso; (OM) Opción Múltiple; (AB) Preguntas Abiertas; Otros códigos: (SRI) Preguntas OM con Sistema de Respuesta Inmediata; (LIK) Escala Likert 1-5

3.6.1 Fase previa exploratoria

La fase previa consistió en un estudio exploratorio destinado a obtener información sobre las explicaciones que ofrecen a los alumnos a cuestiones abiertas sobre diversos fenómenos ondulatorios. Los resultados de dicho estudio se han expuesto de forma resumida en un trabajo anterior (López-Quintero et al., 2021) y se han utilizado para la elaboración posterior de los instrumentos de recogida de datos de las siguientes fases del proyecto.

3.6.2 Fase de planificación

En esta fase se ha procedido a planificar las metas y etapas del proyecto de investigación, comenzando por la definición del problema y la posterior delimitación del campo de estudio a los procesos de enseñanza y aprendizaje del tema de ondas, en el contexto de la formación universitaria. El objeto de esta fase es establecer un adecuado marco teórico y obtener información sobre esta temática gracias a la revisión de las aportaciones de otras investigaciones anteriores. Para tal fin, se ha llevado a cabo una revisión pormenorizada de la bibliografía precedente en torno a la enseñanza y el aprendizaje sobre esta temática, que ha sido expuesta en el capítulo anterior. Asimismo, se han revisado otros estudios que utilizan recursos TIC interactivos (como los SRI) y que han desempeñado un papel clave en el desarrollo de esta investigación. Tras el análisis de esta documentación se definieron los objetivos a alcanzar en cada etapa del proyecto.

3.6.3 Fase de preparación

Ya se ha indicado que este proyecto de investigación se ha desarrollado en tres partes integradas por tres estudios diferentes, pero complementarios. En el primer estudio (E1) se han explorado los conocimientos previos sobre ondas de los estudiantes del primer curso de Ingeniería Eléctrica, utilizando dos instrumentos diferentes. Para el segundo estudio (E2) se ha diseñado una propuesta metodológica orientada a mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje sobre ondas, recogiendo datos durante el proceso de enseñanza mediante cuestiones de opción múltiple y el uso de SRI en el aula. Finalmente, en el tercer estudio (E3) se ha llevado a cabo un análisis de los resultados del aprendizaje realizado por los alumnos a través de una prueba de evaluación que incluye diferentes tipos de tareas, y a través de una encuesta de opinión abierta sobre el desarrollo de la experiencia educativa.

La elaboración de los instrumentos de recogida de datos usados en este proyecto —los cuales se encuentran en los diversos anexos— estuvo precedida de un análisis de la literatura que ha tratado una temática afín tales como: cuestionarios, libros de texto e investigaciones acerca del aprendizaje de Física Ondulatoria que se han comentado en capítulo anterior. También se ha realizado un análisis de libros de texto, así como una revisión de resultados de las pruebas de examen realizadas en cursos anteriores. Asimismo, se ha realizado un estudio previo de carácter exploratorio, basado en cuestiones abiertas sobre ondas, que ha permitido extraer datos interesantes sobre la exploración los conocimientos previos y las dificultades de aprendizaje de los estudiantes que inician los estudios de Ingeniería (López-Quintero et al., 2021) .

Del mismo modo, con respecto a las metodologías interactivas y el uso de las TIC en la educación científica se ha realizado un amplio estudio bibliográfico, expuesto detalladamente en el capítulo anterior, con algunos resultados que se han mostrado en una publicación sobre esta temática (López-Quintero et al., 2019).

3.6.4 Fase de desarrollo del proyecto

Tal como se ha comentado anteriormente el proyecto está integrado por tres estudios empíricos, centrados cada uno de ellos en buscar respuesta a los tres problemas principales de esta investigación. A continuación se describen los detalles del proceso de planificación de cada uno de estos estudios y los pasos realizados para intentar alcanzar los objetivos específicos de cada uno. Para obtener una visión global al final de todo el proceso se han resumido los aspectos más relevantes de cada etapa en la Tabla 3.2 mostrada anteriormente.

3.6.4.1 Diseño del estudio exploratorio inicial

Una fase exploratoria inicial fue desarrollada en el curso académico 2013-14, donde se invitó a un grupo de estudiantes de primer curso del Grado de Ingeniería Eléctrica a cumplimentar un conjunto de cuestiones abiertas sobre ondas, que se llevó a cabo antes de desarrollar el proceso docente. El objetivo de este primer estudio inicial fue obtener datos que nos permitieran diseñar los cuestionarios de las siguientes fases de este proyecto de investigación (López-Quintero et al., 2021).

3.6.4.2 Diseño del Estudio 1

En la primera etapa del proyecto de investigación, para buscar respuestas al problema principal P1, se han explorado las concepciones previas y modelos mentales de

los estudiantes universitarios sobre el tema de ondas al iniciar el estudio de este tema en primer curso de Ingeniería. Se han utilizado dos tipos de instrumentos diferentes: el primero un cuestionario de preguntas cerradas del tipo verdadero o falso (Anexo 1) y el segundo cuestionario de opción múltiple (Anexo 2). Estas preguntas se crearon partiendo de la base y fundamentación de las siguientes fuentes: (a) el estudio exploratorio inicial basado en cuestiones abiertas que se ha comentado en el epígrafe anterior, (b) la ayuda de un grupo de profesores expertos en el tema, (c) revisión bibliográfica —tanto nacional como internacional— sobre dificultades en Física Ondulatoria y, por último, (d) el material docente del departamento y libros de Física de bachillerato y universidad.

En la preparación de tales cuestionarios se han incluido preguntas directamente relacionadas con los conceptos y modelos de la Física Ondulatoria, así como cuestiones relacionadas con la experiencia cotidiana del alumnado. En la medida de lo posible, se ha intentado incluir cuestiones sobre las experiencias personales que tienen un efecto considerable en la formación de concepciones alternativas por parte de los estudiantes (Halloun y Hestenes, 1985; Maurines, 1992; Saura, 1997; Wittmann, 2002; Coetzee y Imenda, 2012; Barniol y Zavala, 2016). Cada uno de los cuestionarios ha sido respondido por un grupo de participantes distinto en dos cursos académicos consecutivos y se ha optado por separarlo en dos sub-estudios complementarios E1.1 y E1.2, cuyos aspectos metodológicos se exponen a continuación.

3.6.4.2.1 Metodología de investigación del estudio 1.1

Este primer sub-estudio se realizó en el curso académico 2014/2015. En el mismo han participado un total de 62 estudiantes denominado grupo 1 (GR1). El instrumento ha consistido en una batería de cuarenta preguntas de opción verdadero o falso —entregadas en formato papel— que han sido respondidas por los alumnos a modo de pretest, antes de iniciar la unidad y el desarrollo de la unidad didáctica.

El instrumento de recogida de datos utilizado ha sido el cuestionario 1 (C1, mostrado en el Anexo 1), que consta de 40 preguntas del tipo verdadero o falso. Cada ítem ha sido acompañado de una casilla donde se ha preguntado a los alumnos sobre el grado de seguridad en la certeza de la respuesta que han señalado. Este valor de seguridad ha sido medido con una escala Likert de uno (valor mínimo) a cinco (valor máximo). El análisis de los datos relativos a las respuestas se ha realizado con un estudio de frecuencias mostrando los porcentajes de las tres posibilidades obtenidas: verdadero, falso y no contesta. Asimismo, para el análisis del grado de seguridad se han mostrado tanto la media como la desviación estándar. Para facilitar la exposición de

los resultados correspondiente al estudio E1 (mostrados en el capítulo 4), se han ordenado las preguntas dentro de las once secuencias componen la unidad de ondas (Cuadro 3.1).

3.6.4.2.2 Metodología de investigación del estudio 1.2

Para el segundo sub-estudio se ha usado como instrumento de recogida de información un cuestionario de opción múltiple, aplicado en el curso académico siguiente, 2015/2016, y que fue contestado en formato de papel por los 57 participantes que integran el grupo 2 (GR2).

El instrumento de recogida de datos utilizado ha sido el cuestionario 2 (C2, mostrado en el Anexo 2 de esta memoria), que consta de 12 preguntas de opción múltiple. Para el análisis de resultados de estas cuestiones se ha hecho un estudio de frecuencias incluyendo también la proporción de alumnos que no han contestado a cada ítem.

3.6.4.3 Diseño del Estudio 2

El segundo estudio (E2) realizado en este proyecto se corresponde con la parte experimental de la investigación. Esta ha estado orientada a recoger datos sobre cómo se desarrolla el proceso de enseñanza y aprendizaje del tema de Física Ondulatoria en el aula, con ayuda de sistema SRI de mandos a distancia, con objeto de buscar respuestas al problema principal segundo (P2) y los dos sub-problemas que lo integran. Esta experimentación se llevó a cabo durante el curso académico 2016/2017 y han participado 52 alumnos correspondientes al denominado grupo experimental (GE).

Al tratarse de un estudio sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje, los datos se han recogido durante el transcurso de las clases, tanto en las exposiciones teóricas como en la resolución de problemas prácticos. En ambos tipos de clases se ha hecho uso del Sistema de Respuesta Inmediata y la metodología docente empleada en tales clases se ha descrito con detalle en un epígrafe anterior de este capítulo. Al tratarse por separado ambos aspectos —el teórico y el práctico— se ha considerado conveniente realizar dos sub-estudios específicos E2.1 y E2.2, en los que se analizan respectivamente los resultados obtenidos en ambos procesos. Se han utilizado dos cuestionarios con metas específicas encaminadas a valorar cómo se construyen ambos tipos de conocimientos (recogidos en el Anexo 3 de esta memoria). Para el diseño de tales instrumentos se han tenido en cuenta los resultados de la fase anterior (E1) y los antecedentes sobre propuestas didácticas en Física Ondulatoria (Saura, 1997; Llinás et al., 2003; Osuna García, 2007; Sözen y Bolat, 2011; Pérez-Carmona et al., 2015;

Bostan Sarioglan, 2016; Ekomaye, 2019), así como algunos manuales de física universitaria (Pedrós, Pontes y Blanca, 2005; Serway, 2005; Tipler y Mosca, 2016).

3.6.4.3.1 Metodología de investigación del estudio 2.1

En esta primera parte del segundo estudio se ha usado como instrumento de recogida de datos una batería de treinta preguntas de opción múltiple, con tres o cuatro posibles respuestas, de modo que para cada cuestión solo una opción de respuesta se corresponde con el modelo científico sobre el tema abordado en cada actividad. Estas preguntas se integran en el Cuestionario C3.A (mostrado en la primera parte del Anexo 3). Ya se ha indicado que estas cuestiones han sido elaboradas tras conocer los resultados de los sub-estudios de la fase anterior (E1.1 y E1.2) y la consulta de los manuales de Física, en concreto investigaciones sobre la enseñanza de la Física Ondulatoria. Para su redacción se han tenido en cuenta aquellos ítems de los mencionados estudios donde ha habido mayor frecuencia de concepciones alternativas. Para el análisis de los datos recogidos con el C3.A se ha aplicado una estadística descriptiva. Los resultados de este estudio, que se exponen en el capítulo 5, son presentados con las frecuencias mostradas en forma de porcentaje de cada una de las respuestas posibles.

3.6.4.3.2 Metodología de investigación del estudio 2.2

En la segunda parte del Estudio 2 —las Prácticas de resolución de problemas— se ha utilizado como instrumento de recogida de información un cuestionario diseñado para conocer las opciones que manejan los estudiantes al resolver ejercicios de carácter cuantitativo. Las preguntas planteadas al respecto se integran en el Cuestionario C3B (mostrado en la segunda parte del Anexo 3), donde se formulan 8 problemas sobre diversos fenómenos ondulatorios, desglosados en un total de 30 preguntas de opción múltiple, de modo que tras el análisis de cada problema los alumnos pueden responder a las diversas cuestiones utilizando los mandos a distancia del SRI. Para el análisis de los datos recogidos con este cuestionario se ha utilizado una estadística descriptiva y se han obtenidos las frecuencias mostrando los porcentajes correspondientes a las diversas opciones de cada pregunta (estas se muestran en el capítulo 5).

3.6.4.4 Diseño del Estudio 3

El tercer estudio (E3) desarrollado en este proyecto se ha centrado en recoger datos que permitan ofrecer respuestas al tercer problema principal (P3) y las diversas partes que lo integran. Se trata de analizar el grado de mejora de la calidad de ense-

ñanza de la física universitaria en el tema de ondas y la motivación del alumnado por el aprendizaje de este tema, al aplicar la propuesta metodológica basada en el uso activo y reflexivo de los Sistemas de Respuesta Inmediata en clase. Por tanto, los datos recogidos corresponden al mismo grupo experimental (GE) que ha participado en la experiencia educativa descrita en el E2, durante el curso académico 2016/2017. Por tanto, esta formado por los mismos 52 alumnos integrantes del Estudio 2. Pero en este caso los datos se han recogido al finalizar el proceso de enseñanza-aprendizaje del tema de ondas, utilizando varios instrumentos complementarios, que nos han aportado datos de tipo cualitativo y cuantitativo. Los resultados de los tres sub-estudios que integran esta última fase de la investigación se muestran en el capítulo 6 de esta memoria y la metodología empleada en cada parte del E3 se describe a continuación.

3.6.4.4.1 Metodología de investigación del estudio 3.1

En esta primera parte del tercer estudio se han usado varios instrumentos de recogida de datos, con vistas a conocer diferentes aspectos del aprendizaje de aspectos teóricos del tema de ondas, tras el proceso de enseñanza. En concreto se han utilizado tres tipos de cuestionarios diferentes (mostrados en la primera parte del Anexo 4 de esta memoria), que integran la prueba de evaluación de conocimientos teóricos adquiridos por los estudiantes sobre el tema y que se comentan a continuación:

- El primero de tales instrumentos, es el cuestionario C4.P1.A (mostrado al inicio del citado Anexo 4) integrado por 10 preguntas del tipo verdadero o falso. En el análisis de resultados se ha aplicado una estadística descriptiva y se han descrito las frecuencias obtenidas en los tipos de respuesta de cada ítem en forma de porcentaje.
- El segundo instrumento es el Cuestionario C4.P1.B (mostrado en el Anexo 4 a continuación del anterior) y que está formado por 10 preguntas de opción múltiple. También en este caso se ha usado una estadística descriptiva centrada en el análisis de frecuencias y porcentajes de los tipos de respuesta de cada ítem, diferenciando entre modelos de pensamiento científico y modelos alternativos.
- El tercer instrumento de recogida de datos sobre aprendizaje conceptual es el cuestionario C4.P1.C (mostrado en la tercer parte del Anexo 4), consiste en un conjunto de cuatro preguntas abiertas, donde se pide a los estudiantes que expliquen de forma justificada la respuesta a las cuestiones planteadas sobre diversos fenómenos ondulatorios. Para su análisis se han clasificado y discutido las respuestas de los estudiantes mediante una tabla de contingencia de doble

entrada mostrando las frecuencias en forma de porcentaje. En esta tabla se ha representado en sus filas las tres opciones posibles: verdadero, falso o no-contesta. En las columnas de dicha tabla las respuestas se han clasificado según que las justificaciones dadas a cada respuesta se adapten al modelo científico, a un modelo alternativo o a una ausencia de justificación. Asimismo, en el capítulo 6, se han comentado aquellas justificaciones más frecuentes citando las palabras textuales de los alumnos.

3.6.4.4.2 Metodología de investigación del estudio 3.2

En la segunda parte del Estudio 3 se ha utilizado como instrumento de recogida de información una prueba de examen escrito para conocer las destrezas alcanzadas por los alumnos del grupo experimental (GE) en la resolución de ejercicios y problemas tras el proceso de enseñanza. Para tal fin se han utilizado dos cuestionarios que han sido entregados en papel, durante la prueba de examen escrita. Ambos se describen a continuación:

- El primer instrumento de recogida de datos de este sub-estudio ha consistido en un cuestionario con dos ejercicios con preguntas de opción múltiple, denominado C4.P2.A (mostrado en la cuarta parte del Anexo 4). Para el análisis de datos se ha utilizado estadística descriptiva y en el capítulo 6 se muestran los porcentajes de cada tipo de respuesta.
- Por otra parte, el segundo instrumento utilizado ha consistido en un cuestionario abierto de resolución de dos problemas sobre varios fenómenos ondulatorios, denominado Cuestionario C4.P2.B (mostrado en la quinta y última parte del Anexo 4). Durante el análisis de resultados se han categorizado las respuestas de los alumnos según el proceso de resolución y se ha hecho un análisis estadístico de frecuencias de las mismas, mostrando en diversas tablas del capítulo 6 las diferentes opciones de respuesta barajadas por los alumnos y citando algunos ejemplos de razonamientos de los estudiantes.

3.6.4.4.3 Metodología de investigación del estudio 3.3

En la tercera y última parte del Estudio 3 se han recogido las opiniones de los estudiantes sobre algunos aspectos de la experiencia desarrollada en el tratamiento didáctico del tema de ondas, para tratar de incorporar futuras mejoras en el proceso de enseñanza. Para tal fin se ha utilizado un cuestionario (C5, mostrado en el Anexo 5). Al tratarse de un cuestionario con cuestiones tanto cuantitativas como cualitativas su estudio se ha realizado en dos análisis diferenciados:

- La primera parte está formada por ocho ítems de una escala de tipo Likert, en la que se puede indicar el grado de acuerdo en cada ítem con valores del uno al cinco. Los ítems de este instrumento se han clasificado en tres categorías distintas por su relación con los siguientes aspectos: (A) uso de la herramienta, (B) actitudes del alumnado y (C) efectos en el aprendizaje. Al estar planteado como escala con valores impares para el análisis de las cuestiones, los distintos valores de la escala se han agrupado en tres niveles: (I) Contiene las respuestas de tipo “Muy en desacuerdo” y “En desacuerdo”, (II) contiene la contestación intermedia “Ni de acuerdo ni en desacuerdo” y (III) Contiene las respuestas correspondientes a “De acuerdo” y “Muy de acuerdo”. Para su estudio se ha realizado un análisis de frecuencias con los tres niveles correspondientes, cuyos resultados se muestran en la parte final del capítulo 6 de esta memoria.
- Una última pregunta abierta donde se pide a los participantes expresar cualquier opinión acerca de la metodología basada en Sistemas de Respuesta Inmediata. Para su análisis se han separado las respuestas en unidades de información. Posteriormente se han clasificado según las tres categorías creadas para el cuestionario anterior: (A) uso de la herramienta, (B) actitudes del alumnado y (C) efectos en el aprendizaje. Tras esta ordenación se han vuelto a clasificar se trate de una valoración positiva, negativa o neutra. Estas unidades de información han sido representadas con una tabla de contingencia en la cual en las filas se encuentran representadas las mencionadas categorías y en las columnas el tipo de valoración según sea positiva, negativa o neutra. Por otra parte, también se han citado de forma textual algunas de estas respuestas de los participantes.

4 Estudio de los conocimientos previos de los estudiantes sobre ondas

4.1 Finalidad y justificación del Estudio 1

4.2 Estudio del conocimiento inicial de los estudiantes sobre ondas mediante cuestiones cerradas del tipo verdadero o falso (E1.1)

4.3 Estudio del conocimiento inicial de los estudiantes sobre ondas mediante cuestiones de opción múltiple (E1.2)

4.4 Síntesis del Estudio 1

4.1 Finalidad y justificación del Estudio 1

En el presente capítulo se abordan en detalle los aspectos relacionados con el primer estudio, realizado en el marco de este proyecto de investigación, al que hemos denominado de forma resumida E1. Concretamente, se trata de un estudio exploratorio sobre los conceptos previos del tema de Ondas que presentan los alumnos de primer curso del Grado de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Superior de Córdoba (EPSC). El origen de esta primera investigación se relaciona con la búsqueda de respuesta al problema principal 1 (P1) y los sub-problemas que lo integran, que se formularon en el capítulo de metodología y que se sintetizan en el Cuadro 4.1 mostrado a continuación.

Cuadro 4.1: Problemática abordada en el desarrollo del Estudio 1

Cod.	Problemas
P1	¿Qué características presentan los conocimientos de los estudiantes universitarios acerca de la Física Ondulatoria al finalizar los estudios de bachillerato e iniciar el estudio de este tema en primer curso de un grado científico-técnico y qué aspectos del mismo presentan mayores dificultades de cara a conseguir aprendizaje significativo?
P1.1	¿Qué tipo de conocimientos previos expresan los estudiantes universitarios de primer curso de Ingeniería al responder a un conjunto amplio de cuestiones cerradas, del tipo verdadero o falso, sobre los fenómenos ondulatorios y en qué medida muestran seguridad en sus respuestas?
P1.2	¿Qué nivel de conocimientos previos y qué dificultades de aprendizaje muestran los estudiantes universitarios de primer curso de Ingeniería al responder a una batería de cuestiones cerradas de opción múltiple sobre el tema de ondas?

4.1.1 Objetivos del Estudio 1

Como se ha expuesto anteriormente, la meta general de este primer estudio (E1) se centra en recoger datos sobre las características que presentan los conocimientos previos de los estudiantes sobre el tema de ondas, al finalizar los estudios de Bachillerato e iniciar el estudio de este tema en primer curso de una carrera científico-técnica. Asimismo, se pretende identificar aquellos aspectos del tema para los que presentan mayores dificultades de aprendizaje significativo.

En este sentido, se ha considerado interesante recoger la información sobre estos conocimientos previos mediante dos instrumentos de indagación diferentes y complementarios: 1º) mediante cuestiones cerradas de tipo verdadero o falso y 2º)

mediante cuestiones cerradas de tipo opción múltiple. En relación con este propósito, se han formulado para el desarrollo del estudio E1 los objetivos específicos siguientes:

(O1.1) Explorar los conocimientos previos que expresan los estudiantes universitarios de 1° curso de ingeniería al responder a un conjunto amplio de cuestiones cerradas del tipo verdadero o falso sobre los fenómenos ondulatorios y analizar la seguridad en las respuestas a tales cuestiones.

(O1.2) Evaluar las concepciones previas y los modelos de pensamiento que muestran tales estudiantes al responder a una batería de cuestiones cerradas de opción múltiple sobre el tema de ondas.

4.1.2 Justificación del Estudio 1

Toda enseñanza efectiva tiene que realizarse a partir de la comprensión sobre cómo aprenden los estudiantes (Fry, Ketteridge y Marshall, 2008). En este sentido, inicialmente la mente del estudiante se consideraba una tabla rasa en la que se iban registrando los conocimientos, de manera que los sistemas de aprendizaje se basaban fundamentalmente en el uso de la memoria como almacén de información (Crahay y Gardini, 2002), donde cada nuevo conocimiento se acumula junto al previo, pero sin modificarlo. Sin embargo, se ha constatado que los alumnos generan sus propias concepciones antes de llegar a la instrucción formal, como consecuencia de enseñanzas anteriores o de su experiencia en la vida cotidiana (Driver, 1988; Novak, 2002; Duit, 2007). Además, es importante señalar que, especialmente en el ámbito de las Ciencias, las concepciones previas de los estudiantes presentan las siguientes características (Pozo y Gómez Crespo, 1998).

- Son construcciones personales de los alumnos, fruto de su interacción con el entorno que le rodea.
- A veces son bastante estables y resistentes al cambio, sobre todo en algunos temas de Física (como mecánica, electricidad, termodinámica y ondas).
- Tratan de explicar o de predecir los fenómenos que el estudiante observa.
- Están dominadas por la percepción.

Estas ideas previas o concepciones personales alcanzan a veces un importante grado de articulación y coherencia interna, en cuyo caso se pueden llegar a considerar como modelos mentales o esquemas previos (Saura, 1997), y en tales casos pueden interferir de manera importante en la adquisición de nuevos conceptos, ya que el alumno los utiliza para interpretar la nueva información que va recibiendo durante el proceso de enseñanza (Anderson, 1992; Dillon, 2008). Por ello, la mayoría de las teo-

rías cognitivas entienden el aprendizaje como un proceso complejo en el que necesariamente cada nuevo conocimiento debe integrarse y modificar la estructura mental previa del sujeto (Ausubel et al., 1976; Driver y Oldham, 1986). De esta forma, para conseguir una enseñanza eficaz resulta fundamental explorar los conocimientos previos y concepciones personales sobre cada tema y, a partir de esta información, construir las bases del proceso de enseñanza-aprendizaje mediante estrategias de cambio conceptual que favorezcan la evolución de los esquemas previos hacia la construcción de modelos científicos (Posner et al., 1982; Scott, Asoko y Driver, 1991). Así, el aprendizaje pasa a ser un proceso individual que depende de cómo encaje la estructura lógica de los contenidos que se enseñan con la estructura cognitiva previa de cada alumno (Pozo y Gómez Crespo, 1998).

Por todo ello, en esta investigación se ha considerado importante comenzar explorando los conocimientos previos de los estudiantes sobre el tema de Ondas para, a partir de esta información, ajustar los contenidos y metodologías docentes a la realidad del aula y facilitar la integración de los nuevos conceptos en la estructura cognitiva de los estudiantes. Por otra parte, los resultados de este primer estudio han servido de base al diseño de las cuestiones e instrumentos de recogida de datos que se van a utilizar posteriormente en el desarrollo de los dos estudios siguientes, que se exponen en los capítulos cinco y seis de esta memoria.

4.1.3 Diseño global del Estudio 1

En el capítulo anterior se indicó que, antes de iniciar esta investigación, se llevó a cabo un estudio piloto previo sobre las concepciones personales de los estudiantes de 1º curso de ingeniería, utilizando una batería amplia de cuestiones abiertas acerca de los fenómenos ondulatorios (López-Quintero, Pontes y Varo-Martínez, 2021). Tras analizar las respuestas de los estudiantes a tales cuestiones y utilizando otras fuentes de información procedentes de la revisión bibliográfica (mostrada en el segundo capítulo) sobre los problemas de aprendizaje de los estudiantes en el tema de ondas (Maurines, 1992; Saura, 1997; Coetzee y Imenda, 2012; Barniol y Zavala, 2016), se diseñaron dos instrumentos de investigación específicos para llevar a cabo a los dos estudios (E1.1 y E1.2) que integran esta primera etapa del proyecto de investigación sobre conocimientos previos (E1). En la Tabla 4.1 se sintetizan los aspectos más relevantes del diseño del Estudio 1 (E1) y en apartados posteriores se especifican con mayor detalle los rasgos metodológicos de cada uno de los sub-estudios E1.1 y E1.2 desarrollados en esta primera fase.

Tabla 4.1: Datos del diseño del Estudio 1 y de las partes que lo integran (E1.1. y E1.2)

Fase	Instrumento		Grupo	N	Curso	Tipo	Momento
I	E1.1	C1	V-F	GR1	62	2014/2015	Conocimientos previos. Antes de la unidad
	E1.2	C2	OM	GR2	57	2015/2016	

Tipos de cuestiones: (V-F) Verdadero-Falso; (OM) Opción Múltiple;

4.2 Estudio del conocimiento inicial de los estudiantes sobre ondas mediante cuestiones cerradas del tipo verdadero o falso (E1.1)

Como ya se ha indicado antes, el primer estudio E1 se ha dividido en dos estudios complementarios y paralelos en los que se han utilizados diferentes instrumentos de investigación. En lo que concierne al estudio E1.1 se ha recabado la información sobre los conocimientos previos de los estudiantes universitarios sobre el tema de Ondas mediante un cuestionario de preguntas cerradas tipo verdadero o falso. A continuación, se resumen los aspectos metodológicos considerados en el diseño y desarrollo de este estudio parcial, pasando después a mostrar y analizar los resultados del mismo.

4.2.1 Aspectos metodológicos específicos del E1.1: Conocimientos iniciales de los estudiantes sobre ondas recogidos mediante cuestiones del tipo verdadero o falso

Ya se ha indicado que la finalidad del estudio E1.1. consiste en explorar los conocimientos previos sobre Ondas de los estudiantes de 1º primer curso de Ingeniería Eléctrica, en el contexto de la asignatura Fundamentos Físicos de la Ingeniería II (del segundo cuatrimestre) de dicha carrera, en la EPSC de la Universidad de Córdoba. La recogida de datos se ha realizado durante el curso académico 2014/15, encuestando al Grupo 1 de esta investigación (GR1), formado por 62 estudiantes (con edad media de 18,7 años), que a su vez estaba integrado por 53 alumnos y 9 alumnas.

4.2 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO INICIAL DE LOS ESTUDIANTES SOBRE ONDAS MEDIANTE CUESTIONES CERRADAS DEL TIPO VERDADERO O FALSO (E1.1)

El instrumento utilizado en el estudio E1.1, que los estudiantes cumplieron con papel y lápiz, antes de comenzar el tema de ondas, consiste en el Cuestionario C1, formado por 40 ítems del tipo verdadero o falso (mostrado en el Anexo 1 de esta memoria). Junto a cada pregunta, se incluía una casilla donde los estudiantes debían marcar, mediante una escala numérica del 1 al 5, el grado de seguridad que presentaban acerca de la respuesta señalada. El estudio cuantitativo de los datos recogidos con el C1 se ha realizado mediante el análisis descriptivo (frecuencias y porcentajes) de las respuestas marcadas como verdadero, falso y no contesta; mientras que el análisis del grado de seguridad se ha realizado determinando la media y la desviación estándar de cada ítem, usando el paquete estadístico SPSS (V20). A continuación, se presentan los resultados de este análisis, desglosando los datos recogidos en tablas donde se agrupan los ítems del C1 por unidades de contenido o secuencias (Si), dentro del tema general de ondas.

4.2.2 Resultados del estudio E1.1

En esta sección se muestran los resultados del primer estudio parcial sobre los conocimientos previos de los participantes acerca de los fenómenos ondulatorios, utilizando preguntas del tipo verdadero o falso. Para facilitar la exposición, los resultados se han ordenado en las once secciones (o secuencias) que componen el tema de Ondas. En tales tablas se muestran en letra negrita los porcentajes correspondientes a las respuestas correctas desde el punto de vista científico, en todos los ítems de tales secuencias.

En la Tabla 4.3 se muestran las respuestas de los alumnos respecto a la secuencia “S1: Nociones básicas de movimiento armónico simple”. Cuando se pregunta a los alumnos acerca de la definición de dicho movimiento (C1.01), se observa como la mitad de los mismos (51,6%) responde correctamente afirmando que consiste en la vibración de una partícula en un eje sometida a una fuerza elástica atractiva y lineal, quedando una cuarta parte de estudiantes (25,8%) sin responder. Sin embargo, en la cuestión C1.02 solo una décima parte (9,7%) responde afirmando que la frecuencia de un movimiento armónico no es proporcional a la constante elástica del muelle, encontrándose casi un tercio (30,6%) de estudiantes sin contestar. Se observa como ambas preguntas tienen un grado de certeza de tipo medio, siendo estos 3,2 y 3,1 respectivamente.

Tabla 4.2: Resultados de la Secuencia 1

S1. NOCIONES BÁSICAS SOBRE MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE

Enunciado	%			Seguridad	
	V	F	NC	Med.	DS
C1.01 Un movimiento armónico simple (MAS) consiste en la vibración de una partícula en un eje sometida a una fuerza elástica atractiva y lineal.	51,6	22,6	25,8	3,2	0,8
C2.02 La frecuencia de las oscilaciones de un sistema masa-muelle es proporcional a la constante elástica del muelle.	59,7	9,7	30,6	3,1	1,1

La Tabla 4.4 resume los resultados de los alumnos a las preguntas de la secuencia “S2: Introducción al movimiento ondulatorio, tipo de ondas”. En la primera cuestión, C1.03, se pregunta si una onda se puede considerar como un movimiento especial de movimiento armónico simple, obteniendo cuatro quintos de los participantes (79.0%) que creen que esta afirmación es verdadera y la mayoría de los restantes (14,4%) que decide no responder. La seguridad percibida de esta pregunta es moderada con un valor de 3,3.

En la siguiente cuestión, C1.04, casi un tercio de los alumnos (31%) considera cierto que un movimiento ondulatorio propaga perturbaciones, pero no materia ni energía, con un valor de seguridad moderadamente alto de 3,5, aunque cerca de la mitad de la muestra opina lo contrario (45%) y queda una cuarta parte de alumnos (24,2%) que no han respondido a este ítem. En la siguiente cuestión, C1.05, la mitad de los estudiantes (50,0%) afirman que las ondas mecánicas no pueden propagarse en el vacío con un nivel de seguridad moderado de 3,3, quedando un 14,5% de estudiantes sin responder a esta pregunta. En la siguiente cuestión C1.06 se pregunta a los alumnos si en una onda mecánica hay vibración de materia y propagación de energía. Se encuentra que algo más de cuatro quintas partes de los alumnos (82,3%) eligen la opción que se corresponde con el modelo científico, quedando algo más de la décima parte de los alumnos sin responder (12,9%). El grado de seguridad para esta pregunta es de 3,4.

A continuación, se les pregunta a los estudiantes si todas las ondas mecánicas son longitudinales, C1.07. Se encuentra como casi tres cuartos de los estudiantes (72,6%) así lo afirma, encontrándose solo una quinta parte (19,4%) que también contempla la posibilidad de que tengan otra naturaleza. Este ítem tiene un nivel de certeza de seguridad moderado de 3,3. En la última cuestión de esta secuencia, C1.08, se les pregunta a los participantes si los fluidos pueden propagar ondas transversales y se

4.2 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO INICIAL DE LOS ESTUDIANTES SOBRE ONDAS
MEDIANTE CUESTIONES CERRADAS DEL TIPO VERDADERO O FALSO (E1.1)

encuentra como la mitad de las respuestas (51,6%) respaldan esta afirmación, quedando un 22,6% de estudiantes que piensan lo contrario. Se observa como en esta última pregunta el grado de seguridad es bajo, con un 2,9.

Tabla 4.3: Resultados de la Secuencia 2

S2. INTRODUCCIÓN AL MOVIMIENTO ONDULATORIO: TIPOS DE ONDAS.

Enunciado	%			Seguridad	
	V	F	NC	Med.	DS
C1.03 Una onda puede considerarse como un tipo especial de movimiento armónico simple.	79,0	6,5	14,5	3,3	0,87
C1.04 En el movimiento ondulatorio no se propaga ni materia ni energía, solo perturbaciones.	30,6	45,2	24,2	3,5	1,3
C1.05 Las ondas mecánicas pueden propagarse en el vacío.	35,5	50,0	14,5	3,3	1,2
C1.06 En una onda mecánica hay vibración de la materia y propagación de energía.	82,3	4,8	12,9	3,4	1,1
C1.07 Todas las ondas mecánicas son longitudinales.	19,4	72,6	8,1	3,3	1,5
C1.08 En los fluidos se pueden propagar ondas transversales.	51,6	22,6	25,8	2,9	1,1

Las respuestas a la secuencia “S3: Ondas armónicas: características y descripción matemática” se encuentran en la Tabla 4.5. En la primera cuestión, C1.09, se obtiene que algo más de la mitad de los alumnos (58,1%) piensan que el estudio temporal de una onda se realiza dejando la variable "x" fija en la ecuación $y = f(x,t)$ y modificando el parámetro tiempo, con una cuarta parte de estudiantes (25,8%) que no responden, y un grado general de seguridad en la respuesta moderado de 3,1. En el siguiente ítem, C1.10, algo más de la mitad de los alumnos (56,5%) consideran que la amplitud de una onda depende de la frecuencia de la misma. Este modelo alternativo se considera significativo, especialmente debido a que se presenta con una seguridad percibida moderadamente alta de un 3,5. Además, sólo una quinta parte de los participantes (21%) responden correctamente a esta cuestión. Una proporción mayor de alumnos (64,5%) considera en el ítem C1.11 que la velocidad de propagación de una onda coincide con la velocidad de vibración en algunos tipos de onda, frente a sólo un 8,1% de alumnos que consideran que esta afirmación es falsa y quedando un 27,4% de alumnos que no responden. El índice de seguridad con que los alumnos responden a esta pregunta es moderado con un 3,0.

Tabla 4.4: Resultados de la Secuencia 3

S3. ONDAS ARMÓNICAS: CARACTERÍSTICAS Y DESCRIPCIÓN MATEMÁTICA						
Enunciado	%			Seguridad		
	V	F	NC	Med.	DS	
C1.09	El estudio temporal de una onda se realiza dejando la variable "x" fija en la ecuación $y = f(x,t)$ y modificando el parámetro tiempo.	58,1	16,1	25,8	3,1	1,2
C1.10	En todo movimiento ondulatorio la amplitud de la perturbación depende de la frecuencia.	56,5	21,0	22,6	3,5	1,2
C1.11	La velocidad de propagación de una onda coincide con la velocidad de vibración en algunos tipos de ondas.	64,5	8,1	27,4	3,0	1,0

En la Tabla 4.6 se muestran los resultados relativos a la secuencia: “S4: Velocidad de propagación de las ondas”. En el primer ítem, C1.12, la cuarta parte de los participantes (74,2%) considera que la velocidad de propagación de una onda en una cuerda tensa es mayor al aumentar la tensión de la misma. Se destaca que en esta cuestión se obtiene un alto grado de participación, pues tan solo un 9,7% de los estudiantes decidieron no responder, asimismo se consigue un nivel de seguridad moderadamente alto de 3,6. Por el contrario, para el siguiente enunciado “Si una cuerda larga se suspende del techo y se transmiten ondas hacia arriba desde el extremo inferior tales ondas ascienden con velocidad constante” (C1.13), casi la mitad de los alumnos (43,5%) no contestó si bien una porción parecida (40,3%) ha considerado correctamente que esta afirmación es falsa aunque con un nivel de seguridad moderadamente bajo de 3,0. En la siguiente cuestión C1.14 se plantea si la velocidad de propagación de una onda en una cuerda tensa es inversamente proporcional a la densidad lineal de masa de dicha cuerda, obteniendo que un 32,3% los estudiantes consideran esta afirmación falsa. En esta ocasión, al igual que en la pregunta anterior, se encuentra tanto un elevado número de participantes que decide no contestar como un nivel de seguridad muy bajo de tan solo un 2,3. Asimismo, se observa como la respuesta mayoritaria todas las preguntas de esta secuencia se corresponde con el modelo científico de ondas propagándose en cuerdas tensas.

4.2 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO INICIAL DE LOS ESTUDIANTES SOBRE ONDAS
 MEDIANTE CUESTIONES CERRADAS DEL TIPO VERDADERO O FALSO (E1.1)

Tabla 4.5: Resultados de la Secuencia 4

S4. VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS

Enunciado	%			Seguridad	
	V	F	NC	Med.	DS
C1.12 La velocidad de propagación de una onda en una cuerda tensa aumenta al aumentar la tensión de la cuerda.	74,2	16,1	9,7	3,6	0,9
C1.13 Si una cuerda larga se suspende del techo y se transmiten ondas hacia arriba desde el extremo inferior tales ondas ascienden con velocidad constante.	16,1	40,3	43,5	3	1,1
C1.14 La velocidad de propagación de una onda en una cuerda tensa es inversamente proporcional a la densidad lineal de masa de dicha cuerda.	17,7	32,3	50	2,3	1,1

En la Tabla 4.7 se muestran los resultados obtenidos para la secuencia “S5. Energía e intensidad de las ondas”. En el primer ítem de la misma, C1.15, se pregunta a los alumnos si la energía de una onda es proporcional al cuadrado de la amplitud, con casi dos quintos de alumnos (38,7%) que responden que esta afirmación es correcta. Se observa como una cantidad similar de alumnos (43,5%) no responde a la misma. Asimismo, el grado de seguridad de los alumnos que han decidido responder es bajo con un 2,9. En la siguiente cuestión, C1.16, se plantea si la intensidad de una onda es inversamente proporcional a la distancia del foco donde se produce dicha onda, con algo más de la mitad de los alumnos (53,2%) que responde afirmativamente mientras que casi la otra mitad (45,2%) decide no contestar, entre quienes han contestado se observa un índice de seguridad bajo, con un 3,1. En el siguiente ítem, C1.17, se pregunta si las ondas circulares que se producen al caer una piedra en el agua disminuyen de amplitud conforme se alejan de la fuente. Se obtiene que más de la mitad de los participantes (54,8%) responden correctamente afirmando esta sentencia. Se observa una alta participación, pues menos de la décima parte de alumnos no contestaron (9,7%). Asimismo, se obtiene un alto nivel de seguridad de 4,0.

Tabla 4.6: Resultados de la Secuencia 5

S5. ENERGÍA E INTENSIDAD DE LAS ONDAS

Enunciado	%			Seguridad	
	V	F	NC	Med.	DS
C1.15 La energía de una onda es proporcional al cuadrado de la amplitud.	38,7	17,7	43,5	2,9	1,2
C1.16 La intensidad de una onda es inversamente proporcional a la distancia al foco donde se produce dicha onda.	53,2	1,6	45,2	3,1	1,0
C1.17 Las ondas circulares que se producen al caer una piedra en el agua disminuyen de amplitud conforme se alejan de la fuente.	54,8	35,5	9,7	4,0	1,0

En la Tabla 4.8 se muestran los resultados obtenidos en la secuencia “S6: Principio de Huygens de la propagación de ondas. Fenómenos de reflexión y refracción”. En la cuestión C1.18 se pregunta a los alumnos si la reflexión de las ondas se basa en el Principio de Huygens, obteniéndose algo más de dos quintos de respuestas positivas (43,5%) con una cantidad similar de alumnos (40,3%) que deciden no responder. La seguridad mostrada en este ítem es moderadamente baja con un 3,2. En el siguiente ítem, C1.19, se pregunta si la refracción de una onda se produce sólo cuando la onda pasa de un medio a otro donde la velocidad de propagación es menor que en el primero. Se observa que la mitad de los alumnos (45,6%) afirman que esta sentencia es verdadera mientras que un quinto de los participantes no contestaron (19,4%). En esta cuestión se registra un nivel de seguridad bajo de un 3,1.

Tabla 4.7: Resultados de la Secuencia 6

S6. PRINCIPIO DE HUYGENS DE LA PROPAGACIÓN DE ONDAS: FENÓMENOS DE REFLEXIÓN Y REFRACTACIÓN

Enunciado	%			Seguridad	
	V	F	NC	Med.	DS
C1.18 La reflexión de las ondas se basa en el Principio de Huygens.	43,5	16,1	40,3	3,2	1,3
C1.19 La refracción de una onda se produce sólo cuando la onda pasa de un medio a otro donde la velocidad de propagación es menor que en el primero.	45,6	35,5	19,4	3,1	1,0

Los resultados de la secuencia “S7: Efecto Doppler” se muestran en la Tabla 4.9. En la cuestión C1.20 se pregunta a los alumnos sobre si el efecto Doppler permite expli-

4.2 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO INICIAL DE LOS ESTUDIANTES SOBRE ONDAS
MEDIANTE CUESTIONES CERRADAS DEL TIPO VERDADERO O FALSO (E1.1)

car el alejamiento de las galaxias por la longitud de onda que llega a la Tierra. Se observa como algo más de la mitad de los participantes (53,2%) considera esta afirmación correcta, encontrándose que casi todos los alumnos restantes (45,1%) deciden no contestar. Sin embargo, la seguridad percibida por los estudiantes al responder a esta pregunta es baja (2,8). En la siguiente cuestión, C1.21, se plantea a los alumnos si el efecto Doppler constituye el fundamento físico de una alarma acústica antirrobo. Se encuentra que un poco más de un tercio (35,5%) de los estudiantes lo considera verdadero. Por otra parte, la mitad de los participantes decide no contestar a este ítem (50%). El grado de seguridad percibido por los estudiantes que han respondido es bajo (2,6).

Tabla 4.8: Resultados de la Secuencia 7

Enunciado		S7. EFECTO DOPPLER			Seguridad	
		%			Med.	DS
		V	F	NC		
C1.20	El efecto Doppler permite explicar el alejamiento de las galaxias por la longitud de onda de la luz que llega a la Tierra.	53,2	1,6	45,1	2,8	1,2
C1.21	El efecto Doppler constituye el fundamento físico de una alarma acústica antirrobo.	35,5	15,5	50	2,6	1,1

En la Tabla 4.10 se muestran los resultados relativos a varios ítems de la secuencia “S8: Principio de superposición de ondas. Interferencias y otros fenómenos” y de la secuencia “S9: Ondas estacionarias”. En la cuestión C1.22 se pregunta a los alumnos si se produce un aumento de la amplitud de la vibración resultante cuando coinciden en un punto del espacio dos ondas del mismo tipo procedentes de diferentes focos. Se observa que sólo la cuarta parte de los alumnos (25,8%) responde correctamente afirmando que esta proposición es verdadera, mientras que dos quintos de los participantes decide no responder (43,3%). Se encuentra que en esta pregunta los alumnos reportan un grado de seguridad alto (3,6). En el ítem siguiente, C1.23, se pregunta si las ondas estacionarias sólo se producen en cuerdas tensas donde coinciden ondas que se propagan en diferente sentido. En este caso se observa como algo más de la cuarta parte de alumnos consideran que esta afirmación es verdadera (27,4%). Asimismo se encuentra que un tercio de ellos decide no contestar (33,9%). En esta pregunta se obtiene un índice de seguridad de 3,3.

Tabla 4.9: Resultados de la Secuencias 8 y 9

S8. PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN DE ONDAS: INTERFERENCIAS Y OTROS FENÓMENOS						
Enunciado	%			Seguridad		
	V	F	NC	Med.	DS	
C1.22	Cuando dos ondas del mismo tipo que proceden de diferentes focos coinciden en un punto del espacio se produce un aumento de la amplitud de la vibración resultante.	33,9	25,8	40,3	3,6	1,1
S9. ONDAS ESTACIONARIAS						
C1.23	Las ondas estacionarias sólo se producen en cuerdas tensas donde coinciden ondas que se propagan en diferente sentido.	38,7	27,4	33,9	3,3	1,0

Se muestran en la Tabla 4.11 los resultados de la secuencia “S10: Ondas sonoras. Aspectos característicos y aplicaciones”. En la cuestión C1.24 se pregunta a los alumnos si las ondas sonoras pueden ser longitudinales y transversales. Se observa que la misma proporción de participantes (45,2%) afirma tanto que es verdadera como que es falsa, con un grado de participación alto pues menos de la décima parte decide no contestar (9,7%). Se obtiene un grado de seguridad bajo de 2,6. En el siguiente ítem, C1.25, se pregunta si cuando un receptor se aleja de una fuente de sonido en reposo la longitud de onda medida por el mismo disminuye. Se encuentra dos quintas partes de los alumnos que niegan esta afirmación (41,9%) con algo menos de un quinto de alumnos que decide no responder (17,7%), con una seguridad percibida moderadamente baja, 2,9. En la pregunta C1.26 se pregunta si al duplicar la amplitud de las vibraciones de una onda sonora se duplica también la intensidad del sonido correspondiente. Una proporción relativamente similar se encuentra para cada respuesta posible: 38,7% responden verdadero, 32,3% falso y 29,0% decide no contestar. El grado de seguridad en este caso es moderadamente bajo, 2,9. La cuestión C1.27 enuncia si la percepción del sonido por el oído humano se mide en decibelios. Se observa como tres cuartos de los estudiantes (75,8%) responde correctamente afirmando que es verdadero con un grado de seguridad alto de 3,8. En el siguiente ítem, C1.28, se pregunta si la velocidad de una onda sonora audible en el aire depende de la longitud de onda. Se obtiene un número bajo de alumnos (6,5%) que responden según el modelo científico afirmando que esto es falso. El grado de seguridad percibido en esta pregunta es moderado igual a 2,9. En la siguiente cuestión, C1.29, se pregunta si la intensidad de un sonido es proporcional a la potencia de vibración del foco sonoro. Se

4.2 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO INICIAL DE LOS ESTUDIANTES SOBRE ONDAS MEDIANTE CUESTIONES CERRADAS DEL TIPO VERDADERO O FALSO (E1.1)

obtiene que más de la mitad de los estudiantes (51,6%) decide no responder mientras que algo más de un tercio de los mismos (37,1%) afirma que esto es correcto.

En la siguiente cuestión, C1.30, se pregunta si un metal puede transmitir ondas mecánicas tales como el sonido. Se encuentra que casi tres cuartas partes de los participantes (74,2%) afirma que sí es posible con grado de seguridad relativamente alto del 3,41. Por otra parte, se pregunta a los alumnos si en toda sonora o acústica hay transporte de materia y energía en la dirección de propagación (pregunta C1.31). De acuerdo con los datos, más de dos quintos de los alumnos (41,9%) consideran que esto es verdadero y un quinto de los mismos decide no responder (21,0%). Se encuentra un índice de seguridad moderadamente alto de 3,5. En el siguiente ítem, C1.32, se pregunta si la velocidad del sonido en el agua depende de la temperatura a la que esta se encuentre, obteniendo que casi la mitad de los estudiantes consideran que esto es falso (46,8%) y algo más de un tercio decide no responder (35,5%). Se obtiene un grado de seguridad bajo de 2,8.

A continuación se pregunta en el ítem C1.33 si un sonido de 20 dB tiene una intensidad doble que un sonido de 10 dB. Las respuestas se encuentran repartidas homogéneamente entre las tres respuestas, verdadero, falso y no contesta con 30,6%, 35,5% y 33,9% respectivamente y con un grado de seguridad moderado. Asimismo, se pregunta a los estudiantes si la principal diferencia entre ultrasonidos e infrasonidos se encuentra en la intensidad mayor o menor de las ondas (C1.34). Se observa que más de la mitad de los alumnos (59,7%) consideran esto verdadero mientras que un cuarto de los estudiantes responde correctamente afirmando que es falso (25,8%) quedando el resto sin contestar. El nivel de seguridad registrado es de 3,3.

En la siguiente cuestión, C1.35, se pide responder si un niño que grita con una voz muy aguda puede llegar a romper una copa de vidrio por efecto de la resonancia. Se obtiene que un poco más de la mitad de los participantes (51,6%) considera que es verdadero, quedando un tercio de los participantes sin responder (35,5%). Se tiene para esta pregunta un grado de seguridad moderadamente alto 3,1.

Tabla 4.10: Resultados de la Secuencia 10

S10. ONDAS SONORAS: ASPECTOS CARACTERÍSTICOS Y APLICACIONES

Enunciado	%			Seguridad	
	V	F	NC	Med.	DS
C1.24 Las ondas sonoras pueden ser longitudinales y transversales.	45,2	45,2	9,7	2,6	0,8
C1.25 Cuando un receptor se aleja de una fuente de sonido en reposo la longitud de onda medida por el receptor disminuye.	40,3	41,9	17,7	2,9	1,4
C1.26 Al duplicar la amplitud de las vibraciones de una onda sonora se duplica también la intensidad del sonido correspondiente.	38,7	32,3	29,0	2,9	1,3
C1.27 La percepción del sonido por el oído humano se mide en decibelios.	75,8	9,7	14,5	3,8	1,1
C1.28 La velocidad de una onda sonora audible en el aire depende de la longitud de onda del sonido.	62,9	6,5	30,6	2,9	1,2
C1.29 La intensidad de un sonido es proporcional a la potencia de vibración del foco sonoro.	37,1	11,3	51,6	2,8	1,8
C1.30 En un metal no pueden transmitirse ondas mecánicas tales como el sonido.	9,7	74,2	16,1	3,41	1,1
C1.31 En toda onda sonora o acústica hay transporte de materia y de energía en la dirección de propagación.	41,9	37,1	21,0	3,5	1,2
C1.32 La velocidad del sonido en el agua depende de la temperatura a que se encuentre.	17,7	46,8	35,5	2,8	1,1
C1.33 Un sonido de 20 dB tiene una intensidad doble que un sonido de 10 dB.	30,6	35,5	33,9	3,1	1,1
C1.34 La principal diferencia entre ultrasonidos e infrasonidos se encuentra en la intensidad mayor o menor de tales ondas.	59,7	25,8	14,5	3,3	1,1
C1.35 Un niño que grita con una voz muy aguda puede llegar a romper una copa de vidrio por efecto de resonancia.*	51,6	12,9	35,5	3,1	1,2

En la Tabla 4.11 se muestran los resultados de la última secuencia “S11: Ondas electromagnéticas. Aspectos característicos y aplicaciones”. En la cuestión C1.36, los alumnos responden acerca de si las ondas electromagnéticas pueden ser longitudinales y transversales. Casi dos tercios de los alumnos (71,0%) considera esta afirmación verdadera quedando dos quintos sin responder (21,0%), con un grado de seguridad alto de 3,6. En el siguiente ítem, C1.37, se formula si las ondas mecánicas se di-

4.2 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO INICIAL DE LOS ESTUDIANTES SOBRE ONDAS
MEDIANTE CUESTIONES CERRADAS DEL TIPO VERDADERO O FALSO (E1.1)

ferencian de las ondas electromagnéticas en que las primeras no transportan energía de un punto a otro del espacio mientras que las segunda sí. Se observa que casi la mitad de los estudiantes (48,4%) afirma que esto es falso, quedando algo más de la décima parte sin responder (12,9%), con un grado de seguridad moderadamente alto de 3,1. En la pregunta siguiente, C1.38, se plantea si en las ondas electromagnéticas se propagan campos eléctricos y magnéticos variables con el tiempo y perpendiculares entre sí. Se obtiene que más de la mitad de los alumnos (54,8%) afirma que esto es verdadero, quedando algo más de un tercio de los mismos (38,7%) sin responder. El grado de seguridad es moderado e igual a 3,1. En el ítem siguiente, C1.39, se pide a los alumnos que respondan acerca de si la luz ultravioleta es una onda de carácter longitudinal. Se observa cómo menos de la décima parte (8,1%) afirma que esto es falso, quedando la mitad de los participantes (50,0%) sin responder. No obstante, el grado de seguridad es bajo 2,71. En la última cuestión de esta secuencia, C1.40, se pregunta a los alumnos si el funcionamiento de una fibra óptica se basa en el fenómeno de reflexión total. Se observa que más de la mitad de los alumnos (58,1%) confirma esta sentencia, quedando algo más de una quinta parte sin responder (22,6%). El grado de seguridad en esta pregunta es alto 3,7.

Tabla 4.11: Resultados de la Secuencia 11

S11. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS: ASPECTOS CARACTERÍSTICOS Y APLICACIONES						
Enunciado	%			Seguridad		
	V	F	NC	Med.	DS	
C1.36 Las ondas electromagnéticas pueden ser longitudinales y transversales.	71,0	8,1	21,0	3,6	1,2	
C1.37 Las ondas mecánicas se diferencian de las ondas electromagnéticas en que las primeras no transportan energía de un punto a otro del espacio.	38,7	48,4	12,9	3,1	1,1	
C1.38 En las ondas EM se propagan campos eléctricos y magnéticos variables con el tiempo y perpendiculares entre sí.	54,8	6,5	38,7	3,1	1,1	
C1.39 La luz ultravioleta es una onda de carácter longitudinal.	41,9	8,1	50,0	2,71	1,3	
C1.40 El funcionamiento de la fibra óptica se basa en el fenómeno de reflexión total.	58,1	19,4	22,6	3,7	1,3	

4.3 Estudio del conocimiento inicial de los estudiantes sobre ondas mediante cuestiones de opción múltiple (E1.2)

La segunda parte de la primera fase de esta investigación corresponde al desarrollo del estudio E1.2, en el que se ha recabado información sobre los conocimientos previos de los estudiantes universitarios, acerca de los fenómenos ondulatorios, mediante un cuestionario de doce preguntas cerradas de opción múltiple. A continuación, se resumen los aspectos metodológicos relacionados con el diseño y desarrollo de este segundo sub-estudio, mostrando después los resultados del mismo.

4.3.1 Aspectos metodológicos específicos del estudio E1.2

La finalidad del estudio E1.2 consiste en explorar las concepciones previas y modelos mentales de los estudiantes sobre ondas, mediante cuestiones de opción múltiple. Este estudio se ha llevado a cabo en el contexto de la asignatura Fundamentos Físicos de la Ingeniería II (del segundo cuatrimestre) de la carrera de Ingeniería Electrónica, en la EPSC de la Universidad de Córdoba. La recogida de datos se ha realizado durante el curso académico 2015/16, encuestando al Grupo 2 de esta investigación (GR2), formado por 57 estudiantes (con edad media de 18,9 años), que a su vez estaba integrado por 49 alumnos y 8 alumnas. El instrumento utilizado en el estudio E1.2, que los estudiantes cumplieron con papel y lápiz, antes de comenzar el tema de ondas, ha sido el Cuestionario C2, formado por 12 cuestiones cerradas de opción múltiple (mostrado en el Anexo 2 de esta memoria).

4.3.2 Resultados del estudio E1.2

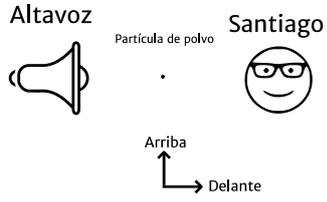
El estudio cuantitativo de los datos recogidos con el test C2 se ha realizado mediante el análisis descriptivo (frecuencias y porcentajes) de las respuestas marcadas por los alumnos en cada ítem, usando el paquete estadístico SPSS (V20). A continuación, se presentan los resultados de este análisis, utilizando una tabla para cada uno de los ítems del C2. Asimismo, en cada tabla de resultados se indican las respuestas que se corresponden con el modelo científico (MC).

En la cuestión C2.01, cuyo enunciado y respuestas se muestran en la Tabla 4.12, se aborda cómo sería el movimiento de una partícula de polvo que flota en el aire en

4.3 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO INICIAL DE LOS ESTUDIANTES SOBRE ONDAS
MEDIANTE CUESTIONES DE OPCIÓN MÚLTIPLE (E1.2)

calma de una habitación en la cual se emite un sonido ininterrumpido y a frecuencia constante. Se observa en dicha tabla que casi dos terceras partes de los estudiantes (60,3%) presentan el modelo de ondas que transportan materia. Estas respuestas se reparten entre quienes consideran a las ondas sonoras como transversales (36,2%) o como longitudinales (24,1%). Por otra parte, casi una quinta parte de los alumnos (19,0%) considera que las ondas efectivamente no transportan materia, pero estas son tratadas como ondas transversales. Asimismo, una cantidad similar pero inferior (17,2%) considera las ondas según el modelo científico del sonido.

Tabla 4.12: Resultados del ítem C2.01

Mod.	En una habitación con el aire en calma flota una partícula de polvo situada entre un altavoz y Santiago (como muestra la figura). Cuando se enciende el altavoz se emite una nota de sonido ininterrumpidamente a frecuencia constante. ¿Cómo es el movimiento de la partícula de polvo?		%
	La partícula se mueve hacia arriba y hacia abajo, alejándose del altavoz y acercándose a Santiago.		36,2
	La partícula se mueve hacia adelante y atrás, alejándose del altavoz y acercándose a Santiago.		24,1
	La partícula se mueve hacia arriba y hacia abajo, manteniendo una distancia constante con el altavoz.		19,0
MC	<i>La partícula se mueve hacia adelante y atrás, manteniendo una distancia constante con el altavoz.</i>		17,2
	No contesta		3,4

En la Tabla 4.13 se muestran las respuestas a la cuestión C2.02, donde se plantea a los estudiantes que elijan entre distintas afirmaciones sobre las ondas electromagnéticas. Se obtiene que casi tres cuartas partes de los alumnos (72,4%) considera que este tipo de ondas pueden ser tanto longitudinales como transversales. Esta cantidad se encuentra repartida entre quienes hacen la afirmación genérica de que todas las ondas pueden ser tanto longitudinales como transversales, según el sistema de referencias usado para medir la velocidad (53,4%) y quienes solo hacen la afirmación de que las ondas electromagnéticas pueden ser tanto longitudinales como transversales (19,0%). Asimismo, se encuentra menos de la quinta parte de los participantes (17,2%) que afirma que son transversales de acuerdo con el modelo científico. Por otra parte, solo una pequeña fracción (1,7%) consideró a estas ondas como longitudinales.

Tabla 4.13: Resultados del ítem C2.02

Mod.	Cual de las siguientes afirmaciones es correcta:	%
	Todas las respuestas son verdaderas, pues todos los tipos de onda pueden ser tanto longitudinales como transversales, dependiendo de la dirección en la que se coloque el sistema de referencia para medir la velocidad de propagación.	53,4
	Las ondas electromagnéticas pueden ser tanto transversales como longitudinales.	19,0
MC	Las ondas electromagnéticas son transversales.	17,2
	Las ondas electromagnéticas son longitudinales.	1,7
	No contesta	8,6

En la Tabla 4.14 se muestran las respuestas al ítem C2.03, donde se plantean diversos enunciados acerca del movimiento ondulatorio. Se obtiene como algo menos de la mitad del total de alumnos (44,8%) considera que las ondas pueden transportar materia. Entre estos, más de un tercio del total (37,9%) consideran que esto dependería del tipo de onda, mientras el resto (6,9%) afirma que dicho transporte solo se produce en las ondas que se mueven en fluidos como el aire o el agua. Por otra parte, la mitad de los estudiantes (50%) considera que las ondas no transportan materia. Sin embargo, se observa cómo entre estos aproximadamente la mitad (24,1%) afirma que las ondas tampoco transportan energía, lo cual no se corresponde con el modelo científico.

Tabla 4.14: Resultados del ítem C2.03

Mod	En un movimiento de tipo ondulatorio podemos afirmar que una onda:	%
	Puede propagar tanto materia como energía, dependiendo del tipo de onda.	37,9
MC	Las ondas no propagan materia.	25,9
	No propaga ni materia ni energía, solo perturbaciones del medio.	24,1
	Solo las ondas que se mueven en fluidos (como el aire o el agua) pueden propagar materia.	6,9
	No contesta.	5,2

En la cuestión C2.04 se plantea qué se tendría que hacer para que una onda que se propaga en una cuerda tensa se mueva a mayor velocidad. Los resultados de este ítem se muestran en la Tabla 4.15, donde se observa que casi tres cuartas partes de los participantes (70,7%) presenta el modelo alternativo consistente en que la velocidad de propagación de una onda depende de las características de la misma. Entre los mismos se dividen entre un 37,9% que afirma que la velocidad se incrementa al aumentar la amplitud y un 32,8% que lo hace al aumentar la frecuencia. Por otra parte, casi un quinto del total (17,2%) responde según el modelo científico.

4.3 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO INICIAL DE LOS ESTUDIANTES SOBRE ONDAS
 MEDIANTE CUESTIONES DE OPCION MÚLTIPLE (E1.2)

Tabla 4.15: Resultados del ítem C2.04

Mod.	Una cuerda tensa está atada a una pared lejana. Ana mueve su mano hacia arriba y luego hacia abajo creando un pulso que se propaga hacia la pared y la alcanza en un determinado intervalo de tiempo “t” ¿Qué tendría que hacer Ana para que el pulso llegara antes a la pared?		
			%
	Hacer un movimiento hacia arriba y abajo más amplio, para incrementar el tamaño del pulso, así tendrá que recorrer menos distancia para alcanzar la pared.	37,9	
	Mover su mano arriba y abajo más rápidamente, y crear así un pulso que se propague a más velocidad.	32,8	
MC	Usar una cuerda más ligera, y mantener la tensión constante.	17,2	
	Usar una cuerda de igual densidad, pero disminuir la tensión.	1,7	
	No contesta.	10,3	

Se muestran en la Tabla 4.16 los resultados del ítem C2.05, relativo a la distinción existente entre ultrasonidos e infrasonidos. La mayoría de los alumnos (85,5%) responden a esta cuestión según el modelo científico, afirmando que estos tipos de ondas se diferencian en la frecuencia y la longitud de onda. Otras respuestas muestran que menos de la décima parte (8,6%) considera que la separación se hace según la energía que son capaces de transmitir cuando entran en contacto con un cuerpo. Por otra parte, se observa que en esta cuestión muy pocos alumnos (1,7%) consideran que depende de otros factores como el volumen o la intensidad.

Tabla 4.16: Resultados del ítem C2.05

Mod.	La principal diferencia entre ultrasonidos e infrasonidos se encuentra en:	%
MC	La frecuencia y la longitud de onda.	84,5
	La energía que son capaces de transmitir cuando entran en contacto con un cuerpo.	8,6
	La intensidad y la amplitud.	1,7
	El volumen de dichos sonidos.	0
	No contesta	5,2

La Tabla 4.17 muestra los resultados de la cuestión C2.06 que trata sobre la velocidad de propagación del sonido en el agua. Se observa que dos quintas partes de los estudiantes (41,4%) consideran que esta depende de la frecuencia, presentando el modelo alternativo de ondas independientes del medio con la velocidad dependiendo de dicha magnitud. Asimismo, se encuentra el mismo modelo en otro 5,2% de partici-

pantes, pero en este caso, dependiendo del volumen. Por otra parte, se encuentra más de un tercio de los alumnos (37,9%) afirmando que la velocidad en el agua es menor que en el alcohol. Esto último se puede considerar parte del modelo de medio que ofrece resistencia a la propagación, infiriendo que los alumnos piensan que el agua es más densa. También se aprecia que menos de la décima parte de los estudiantes (8,6%) responden según el modelo científico de dependencia con la temperatura.

Tabla 4.17: Resultados del ítem C2.06

Mod.	La velocidad de propagación del sonido en el agua:	%
	Depende de la frecuencia del sonido.	41,4
	Es menor que en el alcohol.	37,9
MC	Depende de la temperatura.	8,6
	Depende del volumen del sonido.	5,2
	No contesta.	6,9

En la Tabla 4.18 se muestran los resultados del ítem C2.07. En esta cuestión se pide a los alumnos que seleccionen la opción correcta relativa a un sonido del cual se han medido 10 dB. En esta ocasión dos respuestas son correctas, una afirma que un sonido de 20dB tendrá el doble de intensidad que un sonido de 10dB y la otra que un sonido de 20dB se escuchará al doble de volumen que uno de 10dB. Asimismo, una tercera opción engloba a ambas afirmaciones. Aproximadamente la mitad de los alumnos (53,4%) han elegido esta última que combina ambas. Por otra parte, algo más de una cuarta parte del total (27,6%) ha elegido la primera y nadie la segunda. Adicionalmente, alrededor de una décima parte (13,8%) asegura que un sonido de 10dB tendrá el doble de intensidad que uno de 5dB, de acuerdo con un modelo alternativo de equivalencia proporcional entre intensidad y volumen percibido.

Tabla 4.18: Resultados del ítem C2.07

Mod.	De un sonido medimos que posee 10 dB (decibelios). Podemos afirmar que:	%
MC	Las respuestas (b) y (c) son correctas.	53,4
MC	(c) Un sonido de 20 dB tendría más del doble de intensidad que el medido de 10 dB.	27,6
	Su intensidad sería el doble que la de un sonido de 5 dB.	13,8
MC	(b) Un sonido de 20 dB se escucharía al doble de volumen que el medido de 10 dB.	0
	No contesta.	5,2

Se muestra en la Tabla 4.19 el resultado de la cuestión C2.08. Se pregunta - mediante un diagrama- cómo será la onda resultante de dos pulsos que viajan en dirección opuesta y se encuentran en la misma localización del espacio. Se obtiene que casi la mitad de los estudiantes (44,8%) consideran que la onda resultante tiene más

4.3 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO INICIAL DE LOS ESTUDIANTES SOBRE ONDAS
MEDIANTE CUESTIONES DE OPCIÓN MÚLTIPLE (E1.2)

amplitud que la suma de ambas y a la vez presenta una distorsión de forma en las envolventes. Por otra parte, una cuarta parte (24,4%) considera una opción con menos distorsión de forma, pero aún no se interpreta correctamente el principio de superposición. Adicionalmente, otra cuarta parte (24,2%) interpreta la onda resultante sin distorsiones considerables, y dentro de estos una mitad (12,1%) interpreta correctamente el principio de superposición y la otra no.

Tabla 4.19: Resultados del ítem C2.08

Mod.	Dos pulsos de onda viajan con velocidades opuestas, dirigiéndose cada uno hacia el otro. En el instante en el cual ambos se encuentran en el mismo punto de su recorrido. ¿Qué situación se asemejaría más a la forma de la onda resultante?		%
		A	44,8
		B	24,1
		C	12,1
		D	12,1
MC	No contesta		6,9

Los resultados de la cuestión C2.09 se muestran en la Tabla 4.20. Este ítem es una continuación del enunciado anterior y se pregunta qué ocurrirá después de que ambos pulsos se encuentren. Se observa que algo menos de dos quintos de los alumnos (36,2%) afirman que tras el choque se crean además otros dos pulsos secundarios reflejados en sentidos opuestos a los iniciales. Esta opción se corresponde con el modelo alternativo de ondas como partículas que se comportan de modo parecido a un choque elástico. Por otra parte, la cuarta parte de los participantes (25,9%) consideran que se produce como resultado un único pulso que es la suma de ambos y que se propaga a menor velocidad hacia la izquierda. En este caso se observa un modelo que considera que las ondas se modifican tras una interferencia cambiando su forma. Asimismo, un porcentaje algo menor (20,7%) afirma que ambos pulsos seguirán propagándose en sus respectivas direcciones y sentidos, pero perderán parte de su energía debido a la interferencia. Esto se corresponde con el modelo de interferencias que modifican las ondas de tal modo que estas pierden energía después de su interacción. Tan solo una pequeña porción de los participantes (6,9%) elige la opción científica:

seguirán propagándose con la misma energía y forma como si nunca se hubieran encontrado.

Tabla 4.20: Resultados del ítem C2.09

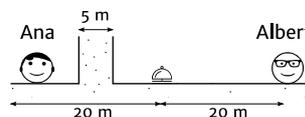
Mod.	Partiendo de la misma situación inicial que la pregunta anterior. ¿Qué ocurrirá después de que ambos pulsos se encuentren?	%
	Tras el choque se crean además otros pulsos secundarias reflejados en sentidos opuestos a los iniciales.	36,2
	Resulta un único pulso, suma de ambos, que se propaga a menor velocidad hacia la izquierda.	25,9
	Ambos pulsos pierden parte de su energía, pero continúan propagándose en la misma dirección y sentido que cada uno tenía inicialmente.	20,7
MC	<i>Ambos pulsos continúan propagándose con la misma energía y forma, como si nunca se hubieran encontrado.</i>	6,9
	No contesta.	10,3

En la Tabla 4.21 se muestran los resultados de la cuestión C2.10. En este caso se pregunta a los estudiantes como percibirán un sonido dos oyentes que se encuentran a la misma distancia de un foco sonoro, donde uno de ellos tiene una pared de hormigón delante. De acuerdo con los resultados, más de la mitad de los estudiantes (56,9%) afirman que ambos percibirán el sonido a la vez. Esto se corresponde con el modelo alternativo de modelo de ondas independientes del medio y, en concreto, con el de velocidad de las mismas independiente del medio. Por otra parte, algo más de un tercio de los participantes (36,2%) piensa que el oyente que no tiene ninguna pared será quien escuche antes el sonido. La respuesta anterior se corresponde con el modelo de medio que ofrece resistencia a la propagación de modo que las ondas se propagan a menor velocidad en medios más densos. Tan solo un 5,2% de los alumnos ha considerado el modelo científico: el oyente que tiene la pared de hormigón enfrente escuchará antes el sonido.

4.3 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO INICIAL DE LOS ESTUDIANTES SOBRE ONDAS
 MEDIANTE CUESTIONES DE OPCION MÚLTIPLE (E1.2)

Tabla 4.21: Resultados del ítem C2.10

Mod.	Ana y Alberto se encuentran en distintas habitaciones de un hotel con paredes de hormigón de 5 metros. En la habitación de Alberto hay un timbre cuyo sonido puede oírse en todo el hotel. Ambos se encuentran a la misma distancia de 20 metros del timbre. Si el timbre empieza a sonar. ¿Quién escuchará antes el sonido?	%
	Ambos lo escucharán al mismo tiempo.	56,9
	Alberto.	36,2
MC	Ana.	5,2
	No contesta.	1,7



Se muestran en la Tabla 4.22 los resultados de la cuestión C2.11. En esta ocasión se pregunta qué le ocurre a dos ondas que proceden de diferentes focos y coinciden en el mismo punto del espacio. Dos quintos de los alumnos (41,4%) consideran que la amplitud total no puede aumentar nunca debido a que la energía siempre se conserva. Por el contrario, la décima parte (10,3%) considera que se produce siempre un aumento de la amplitud resultante. Asimismo, el modelo científico de superposición es elegido como verdadero por un quinto de los participantes (20,7%).

Tabla 4.22: Resultados del ítem C2.11

Mod.	Cuando dos ondas que proceden de diferentes focos coinciden en el mismo punto del espacio:	%
	(a) La amplitud total no puede aumentar nunca, debido a que la energía siempre se conserva.	29,3
MC	(b) La vibración es el resultado de la suma de las vibraciones de ambas.	20,7
	Las respuestas (a) y (b) son correctas.	12,1
	Se produce siempre un aumento en la vibración resultante.	10,3
	No contesta.	27,6

La Tabla 4.23 muestra los resultados del último ítem del cuestionario C2 usado en este estudio. En esta cuestión se pide a los alumnos que reflexionen acerca de la refracción de una onda de un medio a otro. En la pregunta todas las opciones se corresponden con el modelo científico. Se observa como casi dos quintas partes de los alumnos (37,9%) considera que todas las opciones son correctas. La misma cantidad de participantes (37,9%) solo considera como correcta la opción “Depende del ángulo de incidencia de la onda con respecto a la superficie de separación de ambos medios”.

Por otra parte, menos de la décima parte (8,6%) elige la opción “Ocurre cuando la onda pasa de un medio a otro donde la velocidad de propagación es menor”. Y solo un 1,7% elige la opción “Ocurre cuando una onda pasa de un medio a otro donde la velocidad de propagación es mayor”.

Tabla 4.23: Resultados del ítem C2.12

Mod.	La refracción de una onda al pasar de un medio a otro	%
	Todas las respuestas son correctas.	37,9
MC	Depende del ángulo de incidencia de la onda con respecto a la superficie de separación de ambos medios.	37,9
	Ocurre cuando la onda pasa de un medio a otro donde la velocidad de propagación es menor.	8,6
	Ocurre cuando onda pasa de un medio a otro donde la velocidad de propagación es mayor.	1,7
	No contesta.	13,8

4.4 Síntesis del Estudio 1

En este capítulo se ha expuesto el diseño y el desarrollo del primero de los estudios empíricos del proyecto de investigación (E1), cuya meta consistía en recoger datos empíricos para explorar los conocimientos previos sobre Física Ondulatoria, que muestran los estudiantes de primer curso de ingeniería, antes de la enseñanza universitaria de dicho tema. Para alcanzar esta meta, de una forma amplia y diversa, se han llevado a cabo dos estudios parciales diferentes y complementarios (E1.1 y E1.2), utilizando dos cuestionarios diferentes.

En el primer estudio parcial de esta primera fase (E1.1) se ha utilizado un cuestionario cerrado, denominado C1 (que se muestra en el Anexo 1), integrado por 40 ítems del tipo verdadero o falso, sobre una amplia gama de tópicos sobre el tema de ondas, añadiendo el grado de seguridad de respuesta en una escala líkert de 5 niveles para cada ítem. Los resultados obtenidos en el desarrollo del estudio E1.1 permiten considerar que los estudiantes universitarios de primer curso de ingeniería, que han participado en este estudio, muestran unos conocimientos previos sobre ondas caracterizados por serias deficiencias de aprendizaje significativo, como las que se comentan a continuación.

En primer lugar se ha detectado una serie de ideas no científicas o creencias de carácter alternativo, que alcanzan porcentajes superiores al 50% de las respuestas recogidas en la muestra, que habrá que tener muy en cuenta a la hora de planificar

adecuadamente el proceso de enseñanza universitarias sobre el tema de ondas. Entre tales creencias alternativas se encuentran las siguientes, indicando entre paréntesis el ítem correspondiente: (C2.02) *La frecuencia de las oscilaciones de un sistema masa-muelle es proporcional a la constante elástica del muelle;* (C1.08) *En los fluidos se pueden propagar ondas transversales;* (C1.10) *En todo movimiento ondulatorio la amplitud de la perturbación depende de la frecuencia;* (C1.11) *La velocidad de propagación de una onda coincide con la velocidad de vibración en algunos tipos de ondas;* (C1.16) *La intensidad de una onda es inversamente proporcional a la distancia al foco donde se produce dicha onda;* (C1.28) *La velocidad de una onda sonora audible en el aire depende de la longitud de onda del sonido;* (C1.34) *La principal diferencia entre ultrasonidos e infrasonidos se encuentra en la intensidad mayor o menor de tales ondas;* (C1.36) *Las ondas electromagnéticas pueden ser longitudinales y transversales.*

También se han registrado otras muchas ideas acientíficas que alcanzan porcentajes comprendidos entre el 30% y el 50% de las respuestas, que también habrá que tener en cuenta en el proceso de enseñanza, como las siguientes: (C1.04) *En el movimiento ondulatorio se propaga materia y energía, además de perturbaciones del medio;* (C1.05) *Las ondas mecánicas pueden propagarse en el vacío;* (C1.17) *Las ondas circulares que se producen al caer una piedra en el agua no disminuyen de amplitud conforme se alejan de la fuente;* (C1.19) *La refracción de una onda se produce sólo cuando la onda pasa de un medio a otro donde la velocidad de propagación es menor que en el primero;* (C1.22) *Cuando dos ondas del mismo tipo que proceden de diferentes focos coinciden en un punto del espacio siempre se produce un aumento de la amplitud de la vibración resultante;* (C1.23) *Las ondas estacionarias sólo se producen en cuerdas tensas donde coinciden ondas que se propagan en diferente sentido;* (C1.24) *Las ondas sonoras pueden ser longitudinales y transversales;* (C1.25) *Cuando un receptor se aleja de una fuente de sonido en reposo la longitud de onda medida por el receptor disminuye;* (C1.26) *Al duplicar la amplitud de las vibraciones de una onda sonora se duplica también la intensidad del sonido correspondiente;* (C1.31) *En toda onda sonora o acústica hay transporte de materia y de energía en la dirección de propagación;* (C1.32) *La velocidad del sonido en el agua no depende de la temperatura a la que se encuentre el agua;* (C1.33) *Un sonido de 20 dB tiene una intensidad sonora el doble que un sonido de 10 dB;* (C1.37) *Las ondas mecánicas se diferencian de las ondas electromagnéticas en que las primeras no transportan energía de un punto a otro del espacio;* (C1.39). *La luz ultravioleta es una onda de carácter longitudinal.*

Por otra parte, entre los resultados derivados del test C1 hay que destacar el hecho de que hay bastantes tópicos de ondas en los que muchos alumnos (más del 40%) no

contestan o muestran un desconocimiento elevado, como ocurre en las secuencias y los ítems siguientes: C1.13 y C1.14 (Velocidad de propagación de las ondas), C1.15 y C1.16 (Energía e Intensidad de las ondas), C1.18 (Principio de Huygens), C1.20 y C1.21 (Efecto Doppler), C1.22 (Interferencias), C1.29 (Ondas sonoras) y C1.39 (Ondas electromagnéticas). Este hecho también refleja que hay dificultades de aprendizaje en la enseñanza de la Física Ondulatoria sobre estos temas en el bachillerato y, por tanto, también habrá que tener en cuenta esta problemática al planificar el proceso de enseñanza de las ondas en la formación universitaria.

En el segundo estudio parcial de esta primera fase (E1.2) se ha utilizado un cuestionario cerrado, integrado por 12 cuestiones de opción múltiple sobre diversos fenómenos ondulatorios, denominado C2 (que se muestra en el Anexo 2). Los resultados obtenidos en el desarrollo del estudio E1.2 permiten considerar que los estudiantes universitarios de primer curso de ingeniería, que han sido encuestados con dicho cuestionario, muestran también muchas deficiencias de aprendizaje significativo en el tema de ondas y que se caracterizan por la presencia de muchas concepciones y modelos metales de carácter alternativo. A continuación se citan algunos ejemplos de ideas no científicas que aparecen registradas con una extensión relativamente alta: (C2.01) *Las ondas mecánicas transportan materia;* (C2.02): *las ondas electromagnéticas pueden ser longitudinales y transversales;* (C2.03) *las ondas pueden propagar materia y energía, dependiendo del tipo de onda;* (C2.06) *La velocidad de propagación de las ondas depende de la frecuencia de vibración del foco emisor;* (C2.07) *Existe una relación de proporcionalidad entre la intensidad de un sonido y el volumen percibido por receptor en decibelios;* (C2.08) *En la superposición de dos ondas, la onda resultante tiene más amplitud que la suma de ambas;* (C2.09) *Tras el choque de dos ondas opuestas se crean otros pulsos secundarios reflejados en sentidos opuestos a los iniciales;* (C2.10) *la velocidad de una onda sonora no depende del medio donde se propaga;* (C2.11) *Cuando dos ondas que proceden de focos diferentes coinciden en un punto la amplitud de la onda resultante no puede aumentar nunca debido a que la energía siempre se conserva.*

En síntesis, en el desarrollo del Estudio 1 hemos tratado de conocer qué características presentan los conocimientos de los estudiantes universitarios acerca de la Física Ondulatoria antes de la instrucción formal en primer curso de ingeniería, para buscar respuestas al primer problema principal de este proyecto de investigación (P1), utilizando dos cuestionarios diferentes y complementarios. Los resultados obtenidos con tales cuestionarios, tanto en el estudio E1.1 (con cuestiones del tipo verdadero o falso) como en el estudio E1.2 (con cuestiones de opción múltiple), son convergentes en cuanto a que ambos estudios ponen de manifiesto la existencia de numerosas di-

ficultades de aprendizaje significativo, caracterizadas por la existencia de muchas creencias previas, concepciones personales y modelos mentales, que presentan un carácter alternativo respecto a los modelos científicos de la Física Ondulatoria, como se ha detectado también en numerosas investigaciones previas sobre esta temática (Maurines, 1992; Saura, 1997; Llinás et al., 2003; Pejuan et al., 2011; Barniol y Zavala, 2016; Maulidah y Prima, 2018; Bezen y Bayrak, 2020). Desde una perspectiva constructivista de la educación científica consideramos que los hechos apreciados en este estudio presentan importantes implicaciones educativas, y obligan al profesorado a tener en cuenta las dificultades de aprendizaje del alumnado sobre Física Ondulatoria (Caleon y Subramaniam, 2013; Bostan Sarioglan, 2016; Ekomaye, 2019), a la hora de planificar adecuadamente el proceso de enseñanza-aprendizaje de este tema en la formación universitaria.

5 Estudio del proceso de aprendizaje basado en actividades de aula realizadas con un Sistema de Respuesta Inmediata

5.1 Finalidad y justificación del Estudio 2

5.2 Estudio del aprendizaje de contenidos teóricos sobre ondas con ayuda de los SRI (E2.1)

5.3 Estudio de las actividades de resolución de problemas con ayuda de los SRI (E2.2)

5.4 Síntesis del Estudio 2

5.1 Finalidad y justificación del Estudio 2

En el presente capítulo se describe el segundo estudio de este proyecto de investigación, al que hemos denominado de forma resumida E2, centrado en el desarrollo de una propuesta metodológica para la enseñanza del tema de ondas en primer curso de ingeniería. Se ha realizado en el aula un programa-guía de actividades de reflexión, con ayuda de recursos innovadores como los Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI). La metodología docente interactiva se ha aplicado tanto en las clases teóricas del tema como en las clases prácticas dedicadas a resolución de problemas. Recogiendo en ambos casos numerosos datos sobre el proceso de aprendizaje con la importante ayuda de los mandos a distancia de los SRI.

Este segundo estudio se ha dividido en dos partes, ya que se han recogido datos sobre conocimientos de diferente tipo y ello nos ha llevado a analizar cada aspecto por separado en los sub-estudios E2.1 (aprendizaje de conceptos) y E2.2 (resolución de problemas). El origen de esta segunda investigación se relaciona, por tanto, con la búsqueda de respuesta al segundo problema principal (P2) de este proyecto y a los sub-problemas que lo integran. El motivo por el que se ha separado en dos estudios es no solo por facilitar su análisis sino también por el hecho de que la naturaleza de ambos estudios es distinta, pues el primero de estos (E2) —el mostrado en este capítulo— se centra en el proceso de aprendizaje mientras que el segundo (E3) fue llevado a cabo al finalizar el proceso de enseñanza de la unidad didáctica de ondas. De esta forma, el estudio E2 que se presenta en este capítulo se trata de un estudio empírico desarrollado en el curso 2016/17 durante la impartición del tema de Física Ondulatoria en la asignatura Fundamentos Físicos de la Ingeniería II del Grado en Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Superior de Córdoba de la Universidad de Córdoba. Los problemas que han dado origen a este estudio se formularon en el capítulo de metodología y se sintetizan en el Cuadro 5.1 mostrado a continuación.

Cuadro 5.1: Problemática abordada en el desarrollo del Estudio 2

Cod.	Problemas
P2	¿Cómo se desarrolla el proceso de enseñanza y aprendizaje de los fenómenos ondulatorios al aplicar una propuesta metodológica basada en actividades de reflexión y en el uso de recursos interactivos multimedia tales como los Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI)?
P2.1	¿Qué tipo de conocimientos sobre fenómenos ondulatorios muestran los estudiantes al reflexionar y responder a preguntas de opción múltiple, en las clases teóricas del tema de ondas que se imparten en la materia de Física de primer curso de Ingeniería, con ayuda de los mandos interactivos SRI?
P2.2	¿Qué conocimientos de tipo práctico muestran los alumnos de primer curso de Ingeniería al realizar ejercicios y problemas sobre ondas, con ayuda de los mandos interactivos a distancia, en las actividades realizadas en las clases de Prácticas de Aula de la asignatura de Física?

5.1.1 Objetivos del Estudio 2

La meta global del estudio E2 es recoger datos sobre cómo se desarrolla el proceso de enseñanza y aprendizaje del tema de movimiento ondulatorio en primer curso de ingeniería al aplicar una propuesta metodológica basada en actividades de reflexión y en el uso didáctico de los Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI). Debido que hay dos tipos de conocimientos involucrados (conceptual y práctico), este objetivo general se ha desglosado en los siguientes objetivos específicos:

- **(O2.1)** Analizar el tipo de conocimientos y concepciones personales sobre fenómenos ondulatorios que muestran los estudiantes al reflexionar y responder, con ayuda de un Sistema de Respuesta Inmediata (SRI), los mandos interactivos a distancia, a preguntas de opción múltiple sobre los conceptos, leyes, modelos y fenómenos que se desarrollan en las clases teóricas del tema de Física Ondulatoria, en primer curso de ingeniería.
- **(O2.2)** Utilizar los SRI en las clases de Prácticas de Aula para recoger datos sobre el aprendizaje de tipo práctico que desarrollan los alumnos de primer curso de ingeniería al realizar ejercicios y problemas sobre ondas en la asignatura de Física.

5.1.2 Justificación del Estudio 2

Las Tecnologías de la Comunicación y la Información (TIC) han traído consigo una revolución en la organización de las instituciones educativas, las relaciones profes-

alumno y alumno-alumno y, en definitiva, en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Pontes, 2005; Oñorbe, 2014; Valverde, 2018). Numerosas investigaciones ponen de manifiesto que las TIC contribuyen positivamente al proceso de enseñanza-aprendizaje ya que facilitan el acceso a la información, las comunicaciones entre los diferentes agentes del proceso de enseñanza-aprendizaje y el diseño de materiales didácticos en soportes más accesibles al alumnado y más sencillos para el profesor. A su vez las TIC fomentan un papel activo del estudiante, aumentando su motivación y participación y favoreciendo la asimilación de contenidos conceptuales y procedimentales y la adquisición de competencias (Webb, 2005; Talanquer, 2014; López-Quintero et al., 2019). Entre los múltiples recursos TIC que existen, en este estudio se analiza el uso docente de los sistemas de respuesta interactiva (SRI). Estos son dispositivos electrónicos que permiten realizar preguntas colectivas a una audiencia y recoger las respuestas individuales emitidas (Hwang y Chang, 2011; Varo-Martínez et al., 2015; López-Quintero et al., 2016; Hodges et al., 2017).

Una de las características de estos sistemas que resulta más atractiva para el profesorado y el alumnado es la capacidad que tienen de proporcionar información de forma inmediata (Caldwell, 2007). Y es que, gracias a los SRI, el docente recibe casi en tiempo real en su ordenador las respuestas de los alumnos, así como gráficos que ilustran los conocimientos del conjunto de estudiantes. Asimismo, la retroalimentación inmediata permite a los alumnos comprobar en que grado están asimilando los contenidos, a la vez que aporta a los profesores información acerca de la efectividad de la docencia impartida. Esto constituye una excelente herramienta para dinamizar las clases fomentando la atención, la participación y el debate (Crouch y Mazur, 2001; Knight y Wood, 2005; Smith et al., 2011).

Además de esta retroalimentación inmediata, diversas investigaciones han destacado numerosas ventajas que hacen de los SRI un recurso educativo de gran eficacia en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Mazur, 1997; Chafer, 2009; Morais et al., 2015; López-Quintero et al., 2017b), entre las que cabe destacar:

- Fomenta la asistencia a clase y la participación, incluso en grupos de gran tamaño.
- Ameniza las clases y aumenta la satisfacción del alumno.
- Mejora la atención de los estudiantes.
- Aumenta la interacción profesor-alumno.
- Se fomenta la discusión en grupo y la facilita cuando los grupos son de gran tamaño.

- Permite al profesor conocer el grado de asimilación de los contenidos.
- Facilita el seguimiento individual del aprendizaje de cada estudiante, reduciendo la gestión administrativa por parte del profesor.
- Mejora el rendimiento de los estudiantes y la comprensión de los temas.
- proyecta una imagen innovadora del profesor.

Por todo ello, distintas investigaciones concluyen que no solo los profesores sino también los alumnos valoran globalmente estos sistemas como positivos para el proceso de enseñanza-aprendizaje (DeBourgh, 2008; Berry, 2009; Onodipe y Ayadi, 2020). En este contexto, en el presente estudio se aborda el análisis del proceso de aprendizaje sobre Física Ondulatoria de los alumnos de primer curso de ingeniería industrial cuando se introduce el uso de los SRI en la metodología de enseñanza.

5.1.3 Diseño global del Estudio 2

Para alcanzar los objetivos descritos, en el curso 2016/17 se desarrolló la experiencia que se describe en este segundo estudio (E2), en el marco de la asignatura Fundamentos Físicos de la Ingeniería II, impartida durante el segundo cuatrimestre del primer curso del Grado en Ingeniería Eléctrica. Concretamente, los participantes en el estudio fueron los 44 alumnos y las 8 alumnas del grupo experimental (GE). La información sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje se recabó mediante dos cuestionarios electrónicos que los estudiantes han respondido con los mandos de los SRI durante el transcurso de las clases tanto teóricas como prácticas. De esta forma, este segundo estudio se ha dividido, a su vez, en dos sub-estudios (E2.1 y E2.2), cuyas características se resumen en la Tabla 5.1.

En ambos sub-estudios las preguntas incluidas en los cuestionarios han sido elaboradas teniendo en cuenta los resultados de los dos estudios previos (E1.1 y E1.2) descritos en el capítulo anterior y los antecedentes sobre propuestas didácticas en Física Ondulatoria (Saura, 1997; Llinás et al., 2003; Sözen y Bolat, 2011; Bostan Sarioglan, 2016) y algunos manuales de Física Universitaria (Pedrós et al., 2005; Serway, 2005; Tipler y Mosca, 2016) .

Tabla 5.1: Resumen del Estudio 2 y de las partes que lo integran (E2.1. y E2.2)

Fase		Instrumento		Grupo	N	Curso	Tipo	Momento
II	E2.1	C3.A	SRI	GE	52	2016/2017	Conocimientos adquiridos	Durante la unidad
	E2.2	C3.B**	SRI					

(*) Cuestiones prácticas y problemas
(SRI) Preguntas OM con Sistema de Respuesta Inmediata

5.2 Estudio del aprendizaje de contenidos teóricos sobre ondas con ayuda de los SRI (E2.1)

5.2.1 Aspectos metodológicos específicos del estudio 2.1

En el sub-estudio E2.1 se ha usado como instrumento de recogida de datos una batería de treinta preguntas de opción múltiple, con tres o cuatro posibles respuestas, de modo que en cada cuestión solo una opción de respuesta se corresponde con el modelo científico sobre el tema abordado en cada actividad. Estas preguntas se integran en el Cuestionario C3A (mostrado en la primera parte del Anexo 3). Para el análisis de los datos recogidos con el C3A se ha aplicado una estadística descriptiva y los resultados de las diferentes cuestiones se presentan en tablas que incluyen los enunciados de las cuestiones, las diferentes opciones de respuesta y las frecuencias relativas correspondientes a cada opción, indicando si corresponden con modelos científicos (MC).

5.2.2 Resultados del estudio 2.1

En los resultados del estudio E2.1 se van a mostrar y comentar una serie de tablas de datos sobre los conocimientos que muestran los estudiantes al responder, con los mandos a distancia de los SRI, a las actividades de reflexión sobre los contenidos conceptuales de las diferentes secuencias de enseñanza-aprendizaje (Si) que integran la unidad didáctica sobre Ondas, ensayada en esta propuesta metodológica. El estudio cuantitativo de los datos recogidos con el test C3A se ha realizado mediante el análisis descriptivo (frecuencias y porcentajes) de las respuestas marcadas por los alumnos en cada ítem, usando el paquete estadístico SPSS (V20). A continuación, se presentan los resultados de este análisis, utilizando una tabla para cada uno de los ítems del C3A.

Asimismo, en cada tabla de resultados se indican (en cursiva) las respuestas que se corresponden con el modelo científico (MC), la ausencia de respuestas o modelo indefinido, considerando que las demás respuestas son incorrectas y se identifican con modelos mentales de carácter alternativo.

5.2.3 Resultados de actividades de aprendizaje: Cuestiones teóricas

5.2.3.1 Introducción al movimiento ondulatorio: Tipos de ondas (S1)

En la secuencia 1 (S1) se integran varias cuestiones del C3A, realizadas como actividades de aula con ayuda de los SRI (además de las explicaciones del profesorado sobre esta temática y otras tareas de clase), cuyos resultados se muestran en las dos tablas siguientes. En la Tabla 5.2 se muestran las respuestas a la cuestión C3.A.01, en la que se plantea a los alumnos qué ocurre a las partículas del medio cuando una onda longitudinal se desplaza por el mismo. Se observa como la mayoría de los alumnos (84,6%) contestan afirmando que se mueven hacia adelante y hacia atrás en la dirección de propagación, la cual se considera la respuesta correcta según el modelo científico. No obstante, algo más de la décima parte de los mismos (11,5%) considera que se mueven hacia adelante en la dirección de propagación. Esta respuesta puede asociarse con el modelo de ondas como partículas que transportan materia. Del resto de participantes un 1,9% considera que las partículas permanecen en una posición fija.

Tabla 5.2: Resultados de la actividad C3.A.01.

Mod.	Cuando una onda longitudinal se desplaza por un medio material, las partículas de dicho medio:	%
MC	<i>Se mueven hacia adelante y hacia atrás en la dirección de propagación.</i>	84,6
	Se mueven hacia adelante en la dirección de propagación.	11,5
	Se mantienen en una posición fija.	1,9
	Se mueven en círculos.	0,0
	No contesta	1,9

5.2 ESTUDIO DEL APRENDIZAJE DE CONTENIDOS TEÓRICOS SOBRE ONDAS CON AYUDA DE LOS SRI (E2.1)

En la Tabla 5.3 se muestran los datos obtenidos en la cuestión C3.A.02. En esta ocasión se plantean ciertos enunciados acerca de la propagación de la luz y el sonido para que los alumnos elijan cuál se corresponde con el modelo científico. Se obtiene que casi dos tercios de los estudiantes (65,2%) consideran que los dos tipos de ondas pueden propagarse en el aire. Por otra parte, casi un quinto de alumnos (17,4%) afirman que ambos tipos de ondas pueden propagarse también en el vacío, lo cual se corresponde con el modelo alternativo de sonido que puede propagarse en el vacío. Sin embargo, ningún alumno elige la opción de que se ambos tipos de ondas pueden propagar sólo en el vacío. Asimismo, se observa que un 4,3% de alumnos responden que la luz y el sonido transportan materia, lo cual se corresponde con el modelo alternativo. Finalmente, algo más de la décima parte (13,0%) deja esta cuestión sin responder.

Tabla 5.3: Resultados de la actividad C3.A.02.

Mod.	La luz y el sonido son ondas, de modo que en ambos casos se puede decir que:	%
MC	[B] Las dos se pueden propagar en el aire.	65,2
	Las opciones A y B son correctas.	17,4
	Las dos transportan materia.	4,3
	[A] Las dos se pueden propagar en el vacío.	0
	No contesta.	13,0

5.2.3.2 Ondas armónicas: características y descripción matemática (S2)

En la Tabla 5.4 se muestran los resultados correspondientes a la cuestión C3.A.03 en la que se pregunta sobre la distancia entre dos puntos de una onda armónica que tienen una diferencia de fase de 2π radianes. Se observa que casi dos terceras partes de los alumnos (61,5%) afirman que se corresponde a la longitud de onda, respuesta que se corresponde con el modelo científico. Por otro lado, la cuarta parte (25,0%) considera que se corresponde con el periodo y la décima parte (11,5%) considera que equivale a la frecuencia.

Tabla 5.4: Resultados de la actividad C3.A.03.

Mod.	En una onda armónica o sinusoidal, la distancia entre dos puntos que presentan una diferencia de fase de 2π radianes es:	%
MC	La longitud de onda.	61,5
	El periodo.	25,0
	La frecuencia.	11,5
	El desplazamiento.	0,0
	No contesta.	1,9

La Tabla 5.5 muestra las respuestas de los participantes a la cuestión C3.A.04. En esta ocasión se plantea a los participantes que seleccionen el enunciado correcto en relación a la longitud de onda o frecuencia de una armónica para la que se observa que el tiempo que transcurre en un punto de observación fijo entre dos crestas es de dos segundos. Se obtiene que casi tres cuartas partes de los alumnos (73,9%) afirman correctamente que la frecuencia será de 0,5 o $\frac{1}{2}$ Hz. Sin embargo, algo más de la décima parte de los mismos (13,0%) responde que se corresponde con la frecuencia de 2 Hz mientras que un mismo porcentaje de alumnos (4,3%) afirman que se corresponde con una longitud de onda de medio metro o de dos metros.

Tabla 5.5: Resultados de la actividad C3.A.04.

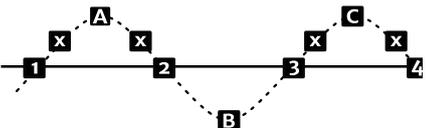
	Una onda armónica pasa por un punto de observación. En este punto, el tiempo entre dos crestas sucesivas es 2 segundos. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es verdadera?	%
MC	La frecuencia es $\frac{1}{2}$ o 0.5 Hz.	73,9
	La frecuencia es 2 Hz.	13,0
	La longitud de onda es $\frac{1}{2}$ o 0.5 metros.	4,3
	La longitud de onda es 2 metros.	4,3
	No contesta.	4,3

En la Tabla 5.6 se muestran los resultados de la cuestión C3.A.05. En esta ocasión el enunciado se acompaña de una figura —también mostrada en la tabla— donde se ha representado una onda armónica y se han marcado distintos puntos de la misma. Se plantea a los alumnos que identifiquen las afirmaciones que identifican a esos puntos según el modelo científico. Las opciones de la pregunta son cuatro, de las cuales la opción (c) es la correcta, mientras que las respuestas (a) y (b) no se corresponden con el modelo científico y, consecuentemente, tampoco la respuesta (d) que enuncia que todas las opciones dadas son verdaderas. Se observa como esta última ha sido elegida por casi dos terceras partes del alumnado (63,5%), mientras que solo la

5.2 ESTUDIO DEL APRENDIZAJE DE CONTENIDOS TEÓRICOS SOBRE ONDAS CON AYUDA DE LOS SRI (E2.1)

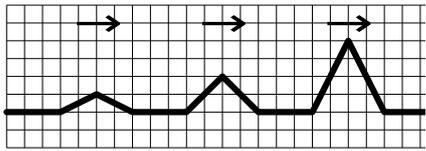
décima parte (11,5%) elige la única que es correcta identificando acertadamente dos puntos que están en fase. Entre las respuestas [a] y [b] —no correspondientes al modelo científico— se obtiene que un 7,7% de los estudiantes identifican dos puntos separados por media longitud de onda con un desfase de $\pi/2$ (opción [a]), y ningún alumno elige la opción [b].

Tabla 5.6: Resultados de la actividad C3.A.05.

Mod.	Respecto de la siguiente figura que representa una onda armónica se puede decir que:		%
	[d] Todas las respuestas son correctas.		63,5
MC	[c] Los puntos 1 y 3 están en la misma fase.		11,5
	[a] Los puntos A y B tienen un desfase de $\pi/2$.		7,7
	[b] Todos los puntos X están a la misma fase.		0,0
	No contesta.		17,3

La cuestión C3.A.06 se acompaña de una figura donde se muestran tres pulsos con la misma longitud de onda y cada uno de ellos con frecuencia doble a la del anterior (Tabla 5.7). Sobre esta ilustración se plantean tres enunciados y se pide a los alumnos que elijan cuales son verdaderos entre: (1) Todos tienen la misma longitud de onda; (2) Cada uno tiene frecuencia el doble que el anterior; (3) Cada uno tiene amplitud el doble que el anterior. Se observa como casi la mitad de los participantes (46,2%) escogen las dos respuestas correctas: (1) y (3). Sin embargo, la misma proporción de estudiantes (46,2%) eligen opciones que contienen la respuesta incorrecta (2) según la cual cada pulso tiene frecuencia doble que el anterior.

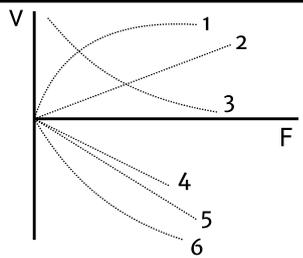
Tabla 5.7: Resultados de la actividad C3.A.06.

Mod.	Se propagan tres pulsos independientes hacia la derecha como se muestra en la siguiente imagen. De las siguientes afirmaciones, ¿cuáles son las verdaderas?: (1) Todos tienen la misma longitud de onda; (2) Cada uno tiene frecuencia el doble que el anterior; (3) Cada uno tiene amplitud el doble que el anterior		%
MC	1 y 3.		46,2
	1, 2 y 3.		21,2
	2 y 3.		17,3
	2.		7,7
	No contesta.		7,7

5.2.3.3 Velocidad de propagación de las ondas (S3)

En la Tabla 5.8 se muestran los resultados relativos a la cuestión C3.A.07. En esta ocasión se pregunta a los estudiantes como sería la variación de la velocidad de una onda que se propaga en una cuerda tensa según el valor de la tensión. Cuatro quintos de los estudiantes (80,8%) identifica correctamente una variación proporcional a la raíz cuadrada de la tensión mientras que una décima parte de los alumnos considera que la velocidad de una onda decrece con la tensión.

Tabla 5.8: Resultados de la actividad C3.A.07.

Mod.	¿Cuál de las siguientes curvas ilustra mejor la variación de la velocidad de una onda (v) que se propaga en una cuerda con una tensión de valor F ?		%
MC	1.		80,8
	3.		11,5
	2.		1,9
	4.		0,0
	No contesta.		5,8

En la Tabla 5.9 se muestran los resultados del ítem C3.A.08. En esta ocasión se aborda —al igual que en la cuestión anterior— cómo es la variación de la velocidad de una onda que se propaga en una cuerda tensa con respecto a la tensión de la

5.2 ESTUDIO DEL APRENDIZAJE DE CONTENIDOS TEÓRICOS SOBRE ONDAS CON AYUDA DE LOS SRI (E2.1)

misma. Para ello se pregunta cómo será la velocidad resultante si se cuadriplica el valor de la tensión. Se obtiene que la mayoría de los participantes (82,6%) afirma, según el modelo científico, que dicha velocidad es dos veces mayor. Asimismo, se obtiene: un 8,7% que afirma que será cuatro veces mayor, un 4,3% que cree que es la mitad y un 8,7% considera que es la misma.

Tabla 5.9: Resultados de la actividad C3.A.08.

Mod.	Una cuerda sometida a una tensión T transporta una onda transversal con una velocidad V. Si la misma cuerda se encuentra a una tensión cuatro veces mayor. ¿Cuál sería la velocidad de la onda?	%
MC	Dos veces mayor.	82,6
	Cuatro veces mayor.	8,7
	La misma.	8,7
	La mitad.	4,3
	No contesta	4,3

En la Tabla 5.10 se muestran los resultados de la cuestión C3.A.09. En esta cuestión se considera una cuerda sometida a una tensión T que transporta una onda transversal que viaja a una velocidad V y se pide que se describa cual será la velocidad de la onda si la densidad de la cuerda se reduce a la mitad, pero se mantiene la tensión. Se observa que algo más de la tercera parte de los alumnos (36,5%) considera que la velocidad se duplica. Por otro lado, algo menos de una tercera parte (30,8) responde, según el modelo científico, que la velocidad aumenta en torno al 41%. Finalmente, un poco más de la quinta parte de los participantes (23,1%) considera que la velocidad se reduce a la mitad mientras que un 7,7% de alumnos no responden esta pregunta.

Tabla 5.10: Resultados de la actividad C3.A.09.

Mod.	Una cuerda sometida a una tensión T transporta una onda transversal viajando a velocidad "v". Si la densidad lineal de la cuerda se reduce a la mitad, pero se mantiene la tensión. ¿Cuál será la velocidad de la onda?	%
	La velocidad se duplica.	36,5
MC	La velocidad aumenta aproximadamente en un 41% de la original.	30,8
	La velocidad se reduce a la mitad.	23,1
	La velocidad se mantiene igual.	1,9
	No contesta.	7,7

5.2.3.4 Energía e intensidad de las ondas (S4)

En la Tabla 5.11 se muestran los resultados relativos a la cuestión C3.A.10 donde se pregunta a los alumnos sobre qué ocurriría a la energía transmitida por una onda en una cuerda tensa si se duplicara la amplitud mientras se mantienen la frecuencia y la velocidad. Se obtiene que casi tres cuartas partes de los estudiantes (73,1%) consideran —según el modelo científico— que la energía se duplica. Frente a ellos, casi una quinta parte (17,3%) considera que se duplica y un 5,8% afirma que no cambia al ser proporcional a la velocidad y la frecuencia.

Tabla 5.11: Resultados de la actividad C3.A.10.

Mod.	Si duplicamos la amplitud de una onda en una cuerda tensa, manteniendo la velocidad y la frecuencia. La energía transmitida por la onda:	%
MC	Se cuadruplica.	73,1
	Se duplica.	17,3
	No cambia por ser proporcional a la velocidad y la frecuencia, que se mantienen constantes.	5,8
	Se reduce a la mitad.	0,0
	No contesta.	3,8

La Tabla 5.12 muestra los resultados de la cuestión C3.A.11, en la cual se pregunta por las magnitudes de las cuales depende directamente la potencia de una onda armónica. Se obtiene que algo más de la mitad de los alumnos (52,2%) considera que lo hace con el cuadrado de la amplitud, lo cual es acorde con el modelo científico. Por otro lado, algo más de la cuarta parte (26,1%) considera que lo hace con la amplitud y un 17,5% que lo hace con la raíz cuadrada de la frecuencia. Se observa que un 4,3% de alumnos no responden a esta pregunta.

Tabla 5.12: Resultados de la actividad C3.A.11.

Mod.	La potencia transmitida por una onda armónica aumenta directamente con:	%
MC	El cuadrado de la amplitud.	52,2
	La amplitud.	26,1
	La raíz cuadrada de la frecuencia.	17,4
	El periodo.	0,0
	No contesta.	4,3

La Tabla 5.13 muestra los resultados del ítem C3.A.12. Se plantea qué ocurre cuando la amplitud de una onda estacionaria se duplica. Mientras casi la tercera parte de los participantes (30,8%) responde según el modelo científico afirmando que se

cuadruplica su energía, el resto no responde o lo hace incorrectamente. Así, algo más de la quinta parte (21,2%) considera que se duplica la energía y una proporción igual de los participantes (21,2%) considera que aparece el siguiente armónico. Finalmente, algo más de la décima parte de los alumnos (15,4%) decide no responder a esta pregunta.

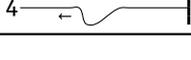
Tabla 5.13: Resultados de la actividad C3.A.12.

Mod.	Si la amplitud de una onda estacionaria se duplica, podemos decir que:	%
MC	(B) Se cuadruplica su energía.	30,8
	Se duplica su energía.	21,2
	(C) Aparece el siguiente armónico $\lambda/2$.	21,2
	Las opciones B y C son correctas.	11,5
	No contesta.	15,4

5.2.3.5 Principio de Huygens: Fenómenos de reflexión y refracción (S5)

En la Tabla 5.14 se muestran los resultados relativos a la cuestión C3.A.13. En esta ocasión se pregunta cómo cambiará un pulso en una cuerda tensa después de producirse una reflexión en una pared. Se advierte que algo más de la mitad de los alumnos (55,8%) consideran correctamente que el pulso se invierte de fase sin inversión temporal. Por otra parte, se obtiene que casi un quinto de los alumnos (19,2%) presentan un modelo alternativo el cual se correspondería a una ausencia de inversión de fase. Otros modelos alternativos contemplarían una inversión temporal y una similitud con partícula que rebota están presentes con un 3,8% y un 1,9% respectivamente. Se encuentra un alto porcentaje de alumnos que deciden no responder (19,2%).

Tabla 5.14: Resultados de la actividad C3.A.13.

Una onda se propaga en una cuerda tensa hacia una pared. ¿Cuál de las siguientes formas se asemeja más a la onda reflejada?			%
			
			
			
			
MC	4.		55,8
	2.		19,2
	3.		3,8
	1.		1,9
	No contesta.		19,2

Se muestran en la Tabla 5.15 los resultados de la cuestión C3.A.14 en la cual se pregunta sobre el fundamento físico de la fibra óptica. Concretamente, se describe una fibra óptica como un sistema de cilindros coaxiales de diferentes materiales y se pregunta qué relación debe haber entre las características de ambos materiales para que la luz se propague por el cilindro interno. Dos terceras partes de los participantes (65,9%) afirma que la luz nunca atraviesa hacia el medio exterior; sin embargo, atribuyen este fenómeno a la refracción. Casi una décima parte (7,7%) considera que el material exterior es más denso que el interior mientras que solo un 4,3% afirma que el material exterior es más denso que el interior y que se produce refracción. Asimismo, se observa como una cuarta parte de los estudiantes decide no responder (21,7%). No se encuentran participantes que elijan el modelo científico.

Tabla 5.15: Resultados de la actividad C3.A.14.

Mod.	Una fibra óptica consiste en un cilindro de un material A, rodeado de un material B, que está protegido por una cubierta de plástico. La luz se propaga por el interior del material A debido a que:	%
	[C] Se produce una refracción en el borde de ambos materiales, por tanto la luz nunca atraviesa hacia el medio B.	65,9
	[B] El material B es más denso que el material A.	7,7
MC	El material A es más denso que el material B.	0
	Las opciones B y C son correctas.	4,3
	No contesta.	21,7

La Tabla 5.16 muestra los resultados relativos a la cuestión C3.A.15. En esta se pregunta a qué se debe que una pajita sumergida en un vaso se vea aparentemente doblada. Se observa que casi dos terceras partes de los alumnos (60,9%) consideran

5.2 ESTUDIO DEL APRENDIZAJE DE CONTENIDOS TEÓRICOS SOBRE ONDAS CON
AYUDA DE LOS SRI (E2.1)

que la luz viaja más rápidamente en el aire que en el agua y experimenta refracción, lo cual se corresponde al modelo científico. Asimismo, la cuarta parte de los estudiantes (26,1%) afirma que la velocidad en el aire es más lenta, aunque identifican correctamente que el fenómeno es debido a la refracción.

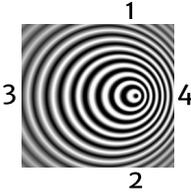
Tabla 5.16: Resultados de la actividad C3.A.15.

Mod.	Introducimos una pajita en un vaso de agua, y observamos que la misma parece doblarse. Esto es debido a que la luz viaja (1)_____ en el aire y se produce una (2)_____	%
MC	(1) más rápido / (2) refracción.	60,9
	(1) más lenta / (2) refracción.	26,1
	(1) más lenta / (2) reflexión.	4,3
	(1) más rápido / (2) reflexión.	0,0
	No contesta.	8,7

5.2.3.6 Efecto Doppler (S6)

En la Tabla 5.17 se presentan los resultados del ítem C3.A.16. En esta ocasión se muestra una figura que representa una imagen de la superficie de un estanque que presenta un patrón de propagación de ondas Doppler donde la fuente se mueve hacia la derecha. Entre los resultados se encuentra que casi la mitad de los alumnos (46,2%) considera que las ondas se propagan a más velocidad hacia esta dirección, lo cual se podría corresponder con un modelo alternativo de velocidad independiente del medio. Por otra parte, casi un quinto de los alumnos (17,3%) considera que las ondas se propagan en sentido contrario, mostrando también un posible modelo de onda independiente del medio. Una cantidad inferior de alumnos (13,5%) considera la fuente se mueve hacia la derecha a la vez que la velocidad de propagación de la onda es mayor en ese sentido, contestando según el modelo alternativo. Frente a ellos, sólo un 7,7% de los participantes considera, de acuerdo con el modelo científico, que el patrón se corresponde con un objeto que se mueve en un estanque. Finalmente, casi una sexta parte de los estudiantes (15,4%) decide no responder.

Tabla 5.17: Resultados de la actividad C3.A.16.

Mod.	Se observa el siguiente movimiento ondulatorio en un estanque en calma. Podemos decir:		%
	[b] La onda se propaga a más velocidad hacia 4.		46,2
	La onda se propaga a más velocidad hacia 3.		17,3
	Las opciones B y C son correctas.		13,5
MC	[c] Un objeto se mueve en la dirección de 3 a 4.		7,7
	No contesta.		15,4

La Tabla 5.18 muestra los resultados de la cuestión C3.A.17, donde se presenta la misma imagen que en el ítem anterior, pero esta vez indicando la dirección y sentido de movimiento de la fuente y se pide a los estudiantes que describan lo que está sucediendo. La opción de “Todas las respuestas son correctas” ha sido seleccionada por algo más de la mitad de los alumnos (56,6%). Esta engloba dos opciones: i) “la frecuencia es mayor en el sentido de propagación de la fuente” (17,4%) y ii) “los frentes de onda viajan a más velocidad hacia el sentido de propagación” (4,3%). Las última se podrían también corresponder con los modelos alternativos de velocidad independiente del medio o suma de velocidades de propagación con respecto a la fuente. Mientras que la primera es la que se corresponde con el modelo científico, y que solo ha sido elegida por algo menos de la quinta parte de los alumnos. Por lo que se encuentran más de la mitad de alumnos que presentan modelos no científicos, así como una quinta parte (21,7 %) que decide no responder.

Tabla 5.18: Resultados de la actividad C3.A.17.

Mod.	En un estanque de agua introducimos un objeto y lo movemos de (1) a (2) como muestra la animación siguiente. En tal caso podemos afirmar que:		%
	Todas las respuestas son correctas.		56,5
MC	La frecuencia es mayor en (2) que en (1).		17,4
	Los frentes de onda viajan a más velocidad hacia (2) que hacia (1).		4,3
	No contesta.		21,7

5.2 ESTUDIO DEL APRENDIZAJE DE CONTENIDOS TEÓRICOS SOBRE ONDAS CON AYUDA DE LOS SRI (E2.1)

La Tabla 5.19 muestra los resultados de la cuestión C3.A.18 que plantea una situación donde dos vehículos (uno de ellos con una sirena) se aproximan a la misma velocidad hacia dos observadores separados entre sí una distancia de 500 m. En estas circunstancias, se pide a los alumnos que describan la situación. Se observa que aproximadamente la mitad de estos (51,9%) considera una respuesta doble que incluye: i) “el observador que está más cerca de los vehículos escucha la sirena a mayor frecuencia” y que ii) “los conductores de ambos vehículos escuchan la sirena a la misma frecuencia”. Entre quienes han elegido estas opciones individualmente se encuentra un quinto de participantes (21,2%) que optaron por la opción “i)” y una cantidad ligeramente inferior (17,3%) que hicieron lo mismo con la opción “ii)”, la cual se corresponde con el modelo científico. Asimismo, se obtiene un 3,8% de alumnos que considera que el observador alejado escucha la sirena con más frecuencia y un 5,8% que decide no responder. Se observa como casi tres cuartas partes podrían presentar el modelo alternativo de frecuencia creciente siempre que la fuente se esté acercando.

Tabla 5.19: Resultados de la actividad C3.A.18.

	Un coche y una ambulancia viajan en paralelo, a 120km/h por la misma autopista. Ana está sentada en el arcén, a una distancia de 100 metros, por delante de ambos vehículos. Santiago se encuentra sentado a 500m de Ana y a 600m de tales móviles. En tal situación podemos afirmar que:	%
	<p style="text-align: center;"> Santiago 500 m Ana 100 m </p> <p style="text-align: center;"> </p>	
	Las opciones A y B son correctas.	51,9
	(B) Ana escuchará la sirena a mayor frecuencia que Santiago.	21,2
MC	(A) El conductor del coche y el de la ambulancia escucharán la sirena a la misma frecuencia.	17,3
	Santiago escuchará la sirena a mayor frecuencia que Ana.	3,8
	No contesta.	5,8

5.2.3.7 Principio de superposición: Interferencias y otros fenómenos (S7)

En la Tabla 5.20 se muestran los resultados de la pregunta C3.A.19 relativa a la interferencia de ondas. Su enunciado pretende hacer reflexionar a los alumnos sobre

5 ESTUDIO DEL PROCESO DE APRENDIZAJE BASADO EN ACTIVIDADES DE AULA REALIZADAS CON UN SISTEMA DE RESPUESTA INMEDIATA

qué ocurre cuando dos ondas idénticas se encuentran en la misma región del espacio y ambas se encuentran en la misma fase. Se obtiene que algo más de la mitad de los alumnos (57,7%) considera, según el modelo científico, que se forma una nueva onda con igual frecuencia y doble de amplitud. Sin embargo, alrededor de la décima parte de los estudiantes considera que la interferencia no produce ninguna onda distinta y un 7,7% de participantes considera que faltan datos para concluir una respuesta. Por otra parte, 15,4% de los alumnos deciden no responder.

Tabla 5.20: Resultados de la actividad C3.A.19.

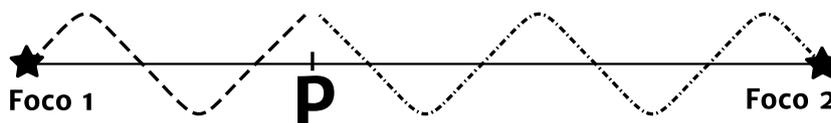
Mod.	Si dos ondas idénticas se encuentran en la misma región del espacio con fase también idéntica, el resultado es:	%
MC	Una nueva onda con igual frecuencia y doble de amplitud.	57,7
	La interferencia de dos ondas idénticas con fase también idéntica no produce ninguna onda distinta.	13,5
	Faltan datos para poder concluir las opciones A, B o C.	7,7
	Una nueva onda con el doble de amplitud y doble de longitud de onda.	5,8
	No contesta.	15,4

Se muestra en la Tabla 5.21 muestra los resultados correspondientes a la pregunta C3.A.20. En esta cuestión se incluye una gráfica que presenta a dos ondas armónicas que, partiendo de distintas fuentes, viajan en direcciones opuestas y se encuentran en un punto con una fase idéntica pero una diferencia de camino de una longitud de onda. Se obtiene que dos quintas partes de los alumnos (40,4%) responden según el modelo científico identificando correctamente la diferencia de fase de una longitud de onda. Frente a ellos, un quinto de los estudiantes (21,2%) considera que las ondas llegan con distinta fase a dicho punto y un 3,8% considera que formarán interferencias destructivas en el lugar. Por otra parte, el 13,5 % de los alumnos (13,5%) considera que todas las opciones presentadas son incorrectas. Finalmente, se encuentra otra quinta parte de los alumnos (21,2%) que no han contestado a la pregunta.

5.2 ESTUDIO DEL APRENDIZAJE DE CONTENIDOS TEÓRICOS SOBRE ONDAS CON AYUDA DE LOS SRI (E2.1)

Tabla 5.21: Resultados de la actividad C3.A.20.

Mod. En el punto P se encuentran dos ondas idénticas con velocidades opuestas. Sabiendo que la siguiente gráfica representa el instante en el que se encuentran por primera vez. Podemos afirmar que:

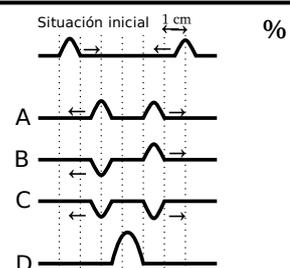


MC	Llegan a P con una diferencia de camino de una longitud de onda.	40,4
	Llegan con distinta fase al punto P.	21,2
	Todas las opciones son incorrectas.	13,5
	Formarán interferencias destructivas en el punto P.	3,8
	No contesta.	21,2

La Tabla 5.22 muestra los resultados de la cuestión C3.A.21. En esta ocasión también se acompaña de una figura donde se muestran dos pulsos idénticos que viajan al encuentro en sentido contrario y se pregunta cómo será la situación después del encuentro. Se registra un tercio de los participantes (34,6%) que considera —según el modelo científico— que ambos pulsos seguirán su camino como si nada hubiera pasado. Una cantidad algo inferior (30,8%) afirma que formarán una interferencia constructiva. Por otra parte, algo menos de un quinto de los alumnos (17,3%) consideran que las ondas podrían cambiar de fase en caso de que se produzca una onda destructiva. Se encuentra también un 15,4% de estudiantes que deciden no contestar.

Tabla 5.22: Resultados de la actividad C3.A.21.

Mod. Dos pulsos viajan en direcciones opuestas, cada uno al encuentro del otro con velocidades de 1 cm/s como se aprecia en la figura adjunta. Como será la forma de onda resultante al cabo de 4 segundos:



MC	A.	34,6
	D.	30,8
	Opciones A o C, dependiendo si la interferencia es constructiva o destructiva respectivamente.	17,3
	B.	1,9
	No contesta.	15,4

En la Tabla 5.23 se muestran los resultados de la cuestión C3.A.22. Aquí se plantea una situación de dos ondas que forman una interferencia destructiva y se pide a los alumnos que describan la situación. La opción (A) afirma que la interferencia no depende de las amplitudes sino de las respectivas elongaciones en dicho punto. Esta opción es elegida por algo menos de un tercio de los estudiantes (30,4%). Por otra parte, la opción (B) enuncia que, al ser destructiva, la elongación no puede ser mayor que la mayor de las amplitudes. Esta opción ha sido respondida por algo menos de un quinto de los participantes (17,3%). Ambas opciones son correctas; de manera que la opción mixta de ambas ha sido elegida por casi dos quintos de los alumnos (39,0%). Se encuentra también algo menos de la décima parte de los alumnos que deciden no responder (8,6%).

Tabla 5.23: Resultados de la actividad C3.A.22.

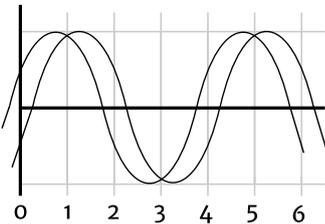
	Dos ondas armónicas con amplitudes distintas A1 y A2 se encuentran en un punto P, formando una interferencia. Si sabemos que la interferencia resultante es destructiva. Podemos afirmar que:	%
MC	Las opciones A y B son correctas.	39,0
MC	(A) La interferencia en el punto P no depende de sus amplitudes, sino de sus respectivas elongaciones en ese momento.	30,4
MC	(B) Al ser destructiva la elongación resultante en el punto P no puede ser mayor que A1, ni tampoco mayor que A2.	17,3
	El enunciado es falso, porque una interferencia destructiva en P solo se produce entre dos ondas de igual amplitud con fases opuestas.	4,3
	No contesta.	8,6

5.2.3.8 Ondas estacionarias (S8)

Se muestra en la Tabla 5.24 los resultados correspondientes a la cuestión C3.A.23. La misma se acompaña de una imagen de dos ondas armónicas idénticas que viajan en sentidos opuestos y forman una onda estacionaria, y se pide a los participantes que identifiquen dónde se formarán nodos o vientres. Se observa que dos quintas partes de los participantes (43,5%) consideran que dependerá de si el modo resultante corresponde a los distintos armónicos: fundamental, primero, segundo, etc. Una cantidad algo inferior (26,1%) considera que se producirán nodos en puntos que, según el modelo científico, se corresponderían a vientres. Por otra parte, casi un quinto de los estudiantes (17,4%) identifican correctamente donde se producirán los mismos. Un 4,3% afirma que se producirá un vientre en el centro de la imagen y nodos en los extremos. En esta ocasión hay un 15,4% del total que decide no responder

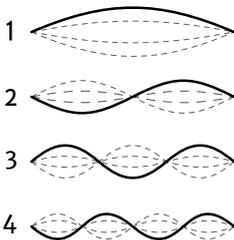
5.2 ESTUDIO DEL APRENDIZAJE DE CONTENIDOS TEÓRICOS SOBRE ONDAS CON AYUDA DE LOS SRI (E2.1)

Tabla 5.24: Resultados de la actividad C3.A.23.

Mod.	Una onda viaja de derecha a izquierda y su onda reflejada en sentido opuesto, formando una onda estacionaria. ¿En qué puntos se producirán nodos y vientres?		%
	Dependerá de si el modo de vibración resultante es el fundamental, 1º armónico, 2º armónico, etc.		43,5
	Nodos en 1, 3 y 5.		26,1
MC	Nodos en 0, 2, 4 y 6.		17,4
	Solo dos nodos en los extremos 0 y 6, y un vientre en el punto intermedio 3.		4,3
	No contesta.		8,7

La Tabla 5.25 muestra los resultados de la cuestión C3.A.24 donde se muestran los cuatro primeros modos de una onda estacionaria en una cuerda y se pide a los alumnos que describan la situación. Se observa que dos quintas partes de los mismos (40,4%) consideran que cada modo fundamental tiene una frecuencia doble a la del anterior. Por otra parte, algo más de un tercio de los participantes (34,6%) afirma —según el modelo científico— que el modo fundamental se corresponde con media longitud de onda. Una cantidad considerablemente menor (7,7%) cree que un modo fundamental no puede corresponderse con un múltiplo impar de la longitud de onda. Asimismo, se encuentra casi un quinto de estudiantes (17,3%) que decide no responder.

Tabla 5.25: Resultados de la actividad C3.A.24.

Mod.	En la imagen se representa una sucesión de armónicos. Si representaran a los armónicos de ondas estacionarias en cuerdas tensas podríamos afirmar que:		%
	Cada uno tiene frecuencia el doble que el anterior.		40,4
MC	El fundamental 1 corresponde a media longitud de onda.		34,6
	El número 3 no podría formarse en una cuerda, por ser múltiplo impar de la longitud de onda.		7,7
	Todas las opciones son verdaderas.		0,0
	No contesta.		17,3

5.2.3.9 Ondas sonoras: Características y aplicaciones (S9)

En la Tabla 5.26 se muestran los resultados de la cuestión C3.A.25. Se plantea que la velocidad del sonido en aire es menor que en agua y se pide describir qué ocurre con la frecuencia de un sonido que cambia del primer medio al segundo. Se registra algo más de la tercera parte (34,6%) que considera —según el modelo científico— que la frecuencia es la misma pero la longitud de onda es menor. El mismo porcentaje de alumnos considera que tanto la frecuencia como la longitud de onda se mantienen. Algo más de la décima parte (11,5%) considera que la frecuencia es la misma pero la longitud de onda es mayor. Por otra parte, casi un quinto de los mismos decide no responder.

Tabla 5.26: Resultados de la actividad C3.A.25

	El sonido viaja a 340 m/s en el aire y a 1500 m/s en el agua. Si un sonido de 256 Hz de frecuencia se produce debajo del agua, cuando el mismo pasa al aire podemos afirmar que:	%
MC	La frecuencia es la misma pero la longitud de onda es menor.	34,6
	Tanto la frecuencia como la longitud de onda se mantienen, cambiando solo la velocidad de propagación.	34,6
	La frecuencia es la misma pero la longitud de onda es mayor.	11,5
	La frecuencia es mayor pero la longitud de onda se mantiene.	0,0
	No contesta.	19,2

Se muestran en la Tabla 5.27 los resultados de la cuestión C3.A.26. A partir de la descripción de la naturaleza longitudinal del sonido, se pide a los alumnos completar un enunciado en el que se describe como se mueven las partículas de aire y la variación de presión. Algo más de la mitad de los participantes (53,8%) afirman que tanto las partículas como la variación de presión se mueven paralelas a la dirección de propagación. Por otra parte, se encuentra como casi un quinto de los estudiantes (17%) considera que las partículas se mueven paralelamente mientras que la variación de propagación tiene una dirección independiente de la de propagación. Asimismo, poco más de la décima parte (11,5%) piensa que las partículas se mueven independientemente a la dirección de propagación y la onda de presión perpendicularmente. Otro 5,8% considera que las partículas se mueven agitadas en la dirección de propagación y la onda de presión paralelamente. En esta cuestión se encuentra un 11,5% de estudiantes sin respuesta.

5.2 ESTUDIO DEL APRENDIZAJE DE CONTENIDOS TEÓRICOS SOBRE ONDAS CON AYUDA DE LOS SRI (E2.1)

Tabla 5.27: Resultados de la actividad C3.A.26.

El sonido es una onda longitudinal porque la perturbación oscila paralelamente a la propagación de la onda. Acerca de la naturaleza del sonido en el aire, podemos afirmar que las moléculas de aire se mueven (1) _____ la dirección de propagación, y la variación de presión (2) _____ la dirección de propagación:		%
MC	(1) paralelas a / (2) paralelamente a.	53,8
	(1) paralelas a / (2) independientemente de.	17,3
	(1) independientemente de / (2) perpendicularmente a.	11,5
	(1) agitadas en / (2) paralelamente a.	5,8
	No contesta.	11,5

La Tabla 5.28 se muestran los resultados de la cuestión C3.A.27 que tiene el siguiente enunciado: “El ladrido de un perro tiene un nivel de intensidad (o sonoridad β) de 50 dB. La intensidad de un concierto de rock es 100 000 veces mayor que la de dicho ladrido. ¿Cuál es el nivel de intensidad (o sonoridad β) del concierto de rock?”. Casi dos terceras partes de los alumnos (63,5%) consideran que la sonoridad es 5000000 dB, lo cual se correspondería con un modelo alternativo el cual establece una relación lineal entre la intensidad de un sonido y su volumen percibido. Asimismo, se encuentran otras respuestas que no se corresponden con el modelo científico como son 100050 dB y 500 dB, respondidas ambas por un 9,6 % del alumnado participante. Cabe destacar que ningún participante ha respondido según el modelo científico. Finalmente, casi una quinta parte de los alumnos (17,3%) decide no responder.

Tabla 5.28: Resultados de la actividad C3.A.27.

El ladrido de un perro tiene un nivel de intensidad (o sonoridad β) de 50 dB. La intensidad de un concierto de rock es 100 000 veces mayor que la de dicho ladrido. Cuál es el nivel de intensidad (o sonoridad β) del concierto de rock:		%
	5000000 dB.	63,5
	100050 dB.	9,6
	500 dB.	9,6
MC	100 dB.	0,0
	No contesta.	17,3

En la Tabla 5.29 se muestran los resultados relativos a la cuestión C3.A.28, la cual plantea a los estudiantes la cuestión de dos personas que escuchan música con el mismo nivel de intensidad; sin embargo, el equipo de audio del primero posee 500 W, mientras que el segundo los escucha en unos auriculares de 1 W. Se pide a los estu-

diantes describir por qué ocurre eso. Se observa como algo más de la mitad (56,6%) considera que faltan datos para concretar una respuesta. Por el contrario, casi la tercera parte de los estudiantes (30,4%) considera que esto es debido a que el aire disipa energía y esta se pierde con la distancia. Por otra parte, solo el 4,3% de los mismos lo describe según el modelo científico de frente de ondas esféricos. Se encuentra que un 4,3% de los participantes no responde a esta cuestión.

Tabla 5.29: Resultados de la actividad C3.A.28.

Santiago escucha música con un equipo de audio de 500 W. En otro lugar, Ana escucha la misma canción con unos auriculares de tan solo 1 W. Sin embargo, ambos la escuchan al mismo nivel de intensidad (o sonoridad β). De las siguientes afirmaciones verdaderas. ¿Cuál podemos decir que explica la causa física que produce este suceso?		%
	Faltan datos para concluir las respuestas A, B o C, pues el nivel de intensidad (o sonoridad β) se mide en decibelios (dB) y no en vatios (W).	56,5
	(B) El aire es un medio que disipa energía, y los auriculares están solo a dos centímetros del tímpano de Ana.	30,4
MC	(C) El sonido se propaga en frentes de onda esféricos.	4,3
	(A) El sonido es una onda longitudinal.	4,3
	No contesta.	4,3

5.2.3.10 Ondas Electromagnéticas: Aspectos característicos y aplicaciones (S10)

En la Tabla 5.30 se muestran los resultados de la cuestión C3.A.29. En esta se pide a los alumnos que elijan la opción correcta entre varias sentencias relativas al carácter longitudinal y transversal de las ondas electromagnéticas. Se observa que algo más de la mitad de los participantes (51,9%) afirma correctamente que las ondas electromagnéticas son transversales. Sin embargo, algo más de la cuarta parte de los estudiantes (28,8%) considera que las ondas electromagnéticas pueden ser tanto transversales como longitudinales y algo menos de la décima parte 7,7% consideran que son longitudinales. En esta ocasión, aproximadamente la décima parte de los alumnos (11,5%) decide no responder a la pregunta planteada.

5.2 ESTUDIO DEL APRENDIZAJE DE CONTENIDOS TEÓRICOS SOBRE ONDAS CON AYUDA DE LOS SRI (E2.1)

Tabla 5.30: Resultados de la actividad C3.A.29.

Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta:		%
MC	Las ondas electromagnéticas son transversales.	51,9
	Todas las respuestas son verdaderas.	28,8
	Las ondas electromagnéticas son longitudinales.	7,7
	No contesta	11,5

La Tabla 5.31 muestra los resultados de la cuestión C3.A.30 en la que se requiere que los participantes escojan la opción correcta entre varias afirmaciones sobre aspectos relacionados con la interferencia de ondas de radio. Se obtiene que algo más de la cuarta parte de los mismos (28,2%) considera que la interferencia de ondas es la perturbación resultante de dos o más ondas electromagnéticas. Menos de la décima parte (9,6%) consideran otras respuestas como que i) son ondas de radio que reducen su intensidad al propagarse o ii) que la interferencia reduce la calidad de las ondas. No obstante, la respuesta más elegida por casi la mitad de los participantes (46,2%) es que todas las opciones mencionadas son correctas. Por otra parte, algo más de la décima parte (11,5%) no responde a esta cuestión.

Tabla 5.31: Resultados de la actividad C3.A.30.

De la interferencia de ondas de radio podemos decir que:		%
	Todas las opciones son verdaderas.	46,2%
MC	Es la perturbación resultante de dos o más ondas electromagnéticas.	28,2
	Son ondas de radio que reducen su intensidad cuando se alejan de la antena que las produce.	7,7
	Reduce progresivamente la calidad de las ondas.	1,9
	No contesta	11,5

5.2.3.11 Relaciones internas entre las respuestas de algunas cuestiones interesantes del E2.1

Una vez descritos los resultados del cuestionario C3A y los modelos mentales que presentan los alumnos en las cuestiones anteriores sobre Física Ondulatoria, vamos a analizar si existe algún tipo de relación entre algunos de los modelos mentales más relevantes.

Dado que las respuestas que obtenemos son de tipo categórico, se ha optado por la prueba de independencia chi-cuadrado de Pearson y se ha considerado un nivel de significación de 1% ($\alpha=0,01$). Se han encontrado ocho relaciones cuyo *valor p* se encuentra por debajo de la misma y, para las que, por lo tanto, se puede considerar que las relaciones son estadísticamente significativas. A continuación, se exponen estas relaciones usando tablas de contingencias.

La primera de las relaciones se muestra en la Tabla 5.32 correspondiente a las cuestiones C3.A.02 y C3.A.08. En este caso la primera corresponde con la naturaleza de las ondas sonoras o luminosas y la segunda a las relaciones matemáticas de la propagación de una onda en una cuerda. Se observa como casi todos los alumnos que consideraron que las ondas sonoras se pueden propagar en el aire —un 65,2% del total— consideran también el modelo científico a la hora de afirmar que en una cuerda con tensión cuádruple las ondas mecánicas transversales se propagarán a velocidad doble. Sin embargo, del 82,2% que considera esta respuesta un 13% del total considera el modelo alternativo que se correspondería con sonido que puede propagarse en el vacío. Se obtiene un valor *p* de 0,0002.

Tabla 5.32: Relaciones entre las cuestiones C3.A.02 y C3.A.08

	B	C	D	NC	Total (%)	Modelo
B	60,9	0	4,3	0	65,2	MC
C	0	4,3	0	0	4,3	
D	13	0	4,3	0	17,4	
NC	8,7	0	0	4,3	13	
Total (%)	82,6	4,3	8,7	4,3	100	
Modelo	MC					

Chi-cuadrado	Valor: 31,4	Valor <i>p</i> : 0,0002
---------------------	-------------	-------------------------

En la Tabla 5.33 se muestra la relación entre los modelos mentales utilizados por los alumnos al contestar a las cuestiones C3.A.02 y C3.A.14. La primera versa de nuevo sobre la relación entre la naturaleza de las ondas sonoras y luminosas y la segunda a la naturaleza de las fibras ópticas. Se observa como del 65,5% de los participantes que identifican, según el modelo científico, que tanto las ondas sonoras como las ondas luminosas se pueden propagar en el aire, un 48,8% identifican correctamente que el fenómeno que permite la comunicación en una fibra óptica es la refracción. Se obtiene un valor *p* de 0,00004.

5.2 ESTUDIO DEL APRENDIZAJE DE CONTENIDOS TEÓRICOS SOBRE ONDAS CON AYUDA DE LOS SRI (E2.1)

Tabla 5.33: Relaciones entre las cuestiones C3.A.02 y C3.A.14

	A	B	C	D	NC	Total (%)	Modelo
B	0	0	47,8	0	17,4	65,2	<i>MC</i>
C	0	0	0	4,3	0	4,3	
D	0	8,7	8,7	0	0	17,4	
NC	4,3	0	4,3	0	4,3	13	
Total (%)	4,3	8,7	60,9	4,3	21,7	100	
Modelo	<i>MC</i>						

Chi-cuadrado	Valor: 41,0	Valor p: 0,00004
---------------------	-------------	------------------

Por otra parte, en la Tabla 5.34 se encuentra la relación entre las respuestas a los ítems C3.A.02 y el C3.A.15. El primero, como ya se ha comentado anteriormente, hace referencia a la naturaleza de las ondas sonoras y electromagnéticas, mientras que el segundo lo hace al fenómeno de refracción que se produce en una pajita introducida en un vaso de agua. Se obtiene que entre el 65,2% de alumnos que eligen el modelo científico en la primera pregunta (los dos tipos de ondas sonoras y electromagnéticas pueden propagarse en el aire) solo aproximadamente dos quintas partes (39,1%) elige el modelo científico de la refracción con la luz viajando más rápida en el aire. La prueba obtiene un valor p de 0,0019.

Tabla 5.34: Relaciones entre las cuestiones C3.A.02 y C3.A.15

	A	C	D	NC	Total (%)	Modelo
B	0	21,7	39,1	4,3	65,2	<i>MC</i>
C	4,3	0	0	0	4,3	
D	0	0	13	4,3	17,4	
NC	0	4,3	8,7	0	13	
Total (%)	4,3	26,1	60,9	8,7	100	
Modelo	<i>MC</i>					

Chi-cuadrado	Valor: 26,0	Valor p: 0,0019
---------------------	-------------	-----------------

Asimismo, en Tabla 5.35 se encuentran expuestas las relaciones entre las respuestas a las cuestiones C3.A.04 y C3.A.11, donde la primera de las mismas hace referencia a identificar la distancia entre dos crestas de una onda y la segunda a la expresión matemática de la potencia de una onda. Se obtiene que algo más de dos quintas partes de los alumnos participantes eligen ambas respuestas correspondientes al modelo científico, es decir, identifican correctamente el valor numérico de la frecuencia, así como la dependencia con el cuadrado de la amplitud de la potencia. Se obtiene un valor p de 0,0006.

5 ESTUDIO DEL PROCESO DE APRENDIZAJE BASADO EN ACTIVIDADES DE AULA REALIZADAS CON UN SISTEMA DE RESPUESTA INMEDIATA

Tabla 5.35: Relaciones entre las cuestiones C3.A.04 y C3.A.11

	B	C	D	NC	Total (%)	Modelo
A	17,4	13	43,5	0	73,9	MC
B	0	0	4,3	0	4,3	
C	0	0	4,3	0	4,3	
D	0	13	0	0	13	
NC	0	0	0	4,3	4,3	
Total (%)	17,4	26,1	52,2	4,3	100	
Modelo	MC					

Chi-cuadrado	Valor: 34,0	Valor p: 0,0006
---------------------	-------------	-----------------

Se muestra en la Tabla 5.36 muestra la relación entre los modelos mentales utilizados para contestar las cuestiones C3.A.08 y C3.A.11, donde la primera hace referencia a la dependencia de la velocidad de una cuerda tensa con los parámetros de una onda y la segunda con la expresión matemática de la potencia de una onda. Se obtiene, de nuevo, que un valor cercano a la mitad de los participantes (47,8%) eligen el modelo científico en ambos casos. En este caso el valor p es de 0,0014.

Tabla 5.36: Relaciones entre las cuestiones C3.A.08 y C3.A.11

	B	C	D	NC	Total (%)	Modelo
B	17,4	17,4	47,8	0	82,6	MC
C	0	4,3	0	0	4,3	
D	0	4,3	4,3	0	8,7	
NC	0	0	0	4,3	4,3	
Total (%)	17,4	26,1	52,2	4,3	100	
Modelo	MC					

Chi-cuadrado	Valor: 26,9	Valor p: 0,0014
---------------------	-------------	-----------------

La Tabla 5.38 se muestra la relación entre las cuestiones C3.A.08 y C3.A.15 relativas a la velocidad de propagación en una cuerda tensa y el fenómeno de refracción de la luz entre dos medios de distinto índice de refracción. Se observa, en este caso, que algo más de la mitad de los participantes (52,2%) identifican correctamente tanto la dependencia de la velocidad de propagación de una onda en una cuerda como la interpretación de la velocidad de propagación de la luz en los distintos medios (agua y aire). Se tiene un valor p de 0,0013.

5.2 ESTUDIO DEL APRENDIZAJE DE CONTENIDOS TEÓRICOS SOBRE ONDAS CON AYUDA DE LOS SRI (E2.1)

Tabla 5.37: Relaciones entre las cuestiones C3.A.08 y C3.A.15

	A	C	D	NC	Total (%)	Modelo
B	0	21,7	52,2	8,7	82,6	MC
C	4,3	0	0	0	4,3	
D	0	0	8,7	0	8,7	
NC	0	4,3	0	0	4,3	
Total (%)	4,3	26,1	60,9	8,7	100	
Modelo			MC			
Chi-cuadrado	Valor: 27,0			Valor p: 0,0013		

En la Tabla 5.38 se encuentra la tabla de contingencia correspondiente a las cuestiones C3.A.17 y C3.A.23. La primera de estas cuestiones se centra en el comportamiento de los frentes de onda en una onda que experimenta el efecto Doppler en un estanque. Por su parte, en la segunda cuestión los estudiantes deben identificar donde se producirán los nodos de una onda estacionaria. Se observa que, del 56,5% de alumnos que identifica correctamente los lugares donde se formaran los nodos, un 34,8 interpreta según el modelo científico el aumento de frecuencia producido por el efecto Doppler. Se obtiene un valor p de 0,0019.

Tabla 5.38: Relaciones entre las cuestiones C3.A.17 y C3.A.23

	A	B	C	D	NC	Total (%)	Modelo
A	0	0	0	0	4,3	4,3	
B	4,3	0	4,3	0	0	8,7	
C	0	13	0	0	4,3	17,4	
D	0	4,3	34,8	17,4	0	56,5	MC
NC	0	8,7	4,3	0	0	13	
Total (%)	4,3	26,1	43,5	17,4	8,7	100	
Modelo		MC	MC				
Chi-cuadrado	Valor: 37,2			Valor p: 0,0019			

En la Tabla 5.39 se exponen las relaciones entre las cuestiones C3.A.22 y C3.A.28 relativas al fenómeno de interferencia y al decaimiento de la intensidad de una onda sonora que parte de una fuente. Se observa que, a pesar de que la mayoría de los alumnos identifican respuestas acordes con el método científico para la primera cuestión, no lo hacen con la segunda, asociando la disminución de intensidad al hecho de que el sonido que parte de una fuente se propaga en frentes de ondas esféricas.

Tabla 5.39: Relaciones entre las cuestiones C3.A.22 y C3.A.28

	A	B	C	D	NC	Total (%)	Modelo
A	0	4,3	0	26,1	0	30,4	
B	0	4,3	0	13	0	17,3	
C	4,3	0	0	0	0	4,3	MC
D	0	21,7	4,3	13	0	39	
NC	0	0	0	4,3	4,3	4,3	
Total (%)	4,3	30,4	4,3	56,5	4,3	100	
Modelo	MC	MC		MC			
Chi-cuadrado	Valor: 40,2					Valor p: 0,0007	

Para este estudio de relaciones internas entre pares de cuestiones se ha encontrado ocho de las mismas (las expuestas arriba) que se pueden considerar estadísticamente significativas, al poseer valores de significación del 1%. A pesar de esto, los conceptos a los que cada una de estos ítems correlacionados hacen referencia no tienen una afinidad temática aparente (salvo los mostrados en la Tabla 5.38). Por consiguiente —y ante la falta de más cuestiones tratando conceptos considerados afines— se considera que la significación podría estar debida a otros factores no relacionados con los modelos mentales, o bien que se necesitaría un número mayor de preguntas, por lo que se prefiere no extraer ninguna conclusión de estos datos.

5.3 Estudio de las actividades de resolución de problemas con ayuda de los SRI (E2.2)

La segunda parte del Estudio 2, que hemos denominado E2.2., se ha dedicado al análisis de datos recogidos sobre el uso de SRI en las clases de Prácticas de Aula, donde los estudiantes han realizado tareas de de tipo práctico sobre resolución de ejercicios y problemas en el tema de ondas.

5.3.1 Aspectos metodológicos específicos del estudio E2.2

En el estudio 2.2 se ha utilizado como instrumento de recogida de información un conjunto de tareas de opción múltiple, que hemos denominado Cuestionario C3B (mostrado en la segunda parte del Anexo 3). En este instrumento se formulan ocho 8 problemas sobre diversos fenómenos ondulatorios, desglosados en un total de total de

30 preguntas de opción múltiple, de modo que tras el análisis de cada problema los alumnos pueden responder a las diversas cuestiones utilizando los mandos a distancia de los SRI. En el análisis de los datos recogidos con este cuestionario se ha utilizado una estadística descriptiva y se han obtenidos las frecuencias con los porcentajes correspondientes a las diversas opciones de cada pregunta, que se muestran en el epígrafe siguiente.

5.3.2 Resultados del estudio E2.2

En este epígrafe se presentan y analizan los resultados registrados en el E2.2, cuyos datos se han recogido en el contexto de las sesiones de resolución de problemas del tema de ondas, por lo que permitirán identificar si los alumnos son capaces de identificar y aplicar correctamente el modelo científico al desarrollo de estas actividades de tipo práctico. El estudio cuantitativo de los datos recogidos con el C3B se ha realizado mediante el análisis descriptivo (frecuencias y porcentajes) de las respuestas marcadas por los alumnos en cada ítem, usando el paquete estadístico SPSS (V20). A continuación, se presentan los resultados de este análisis, utilizando una tabla para cada uno de los ítems del C3B. Asimismo, en cada tabla de resultados se indican las respuestas que se corresponden con el modelo científico (MC) y las respuestas incorrectas o la ausencia de respuesta.

En el Cuadro 5.2 se muestra el enunciado del primer problema C3.B.1.

Cuadro 5.2: Enunciado del problema C3.B.1

Enunciado

Una onda transversal armónica se propaga a lo largo del eje OX en sentido positivo. Su amplitud es de 10^{-3} m, su frecuencia es 30 Hz y su longitud de onda es de 4 m. En el instante $t=0$, en el punto $x=0$ el valor de la perturbación (o desplazamiento transversal) es $y_0 = -10^{-3}$ m.

En la Tabla 5.40 se muestran los resultados de la cuestión C3.B.1.a. donde se pregunta a los alumnos cual será la función de onda de dicho movimiento. Se observa como casi la mitad de los estudiantes (48,1%) identifica la formula correcta, mientras que algo más de la cuarta parte (26,9%) elige otras opciones, quedando una cuarta parte de alumnos (25,0%) sin contestar.

Tabla 5.40: Resultados de la actividad C3.B.1.a.

	¿Cuál es la función de onda este movimiento?	%
MC	$y = 0.001 \cdot \text{sen}(\pi \cdot x/2 - 60 \cdot \pi \cdot t - \pi/2)$	48,1
	$y = 10^{-3} \cdot \text{sen}(\pi \cdot x/2 - 60 \cdot \pi \cdot t + \pi/2)$	13,5
	$y = 0.001 \cdot \text{sen}(\pi \cdot x/2 - 60 \cdot \pi \cdot t + \phi_0)$	9,6
	$y = 10^{-3} \cdot \text{sen}(\pi \cdot x - 60 \cdot \pi \cdot t + \pi/2)$	3,8
	No contesta.	25

La Tabla 5.41 muestra los resultados de la cuestión C3.B.1.b1 donde se pregunta a los participantes sobre cuál será la ecuación necesaria para calcular la velocidad de propagación. En el enunciado se muestran tres fórmulas que concuerdan con el modelo científico, así como la opción de que todas las anteriores son verdaderas. Se encuentra como algo más de tres cuartas partes de los alumnos (76,9%) consideran la opción de que todas son correctas, los restantes (21,2%) eligen algunas de las restantes opciones. Quedando un 3,8% de alumnos sin responder.

Tabla 5.41: Resultados de la actividad C3.B.1.b1.

	¿Cuál es su velocidad de propagación?	%
MC	(a), (b) y (c) son verdaderas	76,9
MC	$v = \lambda/T$	9,6
MC	$v = \lambda \cdot f$	5,8
MC	$v = \omega/K$	5,8
	No contesta.	3,8

La Tabla 5.42 muestra los resultados de la cuestión C3.B.1.b2, donde se pide a los alumnos que calculen la velocidad de propagación de la onda. Casi dos terceras partes de los participantes (59,6%) la calcula correctamente, encontrándose un 3,8% de alumnos que consideran que es la mitad de la anterior y quedando un 36,5% de los mismos sin responder.

Tabla 5.42: Resultados de la actividad C3.B.1.b2.

	¿Cuál es su velocidad de propagación?	%
MC	$v = 120 \text{ m/s}$	59,6
	$v = 60 \text{ m/s}$	3,8
	$v = 60 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$	0,0
	$v = 120 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$	0,0
	No contesta.	36,5

5.3 ESTUDIO DE LAS ACTIVIDADES DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS CON AYUDA DE LOS SRI (E2.2)

En la tabla Tabla 5.43 se encuentran los resultados de C3.B.1.c donde se pregunta a los participantes cual es la diferencia de fase entre las oscilaciones de dos puntos separados por una distancia de 2m. Se observa que casi la tercera parte de los participantes (34,6) responde afirmando que corresponde con 180° pues 2m se corresponde con media longitud de onda. Sin embargo, algo menos de la quinta parte (15,4%) considera que todos los puntos están a la misma fase mientras que casi la mitad de los participantes (44,2%) no contesta a esta cuestión.

Tabla 5.43: Resultados de la actividad C3.B.1.c.

	¿Cuál es la diferencia de fase entre las oscilaciones de dos puntos separados por una distancia de 2m?	%
MC	π radianes (180°) (2m es media longitud de onda)	34,6
	$-\pi/2$ pues se trata de una única onda y todos sus puntos están a la misma fase $\phi_o = -\pi/2$	15,4
	2π radianes (360°) (2m es media longitud de onda)	5,8
	No contesta.	44,2

El Cuadro 5.3 muestra el enunciado del problema C3.B.2.

Cuadro 5.3: Enunciado del problema C3.B.2

Enunciado

Al extremo de una cuerda homogénea de 6 m de longitud y 0.2 kg de masa se cuelga un objeto de 3 kg de masa, estando fijo del techo en el otro extremo.

Se muestran en la Tabla 5.44 los resultados de la cuestión C3.B.2.a1. en la que se pregunta a los alumnos cual será la tensión en el punto más alto de la cuerda. Se obtiene que casi la mitad de los mismos (46,2%) afirma que ésta coincidirá con el peso del objeto más el peso de la cuerda. Por otro lado, algo menos de la quinta parte (15,4%) considera que las cuerdas no tienen tensión en sus extremos pues se anularía con la normal en el techo. Asimismo, aproximadamente una décima parte (11,5%) atribuye la tensión solamente al peso del objeto que soporta la cuerda, mientras queda un 3,8% de alumnos que consideran que el problema no proporciona suficientes datos para poder calcular dicha tensión. En este caso, algo más de la quinta parte de los alumnos (23,1%) no responde a la cuestión.

Tabla 5.44: Resultados de la actividad C3.B.2.a1.

¿La tensión de la cuerda en su punto más alto será?		%
MC	El peso del objeto que soporta más el peso de la cuerda	46,2
	Las cuerdas no tienen tensión en sus extremos. Se anularía con la normal del techo.	15,4
	El peso del objeto que soporta.	11,5
	Faltan datos para poder calcularla.	3,8
	No contesta.	23,1

La Tabla 5.45 muestra los resultados de la cuestión C3.B.2.a2 donde se pide a los alumnos que calculen la velocidad a la cual se propagará una onda en la cuerda. Se observa que casi dos terceras partes de los estudiantes (61,5%) considera que la velocidad será de 30,82 m/s. Frente a ellos, casi la décima parte (9,6%) contestan con otros cálculos y algo más de la cuarta parte (28,8%) no contesta a esta cuestión.

Tabla 5.45: Resultados de la actividad C3.B.2.a2.

¿A qué velocidad se propagará una onda en esta cuerda?		%
MC	$v = 30.82 \text{ m/s}$	61,5
	$v = 0.032 \text{ m/s}$	5,8
	$v = 950.3 \text{ m/s}$	3,8
	$v = 0.00104 \text{ m/s}$	0,0
	No contesta.	28,8

En la Tabla 5.46 se muestran los resultados de la cuestión C3.B.2.b, donde se pide a los alumnos que calculen cuánto tiempo tardará la onda en llegar desde el punto fijo hacia la masa. Mientras que casi la mitad de los mismos (44,2%) realiza correctamente los cálculos, la cuarta parte (25%) contesta con otros resultados, quedando un 30,8% de los alumnos sin responder.

Tabla 5.46: Resultados de la actividad C3.B.2.b.

¿Qué tiempo tardará la onda en llegar desde el punto fijo hacia la masa?		%
MC	$t = 0.19 \text{ s}$	44,2
	$t = 5.1 \text{ s}$	15,4
	$t = 1.9 \text{ s}$	9,6
	$t = 8.2 \text{ s}$	0,0
	No contesta.	30,8

El Cuadro 5.4 muestra el enunciado del tercer problema C3.B.3.

Cuadro 5.4: Enunciado del problema C3.B.3

Enunciado

En una cuerda tensa se engendra una onda senoidal mediante un oscilador armónico que actúa en $x=0$ con una frecuencia de 10 Hz y una amplitud de 3 cm. La velocidad de propagación de la onda es 12 m/s. Se sabe que en $t=0$ la posición del oscilador está en su elongación máxima.

Se muestra en la Tabla 5.47 se muestran los resultados de la cuestión C3.B.3.a1, donde se pide a los alumnos que calculen el periodo y el número de onda. Se observa que algo más de la tercera parte (34,6%) realiza los cálculos correctos, mientras que la cuarta parte de los estudiantes (25%) responde con otros valores y un 40,4% de participantes no responde.

Tabla 5.47: Resultados de la actividad C3.B.3.a1.

	¿Cuál es su: (T) Periodo y (K) número de onda	%
MC	(T) 0.1 s (K) $5\pi/3 \text{ m}^{-1}$	34,6
	(T) 0.1 s (K) $5/6 \text{ m}^{-1}$	11,5
	(T) 0.1 s (K) $5/3 \text{ m}^{-1}$	9,6
	(T) 10 s (K) $6\pi/5 \text{ m}^{-1}$	3,8
	No contesta.	40,4

La Tabla 5.48 muestra los resultados de la cuestión C3.B.3.a2, donde se pide a los participantes que escriban la función de onda de dicho sistema. Aproximadamente un tercio de los mismos (32,7%) responde con la ecuación correcta, identificando en el enunciado todos los parámetros característicos de la onda. Por otro lado, casi una décima parte (9,6%) distingue todos los parámetros salvo el desfase correspondiente a las condiciones iniciales del sistema. Finalmente, un 15,4% elige respuestas donde la frecuencia angular no se corresponde con la descripción del enunciado y algo más de dos quintas partes (42,3%) no responde a la cuestión.

Tabla 5.48: Resultados de la actividad C3.B.3.a2.

	¿Cuál es su función onda?	%
MC	$y = 0.03 \cdot \text{sen}(20\pi t - (5\pi/3)x + \pi/2)$	32,7
	$y = 0.03 \cdot \text{sen}(20\pi t - (5\pi/3)x + \pi)$	9,6
	$y = 0.03 \cdot \text{sen}(2\pi t - (5\pi/3)x + \pi/2)$	9,6
	$y = 0.03 \cdot \text{sen}(2\pi t - (5\pi/3)x + \pi)$	5,8
	No contesta.	42,3

5 ESTUDIO DEL PROCESO DE APRENDIZAJE BASADO EN ACTIVIDADES DE AULA REALIZADAS CON UN SISTEMA DE RESPUESTA INMEDIATA

En Tabla 5.49 se muestran los resultados de la cuestión C3.B.3.b1. en la que se pide a los participantes que identifiquen cual será la ecuación de la energía mecánica por unidad de masa de una onda senoidal. Se observa que algo más de la tercera parte (34,6%) identifica correctamente la ecuación de la energía por unidad de masa de dicho tipo de ondas, pero una cantidad algo menor (26,9%) responden con ecuaciones que no se corresponden con la anterior. Se observa que casi dos quintas partes de los estudiantes (38,5 %) no responde a la pregunta.

Tabla 5.49: Resultados de la actividad C3.B.3.b1.

La energía mecánica por unidad de masa de una onda senoidal es:		%
MC	$\frac{1}{2} \Delta m A^2 \omega^2$	34,6
	$\frac{1}{2} A^2 \omega^2$	23,1
	$\frac{1}{2} \Delta m A^2 \omega$	3,8
	$\frac{1}{2} A^2 \omega$	0,0
	No contesta.	38,5

En el Cuadro 5.5 se muestra el enunciado del cuarto problema C3.B.4.

Cuadro 5.5: Enunciado del problema C3.B.4

Enunciado

Una fuente sonora puntual emite ondas con una potencia de 60 W en un medio homogéneo e isótropo.

Se muestran en la Tabla 5.50 muestra los resultados de la pregunta C3.B.4.a1 donde se pide a los alumnos que escojan entre varias descripciones de este movimiento ondulatorio. Se obtiene que algo más de la mitad de los alumnos (55,8%) considera que todas las respuestas propuestas son verdaderas. Estas tres opciones son: i) “el sonido se propagaría en frentes de onda esféricos”, ii) “la intensidad de la onda que se recibe a una distancia r depende de la formula $I = P / 4\pi r^2$ ” y iii) “la onda será longitudinal”. De estas tres opciones, las dos primeras han sido respondidas también individualmente por el 21,2%, el 11,5% de los alumnos respectivamente, mientras que la tercera opción no la ha seleccionado ningún alumno. En esta ocasión algo más de la décima parte de participantes (11,5%) no responde a esta cuestión.

5.3 ESTUDIO DE LAS ACTIVIDADES DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS CON AYUDA DE
LOS SRI (E2.2)

Tabla 5.50: Resultados de la actividad C3.B.4.a1.

Podemos afirmar que:		%
MC	Todas las respuestas son correctas	55,8
MC	El sonido se propagaría en frentes de onda esféricos.	21,2
MC	La intensidad que se recibe a una distancia r depende de la siguiente fórmula: $I = P / 4\pi r^2$	11,5
MC	La onda es longitudinal	0,0
	No contesta.	11,5

La Tabla 5.51 muestra los resultados de la cuestión C3.B.4.a2 en la que los alumnos deben calcular cual será la intensidad de la onda a 5 metros de la fuente. Se observa que la mitad de los mismos (50,0%) realiza el cálculo dando el valor numérico correcto: $0,191 \text{ W/m}^2$. Sin embargo, algo más de la quinta parte obtiene el número pi a dicho resultado numérico y algo más de la décima parte (11,5%) obtiene correctamente el resultado numérico, pero no identifica adecuadamente las unidades. En esta ocasión quedan un 15,4% de alumnos sin responder.

Tabla 5.51: Resultados de la actividad C3.B.4.a2.

¿Cuál será la intensidad de la onda a 5 metros de la fuente?		%
MC	0.191 W/m^2	50,0
	$0.191 \pi \text{ W/m}^2$	23,1
	0.191 W/m	11,5
	No se puede calcular. Hace falta conocer la longitud de onda también.	0,0
	No contesta.	15,4

En la Tabla 5.52 se muestran los resultados de la cuestión C3.B.4.b1 donde se pregunta a los estudiantes qué tipo de relación existe entre el nivel de intensidad (sonoridad β) y la intensidad de la onda sonora. Se obtiene que casi la cuarta parte de los participantes (73,1%) considera que la relación es logarítmica mientras que sólo un 3,8% considera que es lineal. Finalmente, una cuarta parte de alumnos (23,1%) decide no responder a esta cuestión.

Tabla 5.52: Resultados de la actividad C3.B.4.b1.

El nivel de intensidad (o sonoridad β) es cómo percibimos los sonidos con nuestro sentido del oído. Su relación con la intensidad de la onda sonora I_0 es:		%
MC	Logarítmica	73,1
	Lineal	3,8
	Cuadrática	0,0
	Ninguna de las anteriores	0,0
	No contesta.	23,1

La Tabla 5.53 muestra los resultados de la cuestión C3.B.4.b2, en la que se propone a los alumnos que calculen a qué distancia de la fuente se reducirá la sonoridad a 50db. Casi la tercera parte (30,8%) obtiene el resultado correcto de 6,91 m. Por el contrario, algo más de la décima parte (15,4%) considera que faltan datos para realizar el cálculo. Asimismo, se encuentra una décima parte (11,6%) que responde con otros cálculos y algo más de dos quintas partes (42,3%) que deja esta cuestión sin responder.

Tabla 5.53: Resultados de la actividad C3.B.4.b2.

¿A qué distancia de la fuente el sonido se reduce a 50dB?		%
MC	6.91m	30,8
	Faltan datos	15,4
	5 m	5,8
	13.8 m	5,8
	No contesta.	42,3

La Tabla 5.54 muestra los resultados de la cuestión C3.B.4.c, en la que se pregunta cuál será el nivel de intensidad (o sonoridad β) a 5 metros de la fuente. Se obtiene casi la mitad de los participantes (44,2%) que calcula la opción correcta. Sin embargo, algo menos de la décima parte (9,6%) responde con otros valores y algo más de dos quintas partes (42,3%) no responde a esta cuestión.

Tabla 5.54: Resultados de la actividad C3.B.4.c.

¿Cuál es el nivel de intensidad (o sonoridad β) a 5 metros de la fuente?		%
MC	112.8 dB	44,2
	11.28 dB	5,8
	1.128 dB	3,8
	Ninguna de las anteriores	3,8
	No contesta.	42,3

5.3 ESTUDIO DE LAS ACTIVIDADES DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS CON AYUDA DE
LOS SRI (E2.2)

El Cuadro 5.7 muestra el enunciado del quinto problema C3.B.5.

Cuadro 5.6: Enunciado del problema C3.B.5

Enunciado

Una onda plana al atravesar un medio de 80 cm reduce su intensidad un 30%

En la Tabla 5.55 se muestran los resultados de la cuestión C3.B.5.a1, donde se pregunta a los alumnos cómo se comportará la onda al atravesar el medio. Se obtiene que la mitad de los alumnos (50,0%) considera que esta decrecerá exponencialmente mientras que un 9,6% afirma que decrecerá cuadráticamente y un 5,8% que decrecerá logarítmicamente. En esta ocasión algo más de la tercera parte de los estudiantes (34,6%) no responde a la pregunta.

Tabla 5.55: Resultados de la actividad C3.B.5.a1.

Al atravesar dicho medio la onda:		%
MC	Decrecerá exponencialmente	50,0
	Decrecerá cuadráticamente	9,6
	Decrecerá logarítmicamente	5,8
	Decrecerá linealmente	0,0
	No contesta.	34,6

La Tabla 5.56 recoge los resultados del ítem C3.B.5.a2, donde se pide a los alumnos que calculen cual será el coeficiente de absorción del medio. Los datos muestran que casi dos quintas partes de los alumnos (38,5%) realizan correctamente los cálculos. Por el contrario, casi la décima parte de los participantes (9,6%) responde con cifras distintas. Es especialmente, relevante que algo más de la mitad de los estudiantes dejan sin responder esta cuestión (51,9%)

Tabla 5.56: Resultados de la actividad C3.B.5.a2.

¿Cuál es el coeficiente de absorción β del medio?		%
MC	0.004 cm^{-1}	38,5
	-0.002 cm^{-1}	5,8
	0.002 cm^{-1}	3,8
	-0.004 cm^{-1}	0,0
	No contesta.	51,9

La Tabla 5.57 muestra los resultados de la cuestión C3.B.5.b en la que se pregunta a los estudiantes qué distancia debe recorrer la onda para que su intensidad se reduzca a la mitad. Si bien algo más de la cuarta parte (28,8%) responde correc-

5 ESTUDIO DEL PROCESO DE APRENDIZAJE BASADO EN ACTIVIDADES DE AULA REALIZADAS CON UN SISTEMA DE RESPUESTA INMEDIATA

tamente, un 15,4% afirma que hacen falta más datos para poder realizar el cálculo y casi la décima parte (9,6%) afirma que la distancia coincide con media longitud de onda. Finalmente, algo más de dos quintas partes de los estudiantes (42,3%) no responden esta cuestión.

Tabla 5.57: Resultados de la actividad C3.B.5.b.

	¿Qué distancia debe recorrer la onda para que su intensidad se reduzca a la mitad?	%
MC	137.2 cm	28,8
	Faltan datos	15,4
	Media longitud de onda	9,6
	13.72 cm	3,8
	No contesta.	42,3

En el Cuadro 5.7 se muestran el enunciado del sexto problema C3.B.6.

Cuadro 5.7: Enunciado del problema C3.B.6

Enunciado

Dos focos fijos y sincronizados que emiten ondas de igual amplitud ($A=2\text{cm}$) e igual frecuencia (50hz), producen vibraciones que se propagan en un medio material con velocidad de 1m/s . Se considera un punto situado a distancias respectivas $r_1=2.5\text{ cm}$ y $r_2=4.5\text{ cm}$

En la Tabla 5.58 se muestran los resultados de la cuestión C3.B.6.a1 en la que se pregunta que sucederá alrededor de los focos. Más de la cuarta parte de los alumnos y alumnas (28,8%) responde según el modelo científico afirmando que la interferencia dependerá de la diferencia de camino entre ambas ondas. Sin embargo, la misma cantidad de participantes (28,8%) considera una respuesta múltiple compuesta por las respuestas: “al estar sincronizadas se producirán solamente interferencias constructivas” y “al estar sincronizadas siempre se encontrarán en fase”. Finalmente, algo más de la quinta parte (23,0%) elige alguna de las anteriores opciones por separado y un 19.2% de alumnos deja la cuestión sin responder.

5.3 ESTUDIO DE LAS ACTIVIDADES DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS CON AYUDA DE
LOS SRI (E2.2)

Tabla 5.58: Resultados de la actividad C3.B.6.a1.

Alrededor de los focos:		%
MC	[B] La interferencia dependerá de la diferencia de caminos entre ambas	28,8
	[D] (a) y (c) son correctas	28,8
	[A] Al estar sincronizadas se producirán solamente interferencias constructivas	11,5
	[C] Al estar sincronizados siempre se encontrarán en fase	11,5
	No contesta.	19,2

La Tabla 5.59 recoge los resultados de la cuestión C3.B.6.a2. En ella se requiere a los participantes que calculen la amplitud resultante en un determinado punto de interés. Se observa que casi la tercera parte de los estudiantes (32,7%) realiza correctamente los cálculos, mientras que algo más de la quinta parte (21,1%) responde señalando otras cantidades y casi la mitad de los alumnos (46,2%) no responde.

Tabla 5.59: Resultados de la actividad C3.B.6.a2.

¿Cuál es la amplitud de la perturbación resultante en dicho punto?		%
MC	0.04 m	32,7
	0.02 m	17,3
	0.03 m	3,8
	0.01 m	0,0
	No contesta.	46,2

La Tabla 5.60 muestra los resultados de la pregunta C3.B.6.b donde se pide a los alumnos que indiquen el tiempo necesario para que la perturbación se anule. En esta pregunta, la mayoría de los alumnos (88,5%) no responde. El resto de los alumnos seleccionan de manera equitativa las demás opciones.

Tabla 5.60: Resultados de la actividad C3.B.6.b.

¿Cuál es el tiempo en el que la perturbación se hace nula?		%
	$2n+1$ s	3,8
	2 s	3,8
	0.25 s	3,8
MC	0.035 s	0,0
	No contesta.	88,5

En el Cuadro 5.8 se muestra el enunciado del séptimo problema C3.B.7.

Cuadro 5.8: Enunciado del problema C3.B.7

Enunciado

Una onda se propaga en una cuerda según la ecuación expresada en el S.I.

$$y=0.1 \cdot \cos(0.2x-100t)$$

En la Tabla 5.61 se muestran los resultados de la cuestión C3.B.7.a donde se pide a los alumnos que calculen la longitud de onda y la velocidad de propagación de la onda objeto de estudio en este problema. Se obtiene como casi la mitad de los mismos (44,2%) las identifican correctamente mientras que casi la otra mitad (46,2%) no contesta. Por otra parte, algo menos de la décima parte (9,6%) elige respuestas correspondientes a otros valores.

Tabla 5.61: Resultados de la actividad C3.B.7.a.

	¿Cuál es su longitud de onda (λ) y la velocidad de propagación (v)?	%
MC	(λ) 10π m (v) 500 m/s	44,2
	(λ) π m (v) 50π m/s	5,8
	(λ) 10 m (v) 50 m/s	3,8
	(λ) 10 m (v) 500π m/s	0,0
	No contesta.	46,2

La Tabla 5.62 presenta los resultados del ítem C3.B.7.b1. En esta pregunta se pide describir qué ocurrirá si en el mismo eje se propaga una onda igual a la anterior, pero en sentido contrario. Se observa que algo más de la quinta parte de los participantes (23,1%) elige la opción que engloba a todas las demás. Estas son: i) Se producirán interferencias destructivas, ii) se producirán interferencias constructivas y iii) se producirá una onda estacionaria. Por otra parte, cada una de estas opciones ha sido escogida individualmente por la misma proporción de alumnos con algo (15,4%). De esta manera, algo menos de la tercera parte (30,8%) de los participantes no responde a esta cuestión.

5.3 ESTUDIO DE LAS ACTIVIDADES DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS CON AYUDA DE
LOS SRI (E2.2)

Tabla 5.62: Resultados de la actividad C3.B.7.b1.

Si una onda idéntica se propaga en el mismo eje pero en sentido contrario. ¿Se formarán?		%
MC	Todas las respuestas son correctas	23,1
MC	Interferencias destructivas	15,4
MC	Interferencias constructivas	15,4
MC	Una onda estacionaria	15,4
	No contesta.	30,8

La Tabla 5.63 muestra los resultados correspondientes a la cuestión C3.B.7.b2, en la que se pide a los alumnos que escriban la ecuación de la onda estacionaria resultante. Se observa que casi dos terceras partes de los alumnos (61,5%) elige la opción que corresponde a la ecuación que describe la onda correctamente. Frente a ellos, algo más de una décima parte (15,4%) de estudiantes seleccionan otras ecuaciones incorrectas y algo más de la quinta parte de participantes (23,1%) no responde.

Tabla 5.63: Resultados de la actividad C3.B.7.b2.

¿Cuál es la onda estacionaria resultante?		%
MC	$y=0.2 \cdot \cos(0.2x) \cdot \cos(100t)$	61,5
	$y=0.1 \cdot \cos(0.2x) \cdot \cos(100t)$	5,8
	$y=0.1 \cdot \sin(0.2x) \cdot \sin(100t)$	5,8
	$y=0.2 \cdot \sin(0.2x) \cdot \sin(100t)$	3,8
	No contesta.	23,1

En la Tabla 5.64 se muestran los resultados de la cuestión C3.B.7.c que propone a los participantes que calculen cuál será la distancia entre los nodos del armónico fundamental. Si bien algo más de la tercera parte de los alumnos (34,6%) selecciona la opción que corresponde con la distancia correcta, un 11,5% de los estudiantes elige una opción que corresponde al doble. Finalmente, algo más de la mitad de los estudiantes (53,8%) no responde a esta cuestión.

Tabla 5.64: Resultados de la actividad C3.B.7.c.

¿Cuál será la distancia entre dos nodos del armónico fundamental?		%
MC	5π m	34,6
	10π m	11,5
	50 m	0,0
	50π m	0,0
	No contesta.	53,8

Por último, el Cuadro 5.9 se muestra el enunciado del último problema C3.B.8.

Cuadro 5.9: Enunciado del problema C3.B.8

Enunciado

Un coche se acerca a una fábrica donde una sirena emite un sonido de 300 Hz.
Si la velocidad del coche es de 122.4 km/h

Se muestra en la Tabla 5.65 presenta los resultados correspondientes a la cuestión C3.B.8.a1 en la que se pide a los alumnos que describan cualitativamente la frecuencia que percibirá el conductor cuando se acerca a la fábrica. Se observa que dos quintas partes de los alumnos (40,4%) afirma que se escuchará la sirena a una frecuencia constante. Por el contrario, una quinta parte de los alumnos (21,2%) cree que la frecuencia crecerá conforme el coche se acerca a la fábrica y otra décima parte (9,6%) considera que la frecuencia percibida por el conductor será la misma que la emitida por la fábrica. Una cantidad algo menor de participantes (5,8%) concluyen que no hay datos suficientes para poder saber cómo será dicha frecuencia. Por otra parte, aproximadamente otra quinta parte de los alumnos (23,1%) no responden a esta cuestión.

Tabla 5.65: Resultados de la actividad C3.B.8.a1.

	¿Qué frecuencia percibe el conductor cuando se acerca a la fábrica?	%
MC	Una frecuencia constante	40,4
	Una frecuencia que crece conforme se acerca a la fábrica	21,2
	La misma frecuencia que se percibe en la fábrica	9,6
	Faltan datos para concluir (a), (b) y (c)	5,8
	No contesta.	23,1

La Tabla 5.66 muestra los resultados de la cuestión C4.B.8.a2, en la que se pide calcular la frecuencia que percibirá el conductor cuando se acerca a la fábrica. Algo menos de la quinta parte (15,4%) considera la opción que corresponde con la frecuencia real, mientras que una cantidad algo mayor de alumnos (19,2%) elije otras opciones incorrectas. Sin embargo, es importante señalar que una cantidad considerable de algo más dos terceras partes de los participantes (65,4%) no responde a esta pregunta.

5.3 ESTUDIO DE LAS ACTIVIDADES DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS CON AYUDA DE
LOS SRI (E2.2)

Tabla 5.66: Resultados de la actividad C3.B.8.a2.

	¿Qué frecuencia percibe el conductor cuando se acerca a la fábrica?	%
MC	330 Hz	15,4
	522.4 Hz	9,6
	320 Hz	5,8
	310 Hz	3,8
	No contesta.	65,4

En la Tabla 5.67 se muestran los resultados de la cuestión C3.B.8.b en la que los estudiantes deben estimar la frecuencia que percibirá el conductor cuando esté enfrente de la fábrica. En esta pregunta se registra un alto porcentaje de alumnos (65.4 %) que no contestan. De entre los que sí contestan, algo más de la quinta parte de los participantes (23,1%) considera que la frecuencia será la misma que la de la sirena, mientras que algo más de la décima parte de alumnos (11,4%) elige otras opciones en porcentajes iguales (3,8%).

Tabla 5.67: Resultados de la actividad C3.B.8.b.

	¿Qué frecuencia percibe el conductor enfrente de la fábrica?	%
MC	300 Hz	23,1
	310 Hz	3,8
	320 Hz	3,8
	330 Hz	3,8
	No contesta.	65,4

La Tabla 5.68 recoge los resultados correspondientes a la cuestión C3.B.8.c en la que se requiere que los alumnos calculen la frecuencia que percibirá el conductor al alejarse de la fábrica. En este caso, casi dos terceras partes de los estudiantes (61,5%) seleccionan la frecuencia que se corresponde con el modelo científico mientras que el tercio restante (34,6%) no responde a esta pregunta.

Tabla 5.68: Resultados de la actividad C3.B.8.c.

	¿Qué frecuencia percibe el conductor cuando se aleja de la fábrica?	%
MC	270 Hz	61,5
	290 Hz	3,8
	310 Hz	0,0
	320 Hz	0,0
	No contesta.	34,6

Por último, la Tabla 5.69 muestra los resultados de la cuestión C3.B.8.d. En dicha cuestión se pide a los alumnos que calculen las longitudes de onda que observará el conductor cuando se acerca y cuando se aleja de la fábrica. De acuerdo con los resultados registrados, algo menos de la quinta parte (19,2%) elige una opción que se corresponde con el modelo científico. Frente a ellos, algo más de las quintas partes (40,4%) eligen opciones donde los valores no se corresponden con el modelo científico. Asimismo, algo más de la décima parte de los alumnos (15,4%) considera que la longitud de onda es la misma siempre ya que esta depende del medio (aire) y no de las velocidades de las fuentes u observadores. En esta ocasión queda una cuarta parte de participantes (25,0%) sin responder.

Tabla 5.69: Resultados de la actividad C3.B.8.d.

	¿Qué longitud de onda observa el conductor cuando (1) se acerca y cuando (2) se aleja?	%
MC	(1) 1.03 m(2) 1.26 m	19,2
	(1) 0.97 m (2) 1.26 m	25,0
	(1) 0.97 m(2) 0.79 m	15,4
	La misma longitud siempre, ya que la longitud de onda depende del medio (aire) y no de las velocidades de las fuentes o observadores.	15,4
	No contesta.	25,0

5.4 Síntesis del Estudio 2

En este capítulo se ha expuesto el diseño y el desarrollo del segundo de los estudios empíricos del proyecto de investigación (E2), cuya meta consistía en recoger datos empíricos sobre cómo se desarrolla el proceso de enseñanza y aprendizaje del tema de movimiento ondulatorio en el primer curso de ingeniería al aplicar una propuesta metodológica basada en actividades de reflexión y en el uso de recursos interactivos multimedia tales como los Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI). Esta metodología de trabajo docente se ha aplicado tanto en las clases teóricas del tema de ondas como en las prácticas de aula, pero en cada caso se han recogido datos sobre conocimientos de diferente tipo y ello nos ha llevado a analizar cada aspecto por separado.

En la primera parte de esta experiencia (E2.1), centrada en recoger datos sobre el aprendizaje de los contenidos teóricos del tema, se ha utilizado como instrumento de recogida de datos un cuestionario de treinta preguntas de opción múltiple (C3A), con tres o cuatro posibles respuestas, de modo que en cada cuestión solo una opción de

respuesta se corresponde con el modelo científico sobre el tema abordado en cada actividad. Los datos recogidos en las diferentes tareas del C3A han permitido responder al problema P2.1 de esta investigación. Se ha observado que los conocimientos teóricos sobre fenómenos ondulatorios que muestran los estudiantes al responder con los mandos de los SRI a las preguntas planteadas en clase de opción múltiple, presentan un cierto avance respecto a los conocimientos previos analizados en la etapa anterior de esta investigación (E1.1 y E1.2). Pero también hay muchos tópicos en los que muchos estudiantes muestran importantes dificultades de comprensión de los modelos físicos sobre ondas, que se han expuesto en clase, manteniendo, asimismo, numerosos modelos mentales de carácter alternativo en los tópicos siguientes: *Onda armónica (A03 y A05)*, *Velocidad de ondas en cuerdas (A09)*, *Potencia de una onda (A11)*, *Reflexión total en fibra óptica (A14)*, *Refracción de la Luz (A15)*, *Efecto Doppler (A16, A17 y A18)*, *Interferencias (A.20 y A.21)*, *Ondas estacionarias (A12, A23 y A24)*, *Fenómenos acústicos (A25, A27 y A28)* y *Ondas Electromagnéticas (A29 y A30)*.

En la segunda parte de esta experiencia educativa (E2.2), centrada en recoger datos sobre la capacidad de utilizar las leyes básicas y los modelos científicos de la Física Ondulatoria para resolver problemas de carácter cuantitativo, se ha utilizado como instrumento de recogida de datos un cuestionario denominado C3B (mostrado en el Anexo 3B), donde se formulan ocho 8 problemas sobre diversos fenómenos ondulatorios, desglosados en un total de total de 30 preguntas de opción múltiple, de modo que tras el análisis de cada problema los alumnos pueden responder a las diversas cuestiones utilizando los mandos a distancia de los SRI.

Los datos recogidos en las diferentes tareas del C3B han permitido responder al problema P2.2 de esta investigación. Así se ha observado que los conocimientos de tipo práctico sobre fenómenos ondulatorios que muestran los estudiantes, al responder con los mandos de los SRI a las preguntas de opción múltiple, planteadas en las clases de problemas presentan cierta heterogeneidad, ya que hay tópicos básicos en los que los resultados pueden considerarse aceptables y otros temas más complejos en los que se aprecian importantes dificultades de comprensión y aplicación adecuada de los modelos físicos sobre ondas, como ocurre en los temas siguientes, en los que se aprecia un alto nivel de alumnos que no contestan a ninguna de las opciones de respuesta: *Ondas mecánicas en una cuerda tensa (B3)*, *Fenómenos acústicos (B4 y B5)*, *Interferencias (B6)*, *Ondas estacionarias (B7)* y *Efecto Doppler (B8)*.

En síntesis, en el desarrollo del Estudio 2 hemos tratado de conocer cómo se desarrolla el proceso de enseñanza y aprendizaje del tema de ondas y su propagación al aplicar una propuesta metodológica basada en actividades de reflexión y en el uso de

recursos interactivos multimedia tales como los SRI, para responder al interrogante planteado en el segundo problema principal de esta investigación (P2). Los resultados mostrados en los dos estudios parciales (E2.1 y E2.2) de esta experiencia educativa ponen de manifiesto que durante el proceso de aprendizaje se siguen apreciando importantes dificultades de aprendizaje significativo, tanto en la comprensión de modelos teóricos como en su aplicación práctica en la resolución de problemas. Este hecho ha sido constatado parcialmente en otras investigaciones anteriores, en las que se han ensayado diversas propuestas metodológicas para el aprendizaje del tema de ondas (Saura, 1997; Llinás et al., 2003; Osuna García, 2007; Caleon y Subramaniam, 2013; Bostan Sarioglan, 2016; Yavuz Özdemir y Kocakulah, 2017; Ekomaye, 2019). Al margen de que los modelos científicos que se usan en la Física Ondulatoria de primer curso de ingeniería tienen un elevado grado de abstracción y complejidad matemática, para la mayoría de los estudiantes de este nivel, hay que tener en cuenta las deficiencias de la formación previa adquirida en la enseñanza secundaria que se han detectado en la fase anterior de esta investigación, para interpretar estos resultados. Por otra parte, hay que considerar que los datos de las respuestas de los estudiantes a las preguntas planteadas en las dos partes de este estudio se han recogido en momentos inmediatamente posteriores a la exposición de los modelos científicos en clase, de modo que los estudiantes no han tenido todavía la oportunidad de: (a) realizar la discusión ni reflexionar de los resultados con el docente siguiendo la metodología interactiva empleada (descrita en el capítulo 3), ni (b) estudiar a fondo estos contenidos como ocurre cuando los alumnos estudian para preparar el examen del tema.

6 Valoración del aprendizaje y motivación del alumnado tras la aplicación de la propuesta metodológica sobre Física Ondulatoria

6.1 Finalidad y justificación del Estudio 3

6.2 Estudio del conocimiento de carácter teórico adquirido por los estudiantes sobre ondas tras el desarrollo de la propuesta metodológica (E3.1)

6.3 Estudio del conocimiento de carácter práctico adquirido por los estudiantes sobre ondas tras el proceso de formación (E3.2)

6.4 Valoración del alumnado sobre la metodología y recursos empleados en el proceso de formación (E3.3)

6.5 Síntesis del estudio E3

6.1 Finalidad y justificación del Estudio 3

En este capítulo se desarrolla la tercera y última investigación de este proyecto, a la que se ha denominado como Estudio 3 (o E3) en el capítulo de metodología. Por tanto, aquí se aborda el tratamiento del tercer problema principal de este proyecto (P3) y de los sub-problemas que lo integran, que se resumen en el Cuadro 6.1

Cuadro 6.1: Problemática abordada en el desarrollo del Estudio 3

Cod.	Problemas
P3	¿En qué medida mejora la calidad de enseñanza de la física universitaria en el tema de ondas y el interés del alumnado por el aprendizaje al aplicar dicha propuesta metodológica?
P3.1	¿En qué medida ha mejorado el aprendizaje de conceptos científicos sobre el tema de ondas tras la aplicación de la propuesta metodológica desarrollada en esta investigación?
P3.2	¿Qué relación existe entre el aprendizaje de modelos científicos y la capacidad de resolución de problemas en el tema de ondas?
P3.3	¿Cómo valoran los alumnos universitarios la experiencia llevada a cabo al implementar la propuesta metodológica?

6.1.1 Objetivos del Estudio 3

Este tercer estudio tiene como objetivo principal (O3) analizar en qué medida mejora el interés del alumnado por el aprendizaje y la calidad de enseñanza de la Física universitaria en el tema de Ondas al aplicar la propuesta metodológica descrita. Para concretar mejor el plan de trabajo del E3 dicha meta general se ha desglosado en tres objetivos específicos relacionados con la necesidad de recoger y analizar datos empíricos sobre los aspectos siguientes:

- (O3.1) Conocer en qué medida ha mejorado el aprendizaje de conceptos y modelos científicos sobre el tema de ondas tras el desarrollo de propuesta metodológica, basada en actividades de reflexión y debate con ayuda del recurso SRI, en la enseñanza universitaria de la Física.
- (O3.2) Conocer qué relación existe entre el aprendizaje de modelos científicos y la capacidad de resolución de problemas en el tema de ondas.
- (O3.3) Conocer las opiniones de los estudiantes sobre la experiencia educativa llevada a cabo al implementar la citada propuesta metodológica en la enseñanza de la Física a nivel universitario.

6.1.2 Justificación del Estudio 3

Cómo ya se indicó anteriormente en el segundo capítulo, la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje depende de en qué medida los nuevos conocimientos se integran en los esquemas cognitivos previos de los alumnos (Driver y Oldham, 1986; Duit, 1996; Novak, 2002). Por ello, al final del proceso de enseñanza es importante evaluar el conocimiento adquirido, tanto desde el punto de vista del aprendizaje de conceptos y modelos científicos, como en la capacidad de aplicar tales modelos en habilidades de tipo práctico como la resolución de problemas (Gil-Pérez et al., 1991; Oliva, 2008; Guisasola et al., 2012). Además, los resultados de esta evaluación permitirán no sólo conocer el grado de asimilación de los conceptos por parte de los alumnos sino también la validez de las estrategias y recursos de enseñanza utilizados (Alonso, Gil y Martínez-Torregrosa, 1996). De acuerdo con este planteamiento, los dos objetivos específicos primeros del E3 están relacionados con la necesidad de recoger y analizar datos empíricos sobre el aprendizaje de contenidos teóricos (O3.1) y la capacidad de resolución de problemas (O3.2) en el tema de ondas.

Por otra parte, ya se ha comentado también la importancia que presentan los aspectos motivacionales en el aprendizaje de las ciencias (Osborne et al., 2003; Solbes et al., 2007; Gavidia-Catalán, 2008) y, por tanto, se ha considerado necesario evaluar el grado de interés experimentado por los estudiantes en el tratamiento didáctico del tema de ondas, con ayuda de un Sistema de Respuesta Inmediata (O3.3), para ver si la metodología aplicada y el recurso utilizado contribuyen a mejorar la motivación del alumnado por el aprendizaje de la Física en la universidad.

6.1.3 Diseño global del Estudio 3

Ya se ha indicado que la meta global del tercer estudio (E3) de este proyecto consistía en recoger y analizar datos que permitan valorar la calidad del proceso de enseñanza-aprendizaje en el tema de ondas y la mejora de la motivación del alumnado por el aprendizaje de este tema, al aplicar la propuesta metodológica basada en el uso activo y reflexivo de los SRI en clase. Este tercer estudio, al igual que el anterior (E2), también se ha llevado a cabo en el contexto de la asignatura Fundamentos Físicos de la Ingeniería II, impartida en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Córdoba, durante el segundo cuatrimestre de primer curso de Ingeniería Eléctrica. Por tanto, los datos recogidos corresponden al mismo grupo experimental (GE) que ha participado en la experiencia educativa descrita en el Estudio anterior E2, durante el

curso académico 2016/2017, que estaba formado por los mismos 52 estudiantes del citado estudio. Pero en este caso los datos se han recogido al finalizar el proceso de enseñanza-aprendizaje del tema de ondas, utilizando varios instrumentos complementarios, que nos han aportado abundantes datos de tipo cualitativo y cuantitativo, que se muestran en varias secciones posteriores.

Para abordar los tres problemas específicos del E3 se diseñaron tres instrumentos de investigación específicos relacionados con la recogida de datos prevista para desarrollar los tres objetivos específicos (O3.1, O3.2 y O3.2) relacionados con la evaluación de la experiencia formativa desarrollada en el estudio anterior. En la Tabla 6.1 se sintetizan los aspectos más relevantes del diseño del estudio E3 y en apartados posteriores se especifican con mayor detalle los rasgos metodológicos de cada uno de los sub-estudios E3.1, E3.2 y E3.3, desarrollados en esta última fase del proyecto de investigación.

Tabla 6.1: Datos del diseño del Estudio 3 y de las partes que lo integran (E3.1, E3.2 y E3.3)

Fase	Instrumento	Grupo	N	Curso	Tipo	Momento		
III	E3.1	C4.P1.A	V-F	GE	52	2016/2017	Conocimientos adquiridos	Después de la unidad
	E3.1	C4.P1.B	OM					
	E3.1	C4.P1.C	AB					
	E3.2	C4.P2.A*	OM					
	E3.2	C4.P2.B*	AB					
IV	E3.3	C5	AB	GE	52	2016/2017	Opiniones sobre el recurso	Después de la unidad
	E3.3	C5	LIK					

(*) Cuestiones Prácticas y Problemas
 Tipos de cuestiones: (V-F) Verdadero-Falso; (OM) Opción Múltiple; (AB) Preguntas Abiertas; (LIK) Escala Likert 1-5

6.2 Estudio del conocimiento de carácter teórico adquirido por los estudiantes sobre ondas tras el desarrollo de la propuesta metodológica (E3.1)

Ya se ha indicado anteriormente que el estudio E3 se ha dividido en tres estudios complementarios en los que se han utilizados diferentes instrumentos de investigación. La primera parte del proceso de evaluación se ha denominado estudio 3.1 (o

simplemente E3.1) y se ha centrado en analizar el aprendizaje desarrollado por los alumnos en torno a los contenidos teóricos del tema de Ondas.

6.2.1 Aspectos metodológicos específicos del estudio 3.1

En el desarrollo de estudio E3.1 se han usado en el contexto de un examen varios instrumentos de recogida de datos, con vistas a conocer diferentes aspectos del aprendizaje de aspectos teóricos del tema de ondas, tras el proceso de enseñanza. En concreto se han utilizado tres tipos de cuestionarios diferentes (mostrados en la primera parte del Anexo 4 de esta memoria), que integran la prueba de evaluación de conocimientos teóricos adquiridos por los estudiantes sobre el tema.

En primer lugar se usó el cuestionario C4.P1.A (mostrado al inicio del Anexo 4) integrado por 10 preguntas del tipo verdadero o falso, seguidas de una breve justificación de respuesta. El segundo instrumento es el Cuestionario C4.P1.B (mostrado en el Anexo 4 a continuación del anterior) y que está formado por 10 preguntas de opción múltiple, con una breve justificación de respuesta. En ambos casos se ha usado una estadística descriptiva centrada en el análisis de frecuencias y porcentajes de los tipos de respuesta de cada ítem, diferenciando entre modelos de pensamiento científico y modelos alternativos, que se comentan posteriormente en la sección de resultados del E3.1.

El tercer instrumento de recogida de datos sobre aprendizaje conceptual es el cuestionario C4.P1C (mostrado en la tercera parte del Anexo 4), formado por cuatro preguntas abiertas, donde se pide a los estudiantes que expliquen de forma justificada la respuesta a las cuestiones planteadas sobre diversos fenómenos ondulatorios. En la sección de resultados se describe el tipo de análisis de los datos recogidos con este instrumento.

6.2.2 Resultados del estudio 3.1

En esta sección se muestran los resultados de la primera parte del proceso de evaluación del aprendizaje del tema de ondas, centrada en analizar los conocimientos adquiridos por los estudiantes tras el desarrollo de la experiencia formativa. Para facilitar la exposición, los resultados se han ordenado en tres epígrafes relacionados con los tres tipos de instrumentos usados en este proceso (C4.P1A, C4.P1B y C4.P1C), que se han comentado anteriormente.

6.2.2.1 Evaluación del aprendizaje de conceptos mediante cuestiones cerradas del tipo verdadero o falso

En este epígrafe se muestran los resultados recogidos mediante la aplicación en contexto de examen del cuestionario C4.P1A, que consiste en 10 preguntas teóricas del tipo verdadero o falso. La mayoría de estas preguntas se utilizaron previamente en el estudio 1.1 para explorar los conocimientos previos de los estudiantes sobre ondas con este tipo de cuestiones (pretest C1) y se han vuelto a utilizar en este estudio para evaluar el grado de cambio conceptual, conseguido tras el proceso de formación descrito en el capítulo anterior (E2). En el análisis de resultados se ha aplicado una estadística descriptiva y se han descrito las frecuencias obtenidas en los tipos de respuesta de cada ítem, en forma de porcentaje. Para facilitar la lectura se han reordenado las preguntas por unidades. Posteriormente se han separado las diez cuestiones que componen el C4.P1A en dos tablas que contienen cinco ítems cada una.

En la Tabla 6.2 se muestran los resultados de una parte del cuestionario C4.P1A, cuyo contenido está comprendido entre las secuencias primera y sexta de la unidad didáctica de Ondas. La primera cuestión, C4.P1A.10 relativa a la secuencia “S2. Introducción al movimiento ondulatorio: Tipos de ondas.” pregunta a los alumnos si en una onda mecánica hay vibración de la materia y propagación de la energía. Se observa que tres cuartas partes de los alumnos (75,0%) responden según el modelo científico y afirmando que esto es verdadero. Por otra parte, algo más de la décima parte de los estudiantes (15,4%) consideran este enunciado falso, quedando un 9,6% de los mismos sin responder. En la siguiente pregunta, C4.P1A.01, perteneciente a la secuencia “S3. Ondas armónicas: características y descripción matemática” se plantea si en todo movimiento ondulatorio la amplitud de la perturbación depende de la frecuencia. Mientras que algo más de tres cuartas partes de los alumnos (78,8%) consideran —según el modelo científico— que esto es falso, sólo algo más de la décima parte (13,5%) considera que es falso, quedando un 7,7% de estudiantes sin responder.

La pregunta C4.P1A.08 relativa a la secuencia “S4. Velocidad de propagación de las ondas” propone si la velocidad de propagación de una onda en una cuerda tensa aumenta al aumentar la tensión de dicha cuerda. Es importante señalar que casi la totalidad de los alumnos (96,2%) considera que esta afirmación es verdadera, quedando el resto de los alumnos sin responder (3,8%). En la cuestión C4.P1A.9, la cual pertenece a la secuencia “S5. Energía e Intensidad de las ondas”, se pregunta si la intensidad de

6 VALORACIÓN DEL APRENDIZAJE Y MOTIVACIÓN DEL ALUMNADO TRAS LA APLICACIÓN DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA SOBRE FÍSICA ONDULATORIA

una onda es inversamente proporcional a la distancia a la distancia al foco donde se produce dicha onda. De acuerdo con los datos registrados, algo más de la mitad de los participantes (55,8%) afirma, según el modelo científico, que esto es verdadero. Sin embargo, se encuentra que algo más de la quinta parte de los alumnos (21,2%) considera este enunciado falso, quedando otra quinta parte (23,1%) que no responde a la cuestión. La cuestión C4.P1A.05, perteneciente a la secuencia “S6. Principio de Huygens de la propagación de ondas: Fenómenos de reflexión y refracción”, enuncia si el fenómeno de reflexión total sólo se puede producir al pasar una onda desde un medio de mayor velocidad a otro de menor velocidad de propagación. Se encuentra que sólo algo más de la cuarta parte de los alumnos (28,8%) afirma que esto es verdadero, mientras que casi la mitad (46,2%) afirma lo contrario y la cuarta parte restante deja la pregunta sin responder (50%).

Tabla 6.2: Resultados de la prueba C4.P1.A (I)

Enunciado	%			Unidad
	V	F	NC	
C4.P1.A.10 En una onda mecánica hay vibración de la materia y propagación de energía.	75	15,4	9,6	S2
C4.P1.A.01 En todo movimiento ondulatorio la amplitud de la perturbación depende de la frecuencia	13,5	78,8	7,7	S3
C4.P1.A.08 La velocidad de propagación de una onda en una cuerda tensa aumenta al aumentar la tensión de la cuerda	96,2	3,8	0	S4
C4.P1.A.09 La intensidad de una onda es inversamente proporcional a la distancia al foco donde se produce dicha onda.	21,2	55,8	23,1	S5
C4.P1.A.05 El fenómeno de reflexión total solo se puede producir al pasar una onda desde un medio de mayor velocidad a otro de menor velocidad de propagación	28,8	46,2	25	S6

En la Tabla 6.3 se muestran los resultados de los restantes ítems del cuestionario C4.P1A. En la pregunta C4.P1A.02, relativa a la secuencia “S7. Efecto Doppler”, se plantea a los alumnos si cuando un receptor se aleja de una fuente de sonido en reposo la longitud de la onda medida por el mismo disminuye. Se observa que dos terceras partes de los alumnos (63,5%) considera, según el modelo científico, que esto es verdadero, frente a algo más de la décima parte (15,4%) que afirma que es falso. Sin embargo, aproximadamente, una quinta parte del grupo no responde esta cuestión (21,2%).

6.2 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO DE CARÁCTER TEÓRICO ADQUIRIDO POR LOS
ESTUDIANTES SOBRE ONDAS TRAS EL DESARROLLO DE LA PROPUESTA
METODOLÓGICA (E3.1)

La cuestión C4.P1A.04, relativa a la secuencia “S9. Ondas estacionarias”, pregunta si se produciría una onda estacionaria cuando se superponen dos ondas de igual amplitud y frecuencia que viajan en sentido contrario. Se observa que algo más de las tres cuartas partes de los participantes (78,8%) considera correctamente que esta afirmación es verdadera. Por el contrario, algo más de la décima parte (13,5%) contesta lo contrario, quedando un 7,7% de alumnos sin responder. Continuando con la cuestión C4.P1A.07, también relativa a la secuencia de ondas estacionarias, se pregunta a los estudiantes si los vientres consecutivos de las ondas estacionarias están separados por media longitud de onda. De nuevo se encuentra que algo más de tres cuartas partes de los estudiantes (78,8%) considera correctamente que esta afirmación es verdadera, quedando una décima parte (9,6%) que afirma lo contrario y un 11,5% que deja esta pregunta sin responder.

Tabla 6.3: Resultados de la prueba C4.P1.A (II)

Enunciado	%			Unidad
	V	F	NC	
C4.P1.A.02 Cuando un receptor se aleja de una fuente de sonido en reposo la longitud de onda medida por el receptor disminuye.	15,4	63,5	21,2	S7
C4.P1.A.04 Cuando se superponen dos ondas, de igual amplitud y frecuencia, que viajan en sentido contrario se produce una onda estacionaria.	78,8	13,5	7,7	S9
C4.P1.A.07 Los vientres consecutivos de las ondas estacionarias están separados por media longitud de onda	78,8	9,6	11,5	S9
C4.P1.A.03 La velocidad de una onda sonora audible en el aire depende de la longitud de onda del sonido	38,5	30,8	30,8	S10
C4.P1.A.06 Las ondas electromagnéticas pueden ser longitudinales o transversales	13,5	69,2	17,3	S11

La cuestión C4.P1A.03 correspondiente a la secuencia “S10. Ondas sonoras: Aspectos característicos y aplicaciones” plantea a los alumnos si la velocidad de una onda sonora audible en el aire depende de la longitud de onda. De acuerdo con los datos registrados, algo menos de la tercera parte (30,8%) responde según el modelo científico, afirmando que esto es falso. Sin embargo, una proporción algo superior (38,5%) lo considera verdadero. En esta ocasión, un número alto de estudiantes de casi la tercera parte (30,8%) decide no responder la cuestión. En la siguiente cuestión C4.P1A.06 se pregunta si las ondas electromagnéticas pueden ser longitudinales y transversales. Se obtiene que algo menos de las tres cuartas partes (69,2%) consideran este enunciado

como falso, lo cual se corresponde con el modelo científico, quedando algo más de la décima parte respondiendo lo contrario (13,5%) y un 17,3% de participantes sin responder.

Ya se ha indicado que todas las preguntas que integran el cuestionario C4.P1A se utilizaron previamente en el estudio 1.1, formando parte del pre-test C1, para explorar los conocimientos previos de los estudiantes sobre ondas con este tipo de cuestiones. Se pudo observar en aquella ocasión que los estudiantes encuestados mostraban un grado de aprendizaje significativo sobre ondas muy bajo, en la etapa previa a la enseñanza universitaria. Al utilizar de nuevo algunas de aquellas cuestiones se ha podido observar (en las tabla 6.1 y 6.2) que los resultados son mucho mejores que antes en los porcentajes de respuestas correctas (tipo MC), lo cual se puede considerar como una primera prueba de que los estudiantes del grupo experimental (GE) han mejorado bastante en el aprendizaje de conceptos y, por tanto, han experimentado un grado aceptable de cambio conceptual, tras el proceso de formación realizado en la experiencia educativa desarrollada con ayuda del SRI, que se ha descrito anteriormente en el estudio E2.

6.2.2.2 Evaluación del aprendizaje de conceptos mediante cuestiones de opción múltiple

A continuación, se presentan los resultados del cuestionario C4.P1.B (mostrado en el Anexo 4B) y que estaba formado por 10 preguntas de opción múltiple. Hay que señalar que algunas de las estas cuestiones se utilizaron previamente en el estudio 1.2 para explorar los conocimientos previos de los estudiantes sobre ondas con este tipo de preguntas (Cuestionario C2) y otras preguntas de este tipo se usaron como actividades de aula durante la experiencia descrita en el estudio 2.1 (Cuestionario C3A). Ahora tales preguntas se han vuelto a utilizar en este estudio, con objeto de poder evaluar el grado de cambio conceptual conseguido tras la experiencia educativa desarrollada con ayuda de los mandos a distancia del SRI. Para el análisis de los datos recogido con el cuestionario C4.P1B, se ha usado también una estadística descriptiva, centrada en el análisis de frecuencias y porcentajes de los tipos de respuesta de cada ítem, diferenciando entre modelos de pensamiento científico (MC), posibles modelos alternativos y modelos indefinidos cuando los alumnos no contestan.

En la Tabla 6.4 se muestran los resultados de la cuestión C4.P1.B.01, la cual se corresponde al mismo enunciado de C3.A.05. El enunciado se acompaña de una figura donde se representa una onda armónica y se pide a los alumnos que identifiquen las

6.2 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO DE CARÁCTER TEÓRICO ADQUIRIDO POR LOS ESTUDIANTES SOBRE ONDAS TRAS EL DESARROLLO DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA (E3.1)

fases de distintos puntos de esta. Algo más de la mitad de los participantes (56,2%) identifica correctamente los dos puntos que están en fase. Sin embargo, algo más de la cuarta parte (28,1%) considera que todas las respuestas correctas, identificando, por consiguiente, puntos que no se corresponden a la fase indicada en el enunciado. Un 6,2% de alumnos decide no responder.

Tabla 6.4: Resultados de la cuestión C4.P1.B.01

Mod.	De la siguiente figura, que representa una onda armónica, podemos decir que:	%
MC	Los puntos 1 y 3 están en la misma fase.	56,2
	Todas las respuestas son correctas.	28,1
	Los puntos A y B tienen un desfase de $\pi/2$.	6,1
	Todos los puntos X están a la misma fase.	3,1
	No contesta.	6,2

La Tabla 6.5 muestra los resultados correspondientes a la pregunta C4.P1.B.02, cuyo enunciado coincide con el de la cuestión C2.04. Se presenta una situación de una cuerda tensa en la que se propaga un pulso hacia una pared y se pide a los estudiantes que indiquen que acciones se deberían tomar para reducir el tiempo necesario para que dicho pulso alcance la pared. Se observa que casi dos terceras partes de los alumnos (63,5%) elige la opción correspondiente al modelo científico que da como solución usar una cuerda más ligera al mismo tiempo que se mantiene la tensión constante. Por otro lado, algo más de la décima parte (15,4%) elige como respuesta hacer un movimiento con más amplitud para incrementar el tamaño del pulso, respuesta que se correspondería con un modelo alternativo que establece una relación entre la amplitud y la velocidad de propagación. La misma proporción de estudiantes (15,4%) afirma que se necesita hacer un movimiento más rápido para hacer un pulso más corto, lo cual se corresponde con el modelo alternativo que relaciona la velocidad de propagación con la frecuencia. Finalmente, sólo un 3,8% considera que hay que reducir la tensión, quedando un 1,9% de estudiantes sin responder.

6 VALORACIÓN DEL APRENDIZAJE Y MOTIVACIÓN DEL ALUMNADO TRAS LA APLICACIÓN DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA SOBRE FÍSICA ONDULATORIA

Tabla 6.5: Resultados de la cuestión C4.P1.B.02

Mod.	Una cuerda tensa está atada a una pared lejana. Ana mueve su mano hacia arriba y luego hacia abajo creando un pulso que se propaga hacia la pared y la alcanza en un determinado intervalo de tiempo “t” ¿Qué tendría que hacer Ana para que el pulso llegara antes a la pared?		%
MC	Usar una cuerda más ligera, y mantener la tensión constante.		63,5
	Hacer un movimiento hacia arriba y abajo más amplio, para incrementar el tamaño del pulso, así tendrá que recorrer menos distancia para alcanzar la pared.		15,4
	Mover su mano arriba y abajo más rápidamente, y crear así un pulso que se propague a más velocidad.		15,4
	Usar una cuerda de igual densidad, pero disminuir la tensión.		3,8
	No contesta.		1,9

La Tabla 6.6 muestra los resultados de la cuestión C4.P1.B.03 cuyo enunciado es similar a la pregunta C3.A.28. En esta cuestión los alumnos y alumnas deben justificar por qué unos auriculares de baja potencia se escuchan a más nivel de intensidad que un equipo de audio de 500W. Se observa que cerca de la mitad de los estudiantes (48,1%) responde, según el modelo científico, que esto es debido a que el sonido se propaga en frentes de onda esféricos. Sin embargo, algo más de la cuarta parte (28,8%) asocia este fenómeno al hecho de que las ondas sonoras son longitudinales y una cantidad ligeramente menor (23,1%) considera que la causa es que el aire es un medio que disipa energía y los auriculares están más cerca. Esta pregunta ha sido contestada por todos los estudiantes participantes en el examen.

Tabla 6.6: Resultados de la cuestión C4.P1.B.03

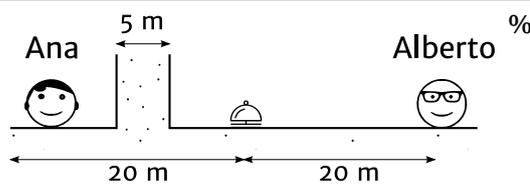
Mod.	Santiago escucha música con un equipo de audio de 500 W. En otro lugar, Ana escucha la misma canción con unos auriculares de tan solo 1 W. Sin embargo, ambos la escuchan al mismo nivel de intensidad (o sonoridad). De las siguientes afirmaciones verdaderas. ¿Cuál podemos decir que explica la causa física que produce este suceso?	%
MC	El sonido se propaga en frentes de onda esféricos	48,1
	El sonido es una onda longitudinal	28,8
	El aire es un medio que disipa energía y los auriculares están solo a 2 centímetros del tímpano de Ana	23,1
	Faltan datos para concluir (a), (b) o (c), pues el nivel de intensidad o sonoridad (S) se mide en decibelios (dB) y no en vatios (W)	0
	No contesta.	0

6.2 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO DE CARÁCTER TEÓRICO ADQUIRIDO POR LOS ESTUDIANTES SOBRE ONDAS TRAS EL DESARROLLO DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA (E3.1)

En la Tabla 6.7 se muestran los resultados de la cuestión C4.P1.B.04, cuyo enunciado es equivalente al de C2.10. En esta ocasión se plantea la situación de dos personas situadas a la misma distancia de una fuente de sonido donde uno de ellos tiene una pared de hormigón entre el mismo y la fuente emisora. Se obtiene que casi la mitad de los participantes (48,1%) afirma, según el modelo científico, que la persona que tiene enfrente la pared de hormigón escuchará el sonido antes. Por otra parte, algo más de la cuarta parte de los estudiantes (28,8%) considera que el oyente sin obstáculos escuchará antes el sonido. Esta respuesta se correspondería con algún tipo de modelo donde los medios más densos que disminuirían la velocidad de propagación. Asimismo, algo más de la quinta parte (23,1%) considera que ambos escucharán el sonido al mismo tiempo, lo cual indica que responden de acuerdo con lo que podría ser un modelo de ondas independientes del medio en el cual se propagan. En esta ocasión también todos los estudiantes decidieron responder a la pregunta.

Tabla 6.7: Resultados de la cuestión C4.P1.B.04

Mod.	Ana y Alberto se encuentran en distintas habitaciones de un hotel con paredes de hormigón de 5 metros. En la habitación de Alberto hay un timbre cuyo sonido puede oírse en todo el hotel. Ambos se encuentran a la misma distancia de 20 metros del timbre. Si el timbre empieza a sonar. ¿Quién escuchará antes el sonido?	%
MC	Ana	48,1
	Alberto	28,8
	Ambos lo escucharán al mismo tiempo	23,1
	No contesta.	0



La Tabla 6.8 muestra los resultados de la pregunta C4.P1.B.05 que se corresponde con el enunciado C2.06 que plantea diversas opciones acerca de la velocidad de propagación del sonido en el agua. Se observa que algo más de la mitad de los alumnos (53,1%) afirman, según el modelo científico, que esta velocidad depende de la temperatura. Por otra parte, algo menos de la tercera parte (31,2%) contesta que dicha velocidad es menor que en el aire lo cual se corresponde con el modelo alternativo relativo a medios densos que disminuyen la velocidad de propagación. Asimismo, un grupo reducido de alumnos y alumnas responden aplicando el modelo según el cual la velocidad de propagación sería independiente del medio donde se propagan. En concreto, un 6,2% responde que depende de la frecuencia del sonido mientras un

6 VALORACIÓN DEL APRENDIZAJE Y MOTIVACIÓN DEL ALUMNADO TRAS LA APLICACIÓN DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA SOBRE FÍSICA ONDULATORIA

3,1% afirma que depende del volumen del sonido. Finalmente, se registra que un 6,2% de los participantes decide no responder.

Tabla 6.8: Resultados de la cuestión C4.P1.B.05

Mod.	La velocidad de propagación del sonido en el agua:	%
MC	Depende de la temperatura.	53,1
	Es menor que en el aire.	31,2
	Depende de la frecuencia del sonido.	6,2
	Depende del volumen del sonido.	3,1
	No contesta.	6,2

La Tabla 6.9 muestra los resultados de la cuestión C4.P1.B.06 que se corresponde con el enunciado C2.08. En este enunciado se adjunta una imagen que muestra dos pulsos que viajan al encuentro el uno del otro, y se pregunta cómo será la forma de la interferencia resultante. Casi la mitad de los estudiantes (46,2%) selecciona la opción que se corresponde con el modelo científico de interferencia de ondas. Por otra parte, algo más de un tercio (36,5%) considera una opción parecida donde la forma de la interferencia es la intersección sin sumar las amplitudes. Frente a ellos, casi la quinta parte de alumnos (17,3%) considera otras opciones donde el resultado discrepa sustancialmente de la forma de la onda resultante. No hay alumnos sin responder en esta pregunta.

Tabla 6.9: Resultados de la cuestión C4.P1.B.06

Mod.	Dos pulsos de onda en una cuerda tensa viajan con velocidades opuestas, dirigiéndose cada uno hacia el otro. En el instante en el que ambos pulsos se encuentran en el mismo punto ¿Qué situación se asemejaría más a la forma de la onda resultante?	Situación inicial	%
			
		A 	
		B 	
		C 	
		D 	
MC	C		46,2
	A		36,5
	B		7,7
	D		9,6
	No contesta.		0

6.2 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO DE CARÁCTER TEÓRICO ADQUIRIDO POR LOS
ESTUDIANTES SOBRE ONDAS TRAS EL DESARROLLO DE LA PROPUESTA
METODOLÓGICA (E3.1)

En la Tabla 6.10 se muestran los resultados de la cuestión C4.P1.B.07 que se corresponde con el enunciado C2.09. Esta es una continuación de la pregunta anterior y se pide a los estudiantes que describan que sucederá con los mencionados pulsos después de encontrarse. Se observa que algo más de la mitad de los alumnos (56,2%) consideran, según el modelo científico, que ambos pulsos continúan propagándose con la misma forma que poseían antes de encontrarse. Por otra parte, un tercio de los participantes (34,4%) consideran que ambos pulsos pierden parte de su energía por fricción durante el choque, lo cual se correspondería con un modelo alternativo que de alguna forma identifique la interferencia con un proceso que disminuye la energía de las ondas. Asimismo, el resto de participantes, sumando algo menos de la décima parte (9,4%), afirma que el resultado tras la interacción es un único pulso que se propaga hacia la izquierda cambiando su forma.

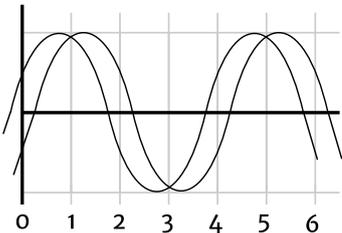
Tabla 6.10: Resultados de la cuestión C4.P1.B.07

Mod.	Partiendo de la misma situación inicial que la pregunta anterior. ¿Qué ocurrirá después de que ambos pulsos se encuentren?	%
<i>MC</i>	<i>Ambos pulsos continúan propagándose con la misma energía y forma, como si nunca se hubieran encontrado.</i>	56,2
	Ambos pulsos pierden parte de su energía, por la fricción durante el choque, pero continúan propagándose en la misma dirección y sentido que cada uno tenía inicialmente.	34,4
	Resulta un único pulso, suma de ambos, que se propaga a menor velocidad hacia la izquierda.	9,4
	Tras el choque se crean además otros pulsos secundarias reflejados en sentidos opuestos a los iniciales.	0
	No contesta.	0

En la Tabla 6.11 se muestran los resultados de la cuestión C4.P1.B.08 que se corresponde con el enunciado C3.A.23. La pregunta se acompaña de una imagen que representa a dos ondas armónicas idénticas que se propagan en dirección contraria pidiendo que se identifiquen donde se formarían nodos o vientres. Casi la mitad de los participantes (46,2%) identifica correctamente los puntos donde se formarán los nodos. Sin embargo, algo menos de la tercera parte (30,8%) considera que los nodos se producirán en el lugar que corresponde a la formación de vientres y la quinta parte (19,2%) consideran que la formación dependerá de los tipos de armónicos secundarios que se produzcan.

6 VALORACIÓN DEL APRENDIZAJE Y MOTIVACIÓN DEL ALUMNADO TRAS LA APLICACIÓN DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA SOBRE FÍSICA ONDULATORIA

Tabla 6.11: Resultados de la cuestión C4.P1.B.08

Mod.	Una onda viaja de derecha a izquierda y su onda reflejada en sentido opuesto, formando ambas una onda estacionaria. ¿En qué puntos se producirán nodos y vientres?		%
MC	Nodos en 0, 2, 4 y 6		46,2
	Nodos en 1, 3 y 5		30,8
	Dependerá de si el modo de vibración resultante es el fundamental, 1º armónico, 2º armónico, etc.		19,2
	Solo dos nodos en los extremos 0 y 6, y un vientre en el punto intermedio 3		3,8
	No contesta.		0

La Tabla 6.12 muestra los resultados de la cuestión C4.P1B.09, la cual es equivalente al enunciado de C2.01. En esta pregunta se pide que se describa el comportamiento de una partícula de aire en una habitación donde hay un altavoz que emite una nota de sonido periódica. Aproximadamente dos quintas partes de los estudiantes (40,4%) considera, según el modelo científico, que dicha partícula vibrará en la dirección de propagación sin desplazarse. Por el contrario, algo más de la cuarta parte de alumnos (28,8%) identifica correctamente el carácter longitudinal, pero describen un desplazamiento de la partícula hacia el sentido de propagación del sonido, lo cual se correspondería con un posible modelo alternativo de ondas que transportan materia. Asimismo, una quinta parte (21,2%) comparten el mencionado modelo e identifican el movimiento con el de una onda transversal. Finalmente, un 5,8% considera que si bien la partícula no se desplazaría, la vibración sería transversal.

6.2 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO DE CARÁCTER TEÓRICO ADQUIRIDO POR LOS ESTUDIANTES SOBRE ONDAS TRAS EL DESARROLLO DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA (E3.1)

Tabla 6.12: Resultados de la cuestión C4.P1.B.09

Mod.	En una habitación con el aire en calma flota una partícula de polvo situada entre un altavoz y Santiago (como muestra la figura). Cuando se enciende el altavoz se emite una nota de sonido ininterrumpidamente y a frecuencia constante ¿Cómo es el movimiento de la partícula de polvo?	Altavoz	Partícula de polvo	Santiago	%
					
			Arriba	Delante	
MC	La partícula se mueve hacia adelante y atrás, manteniendo una distancia constante con el altavoz.				40,4
	La partícula se mueve hacia adelante y atrás, alejándose del altavoz y acercándose a Santiago.				28,8
	La partícula se mueve hacia arriba y hacia abajo, alejándose del altavoz y acercándose a Santiago.				21,2
	La partícula se mueve hacia arriba y hacia abajo, manteniendo una distancia constante con el altavoz.				5,8
	No contesta.				3,8

En la Tabla 6.13 se muestran los resultados de la pregunta C4.P1.B.10. En esta ocasión se insta a los alumnos a describir cómo será el pulso reflejado de una onda que se mueve en una cuerda ligera unida a una pared. Se observa que casi tres cuartas partes de los participantes (71,9%) identifica correctamente que el pulso estará invertido. Por otra parte, algo menos de una quinta parte (15,6%) considera que la onda no se reflejará al estar el extremo de la cuerda fijo a la pared. Una cantidad menor (6,2%) considera que habrá inversión dependiendo de la tensión y la densidad lineal de masa de la cuerda. Asimismo, un 3,1% afirma que el pulso reflejado no estará invertido.

Tabla 6.13: Resultados de la cuestión C4.P1.B.10

Mod.	Un pulso de onda se mueve por una cuerda ligera que está unida por un extremo a una pared. El pulso reflejado está:	%
MC	Invertido.	71,9
	Al estar el extremo de la cuerda fijo, el pulso no se refleja.	15,6
	Que se invierta depende de la tensión y la densidad lineal de masa de la cuerda.	6,2
	No invertido.	3,1
	No contesta.	3,1

Ya se ha indicado que todas las preguntas de opción múltiple que integran el cuestionario C4.P1B provienen en parte de cuestiones usadas en el estudio 1.2 (integradas en el pre-test C2), para explorar los conocimientos previos de los estudiantes sobre ondas

con este tipo de cuestiones. Las restantes provienen de cuestiones usadas en el estudio 2.1 (integradas en el cuestionario de tareas de aula C3A), para fomentar la reflexión en clase con ayuda del SRI. Hemos podido observar en los citados estudios que los estudiantes encuestados mostraban un grado de aprendizaje significativo muy bajo en la etapa previa a la enseñanza universitaria (E1.2) y también se apreciaban bastantes dificultades durante el proceso de enseñanza en primer curso de ingeniería (E2.1). Al utilizar de nuevo este tipo de cuestiones en la prueba de evaluación C4.P1B hemos podido observar, en la mayoría de las tablas mostradas de este apartado, que los resultados son bastante mejores que en las dos fases precedentes (E1.2 y E2.1), como puede apreciarse en los valores relativamente altos de los porcentajes de respuestas correctas (tipo MC). Asimismo, se aprecia un nivel mucho más bajo de respuestas sin contestar y porcentajes bastante más bajos en respuestas relacionadas con modelos mentales de carácter alternativo. Estos resultados, por tanto, se pueden considerar como una segunda prueba de la progresión de modelos y mejora en el aprendizaje de conceptos teóricos de ondas, por parte de los estudiantes del grupo experimental (GE), tras la experiencia educativa desarrollada con ayuda del SRI.

6.2.2.3 Evaluación del aprendizaje de conceptos mediante cuestiones abiertas

A continuación, se presentan los resultados del cuestionario C4.P1.C (mostrado en el Anexo 4C), que forma parte de la prueba de examen de conocimientos teóricos sobre ondas. Este cuestionario está formado por cuatro preguntas abiertas, donde se pide a los estudiantes que expliquen de forma justificada la respuesta a las cuestiones planteadas sobre diversos fenómenos ondulatorios.

Para el análisis de datos procedentes del C4.P1.C (cuestiones abiertas) se han clasificado y discutido las respuestas de los estudiantes a cada cuestión mediante una tabla de contingencia de doble entrada, mostrando las frecuencias en forma de porcentaje. En dicha tabla se ha representado en sus filas las tres opciones posibles: verdadero, falso o no contesta. En las columnas de la citada tabla las respuestas se han clasificado según que las justificaciones dadas a cada respuesta se adapten al modelo científico (MC), a un modelo alternativo (MA) o a un modelo indefinido (MI) correspondiente a explicaciones confusas o que no están bien especificadas. En las tablas siguientes se muestran los resultados del citado análisis estadístico y se comentan algunas de las justificaciones más frecuentes del alumnado en cada cuestión.

6.2 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO DE CARÁCTER TEÓRICO ADQUIRIDO POR LOS
ESTUDIANTES SOBRE ONDAS TRAS EL DESARROLLO DE LA PROPUESTA
METODOLÓGICA (E3.1)

En la Tabla 6.14 se muestran los resultados de la cuestión abierta C4.P1.C.01 donde se plantea a los alumnos que razonen si todos los tipos de onda pueden ser tanto longitudinales como transversales, dependiendo de la dirección en la que se coloque el sistema de referencia para medir la propagación. Se observa que tres cuartas partes de los alumnos (75,0%) consideran que esta afirmación es falsa. De ellos, un 55,8% realiza un razonamiento basado en el modelo científico, mientras que un 3,8% lo hace basado en modelos alternativos y un 15,4% no especifica. Por otra parte, solo un 5,8% de los participantes considera que la afirmación presentada en esta cuestión es verdadera, quedando casi una quinta parte de los participantes (19,2%) sin responder.

Entre los que contestaron que la sentencia es falsa aplicando para ello el modelo científico, la cuarta parte del total (25,6%) razonaron mediante reducción al absurdo señalando que la afirmación no puede ser verdadera debido a que hay ondas que siempre son transversales o longitudinales, con respuestas del tipo “*las ondas de sonido siempre son longitudinales*” o “*las ondas electromagnéticas siempre son transversales*”. Otro 7,6% afirma dando la explicación y definición que caracteriza el carácter longitudinal o transversal de las ondas: “*Que una onda sea longitudinal o transversal depende de si la velocidad de vibración y su velocidad de propagación sean paralelas o perpendiculares entre sí, respectivamente*”. Por otra parte, un 5,1% razona argumentando que: “*No tendría sentido clasificarlas si todas pudieran ser longitudinales o transversales*”. Asimismo, la misma cantidad (5,1%) lo razonan describiendo como son los campos eléctricos y magnéticos de una onda con respecto a su dirección de propagación: “*Los campos eléctricos y magnéticos son perpendiculares entre sí, y a su vez ambos perpendiculares a la dirección de propagación, con lo que independientemente del sistema de referencias siempre serán transversales*”.

Tabla 6.14: Resultados de la cuestión C4.P1.C.01

¿Todos los tipos de onda pueden ser tanto longitudinales como transversales, dependiendo de la dirección en la que se coloque el sistema de referencia para medir la velocidad de propagación?				
Respuesta	MC	MA	NE	%
Falso	55,8	3,8	15,4	75,0
Verdadero	...	0	5,8	5,8
No contesta	...	...	...	19,2

En la Tabla 6.15 se muestran los resultados relativos a la cuestión C4.P1.C.02 donde se pregunta a los estudiantes acerca de cómo se comporta el nivel de sonoridad o nivel de intensidad sonora con respecto a la escala de intensidad. En concreto, se

plantea como será el nivel de sonoridad de un concierto sabiendo que un perro ladra con un valor de 50dB y la intensidad del sonido de un concierto es diez mil veces mayor. Se observa que algo más de la mitad de los estudiantes (55,8%) considera que esta afirmación es verdadera. De ellos, algo más de la cuarta parte del total (28,8%) realiza los cálculos correctamente para razonar la respuesta, mientras que algo más de la quinta parte (21,2%) razona con respuestas asociadas con los valores extremos “El oído humano alcanza hasta 120 dB, por lo que el concierto de rock se percibe alrededor de 100dB”, “si un ladrido tiene 50dB un concierto tiene que ser 100dB porque 120dB es lo más alto que podemos escuchar”. Entre estos otros razonan con respecto a la distancia a la fuente afirmando que “depende de la distancia” o aplican la ecuación de intensidad como inversa al cuadrado de la distancia en lugar de la logarítmica.

Por otra parte, casi la quinta parte (19,2%) considera que la afirmación es falsa. Entre los mismos se encuentran de nuevo razonamientos relacionados con el umbral de audición humano, así como alumnos que escriben bien la formula logarítmica pero no identifican correctamente los términos de la misma con los datos el problema. Por último, se encuentra una cantidad razonable de estudiantes (21,2%) que decide no responder a la pregunta.

Tabla 6.15: Resultados de la cuestión C4.P1.C.02

El ladrido de un perro tiene una sonoridad (S) o nivel de intensidad sonora de 50 dB. La intensidad de un concierto de rock es 100000 veces mayor que la de dicho ladrido. ¿Es cierto que nuestros oídos solo perciben el concierto al doble de sonoridad que el ladrido?				
Respuesta	MC	MA	NE	%
Verdadero	28,8	21,2	5,8	55,8
Falso	...	15,4	3,8	19,2
Depende	...	...	...	3,8
No contesta	...	...	...	21,2

En la Tabla 6.16 se muestran los resultados de la cuestión C4.P1.C.03 donde se pide a los alumnos que razonen si la siguiente afirmación es verdadera o falsa: “Se produce interferencia de dos ondas de radio cuando dichas ondas pierden calidad al propagarse en el aire”. Dos quintas partes de los participantes (40,4%) considera que esta afirmación es falsa. Entre estos algo más de la cuarta parte (28,8%) razona según el modelo científico, mientras que un 5,8% lo hace mediante modelo alternativo y la misma cantidad (5,8%) no especifica ningún razonamiento. Por otra parte, algo más de la cuarta parte (28,8%) considera que la afirmación es verdadera. Entre estos una quinta parte (19,2%) lo hacen en base a un modelo alternativo y casi la décima parte

6.2 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO DE CARÁCTER TEÓRICO ADQUIRIDO POR LOS
ESTUDIANTES SOBRE ONDAS TRAS EL DESARROLLO DE LA PROPUESTA
METODOLÓGICA (E3.1)

no especifica ningún razonamiento. Entre los restantes un 5,8% no concluye nada en sus respuestas y la cuarta parte restante (25,0%) no contesta a esta pregunta.

Entre quienes respondieron que esta afirmación es falsa y lo razonaron según el modelo científico (28,8%) se encuentra casi una quinta parte (19,2%) que lo hacen mediante la descripción del fenómeno de interferencia con respuestas como: “la interferencia se produce solo cuando dos ondas se encuentran en el mismo punto y no porque pierdan calidad” o “la interferencia es cuando dos ondas chocan en el mismo punto”, en el cual, a partir del lenguaje utilizado, se puede apreciar cierta influencia del modelo de onda como partícula. El resto lo argumenta afirmando que la interferencia no modifica las ondas: “no pierden calidad por la interferencia” o “la interferencia no reduce la calidad”.

Tabla 6.16: Resultados de la cuestión C4.P1.C.03

¿Es cierto que se produce interferencia de dos ondas de radio cuando dichas ondas pierden calidad al propagarse en el aire?				
Respuesta	MC	MA	NE	%
Falso	28,8	5,8	5,8	40,4
Verdadero	...	19,2	9,6	28,8
Inconcluso	...	...	...	5,8
No contesta	...	...	...	25

En la Tabla 6.17 se muestran los resultados de la cuestión C4.P1.C.04 donde se pide a los alumnos que razonen según el siguiente enunciado: “Dadas dos ondas procedentes de diferentes focos que coinciden en el mismo punto del espacio, indicar si la amplitud de la perturbación resultante aumenta o disminuye en ese punto”. Se encuentra que casi la mitad de los participantes (44,2%) afirma, según el modelo científico, que la amplitud resultante puede aumentar o disminuir. Entre estos últimos casi una tercera parte (30,8%) argumenta según un modelo científico mientras que algo más de la décima parte (15,4%) lo hace según modelos alternativos. Por otra parte, también algo más de la mitad afirma que la amplitud de la onda resultante solo aumentará. Entre los mismos la cuarta parte (25,0%) lo hacen según un modelo alternativo y algo menos de la quinta parte (19,2%) no especifica ningún tipo de razonamiento. De los restantes un 3,8% afirma que la onda disminuye y un 7,5% no responde a esta pregunta.

Entre quienes respondieron según el modelo científico (30,8%) algo más de la quinta parte (23,0%) argumentan estableciendo la posibilidad de que crezca o disminuya según sean interferencias constructivas o destructivas: “puede aumentarse siemp-

re que sea constructiva y reducirse si es destructiva”. En contraposición, el resto (7,8%) argumenta mediante la ecuación de interferencia de camino óptico: “la amplitud puede aumentar o disminuir según la distancia a los focos”.

Tabla 6.17: Resultados de la cuestión C4.P1.C.04

Dadas dos ondas procedentes de diferentes focos que coinciden en el mismo punto del espacio, indicar si la amplitud de la perturbación resultante aumenta o disminuye en ese punto.				
Respuesta	MC	MA	NE	%
Puede aumentar o disminuir	30,8	15,4	...	44,2
Aumenta	...	25,0	19,2	44,2
Disminuye	...	3,8	...	3,8
No contesta	...	...	...	7,5

Al hacer una valoración global de los datos obtenidos en la prueba de cuestiones abiertas (C4.P1C) observamos que tales resultados son un tanto heterogéneos y no tan positivos como los obtenidos en las pruebas anteriores. En general se aprecia que los estudiantes identifican relativamente bien la respuesta correcta pero presentan deficiencias a la hora de usar modelos científicos para explicar tales respuestas. Así mismo se aprecian razonamientos de carácter alternativo relativamente extendidos en la segunda y cuarta cuestión de esta prueba, junto con porcentajes apreciables de ausencia de respuestas en todas las cuestiones.

6.3 Estudio del conocimiento de carácter práctico adquirido por los estudiantes sobre ondas tras el proceso de formación (E3.2)

La segunda parte del proceso de valoración de la experiencia formativa se ha denominado estudio 3.2 y se ha centrado en analizar la capacidad de los alumnos para aplicar los modelos científicos estudiados en clase a la resolución de ejercicios y problemas del tema de Ondas.

6.3.1 Aspectos metodológicos específicos del estudio 3.2

En el desarrollo del estudio E3.2 se ha utilizado como instrumento de recogida de información una prueba de examen escrito para conocer las destrezas alcanzadas por los alumnos en la resolución de problemas y ejercicios de carácter cuantitativo, tras el

6.3 ESTUDIO DEL CONOCIMIENTO DE CARÁCTER PRÁCTICO ADQUIRIDO POR LOS ESTUDIANTES SOBRE ONDAS TRAS EL PROCESO DE FORMACIÓN (E3.2)

proceso de enseñanza seguido en la experiencia. Para tal fin se han utilizado dos cuestionarios que han sido entregados en papel, durante la prueba de examen escrita. El primer instrumento ha consistido en un cuestionario de dos ejercicios con preguntas de opción múltiple, denominado C4.P2.A (Anexo 4). El segundo instrumento utilizado es un cuestionario abierto sobre resolución de dos problemas relacionados con varios fenómenos ondulatorios, denominado Cuestionario C4.P2.B (Anexo 4).

Para el análisis de datos de las preguntas de opción múltiple se ha utilizado una estadística descriptiva y un estudio de frecuencias de las opciones de respuesta en cada ejercicio. Para el análisis de datos de las preguntas abiertas se han categorizado las respuestas de los alumnos según el proceso de resolución y se ha hecho, asimismo, un análisis estadístico de frecuencias de las mismas.

6.3.2 Resultados del estudio 3.2

En esta sección se muestran los resultados de la segunda parte del proceso de evaluación del aprendizaje del tema de ondas, centrada en analizar los conocimientos de tipo práctico de los estudiantes para resolver problemas sobre fenómenos ondulatorios, tras el desarrollo de la experiencia formativa. Para facilitar la exposición, los resultados se han ordenado en dos epígrafes relacionados con los dos tipos de instrumentos usados en este proceso (C4.P2.A y C4.P2.B), que se han comentado anteriormente.

6.3.2.1 Evaluación del aprendizaje de tipo práctico mediante cuestiones de opción múltiple

A continuación, se exponen los datos recogidos con el primero de los instrumentos utilizados en este estudio, comenzando por mostrar y comentar las tablas de datos correspondientes a los ejercicios basados en preguntas de opción múltiple (incluidas en el cuestionario C4.P2.A). La Tabla 6.18 muestra los resultados relativos a la cuestión C4.P2.A.01 en la cual se muestra una ecuación de una onda armónica expresada en unidades del sistema internacional y se pide que se identifique cuál será la longitud de onda tras realizar un pequeño cálculo. Se observa que casi todos los alumnos (96,2%) calculan o identifican correctamente el valor de dicha longitud. Por otra parte, solo un 3,8% responde un valor que no se corresponde con los parámetros de la ecuación.

6 VALORACIÓN DEL APRENDIZAJE Y MOTIVACIÓN DEL ALUMNADO TRAS LA APLICACIÓN DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA SOBRE FÍSICA ONDULATORIA

Tabla 6.18: Resultados de la cuestión C4.P2.A.01

Mod.	La ecuación de una onda armónica transversal que se propaga en una cuerda viene dada por la expresión: $y = 0,5 \cdot \cos(2\pi(10t-x))$ en unidades del Sistema Internacional (SI). ¿Cuánto vale su longitud de onda?	%
MC	1 m.	96,2
	1 cm.	0
	10 m.	3,8
	10 cm	0
	NC	0

En la Tabla 6.19 se encuentran los resultados de la cuestión C4.P2.A.02. En ella se muestra la ecuación de una onda estacionaria en una cuerda y se pide a los alumnos que identifiquen aquella opción que muestre correctamente los parámetros que la identifican. Algo más de la tercera parte (69,2%) de los alumnos eligen la opción donde la velocidad se corresponden con la obtenida tras realizar los cálculos correctos identificando adecuadamente los parámetros de la ecuación. Sin embargo, algo más de la décima parte (13,5%) considera que la longitud es de un metro, lo cual no se correspondería con el estado fundamental. Otro 3,8% de los estudiantes considera que hay amplitud en uno de los nodos y queda un 13,5% de alumnos sin responder.

Tabla 6.19: Resultados de la cuestión C4.P2.A.02

Mod.	Una cuerda vibra con su frecuencia fundamental entre dos extremos separados por una distancia fija. La función de la onda estacionaria correspondiente es: $y(x,t) = 3,0 \cos(190t) \sin(2\pi x)$. Si las magnitudes de la ecuación anterior se miden en el Sistema Internacional ¿cuál es la opción de respuesta correcta?:	%
MC	La velocidad de propagación de la onda en la cuerda es de 30 m/s.	69,2
	La longitud de la cuerda es de 1,0 m.	13,5
	La amplitud con que oscilará un punto situado a 0,50 m del extremo de la cuerda es 3,0 m.	3,8
	El periodo de oscilación de un punto situado a 0,25 m del extremo de la cuerda es 5,3 ms.	0
	NC	13,5

Al hacer una síntesis de los datos obtenidos en las cuestiones de opción múltiple sobre ejercicios de carácter cuantitativo (C4.P2.A) observamos que tales resultados son bastante positivos ya que ambas cuestiones muestran niveles muy altos de respuestas correctas, comprendidos entre el 96% y el 69%. Estos datos son bastante favorables, pero también hay que indicar que se trataba de ejercicios sencillos de aplicación directa de dos leyes físicas y que se han tratado en muchas actividades de clase.

6.3.2.2 Evaluación del aprendizaje mediante problemas abiertos

Ya se ha indicado que el instrumento utilizado en esta parte del examen es un cuestionario abierto sobre resolución de problemas relacionados con dos fenómenos ondulatorios diferentes, denominado Cuestionario C4.P2.B. Para analizar los resultados de cada problema se han categorizado las respuestas de los alumnos según el proceso de resolución y se ha hecho un análisis estadístico de frecuencias de las mismas, mostrando en las siguientes tablas las diferentes opciones de respuesta barajadas por los alumnos y citando algunos ejemplos de razonamientos de los estudiantes.

La Tabla 6.20 muestra los resultados de la cuestión C4.P2.B.01 en la se pide a los alumnos que calculen el coeficiente de absorción de una onda y la distancia que debe recorrer conociendo el porcentaje de intensidad que se pierde. Se observa como tres cuartas partes de los estudiantes (76,9%) responden calculando correctamente ambas respuestas. Entre estos se observa como la tercera parte del total (32,7%) no escribe las unidades del coeficiente de absorción, a pesar de haberlo calculado bien. Por otra parte, algo más de una quinta parte interpreta correctamente los porcentajes de intensidad incidente y absorbida, pero se equivocan al despejar la ecuación mediante logaritmos.

Tabla 6.20: Resultados de la cuestión C4.P2.B.01

Mod.	Cuando una onda plana atraviesa un medio de 80 cm de espesor se ve reduce la intensidad en un 30% del valor inicial. a) ¿Cuál es el coeficiente de absorción del medio? b) ¿Qué distancia debe recorrer para reducir la intensidad inicial a la mitad?	%
MC	Calcula correctamente el coeficiente de absorción.	76,9
MC	Calcula correctamente la distancia.	76,9
	No escribe las unidades del coeficiente.	32,7
	Interpreta correctamente los porcentajes, pero se equivoca despejando.	23,7

En la Tabla 6.21 se muestran en los resultados de la cuestión C4.P2.B.02 en la que se pide a los participantes que calculen la velocidad de propagación y la tensión en una onda estacionaria de una cuerda a partir de la longitud de onda y la frecuencia fundamental. Se observa que la mitad de los alumnos calculan correctamente la tensión y la velocidad (51,9%). Sin embargo, la mitad restante no interpreta correctamente las fórmulas, siendo la confusión entre tensión y peso la más frecuente entre estos últi-

mos ya que algo más de la cuarta parte de los mismos calcula la tensión como masa por aceleración de la gravedad. Por otra parte, cabe destacar también que algo más de la décima parte del total de alumnos (13,4%) confunde la distancia entre dos nodos consecutivos —longitud de la cuerda— con la longitud de onda. Finalmente, casi la décima parte (9,6%) no escribe las unidades de la tensión.

Tabla 6.21: Resultados de la cuestión C4.P2.B.02

Mod.	Una cuerda de guitarra de 60 cm de longitud vibra en su frecuencia fundamental de 246 Hz ¿Cuál es la tensión de la cuerda si su masa es de 2g? ¿A qué velocidad se propaga la onda transversal?	%
MC	Calculo correcto de la tensión.	51,9
MC	Calculo correcto de la velocidad.	51,9
	No interpretan correctamente las fórmulas.	48,07
	Confunde masa de la cuerda con tensión, $T = m \cdot g$.	26,9
	Usa $\lambda/2$ como longitud de onda para calcular la velocidad.	13,4
	Faltan las unidades de tensión.	9,6

Al hacer una síntesis de los datos obtenidos en las actividades de resolución de problemas abiertos (C4.P2E) observamos que los resultados también son moderadamente positivos. En efecto, en los diversos apartados de los dos problemas planteados se aprecian niveles altos de respuestas correctas, comprendidos entre el 77% y el 52%. Por tanto, estos datos también se pueden considerar favorables.

6.4 Valoración del alumnado sobre la metodología y recursos empleados en el proceso de formación (E3.3)

Finalmente, en la tercera parte de esta última investigación (estudio 3.3), se han recogido y analizado las opiniones de los alumnos participantes acerca de la metodología de enseñanza y el recurso TIC usado en el desarrollo de la experiencia educativa descrita en el capítulo anterior.

6.4.1 Aspectos metodológicos específicos del estudio 3.3

Para conocer la valoración de los participantes, sobre la enseñanza interactiva y el uso del Sistema de Respuesta Inmediata en la propuesta metodológica sobre el tema de ondas, se ha utilizado el cuestionario C5 que se muestra en el Anexo 5. Los 52 estudiantes del grupo experimental (GE), que han participado en la experimentación de dicha propuesta, han respondido a las preguntas del C5 al finalizar la experiencia educativa. El citado instrumento está dividido en los dos aspectos diferenciados. El primero consiste en ocho preguntas de una escala Likert (de cinco valores), que han permitido recoger datos de tipo cuantitativo sobre las opiniones del alumnado. El segundo consiste en una pregunta abierta para que los estudiantes expresen libremente sus opiniones sobre el desarrollo de la experiencia formativa.

6.4.2 Resultados del estudio 3.3

A continuación, se muestran los resultados del tercer sub-estudio donde se pretende indagar en la valoración que los estudiantes hacen de la metodología interactiva que se ha utilizado durante el proceso de enseñanza-aprendizaje del tema de ondas.

6.4.2.1 Opiniones recogidas con una escala de valoración

La primera parte del test de valoración de la experiencia, está formado por ocho ítems de una escala de tipo Likert, en la que se puede indicar el grado de acuerdo en cada ítem con valores del uno al cinco. Los ítems de este instrumento se han clasificado en tres categorías distintas por su relación con los siguientes aspectos: (A) uso de la herramienta, (B) actitudes del alumnado y (C) efectos en el aprendizaje. Al estar planteado como escala con valores impares para el análisis de las cuestiones, los distintos valores de la escala se han agrupado en tres niveles: (I): Contiene las respuestas de tipo “Muy en desacuerdo” y “En desacuerdo”, (II) contiene la contestación intermedia “Ni de acuerdo ni en desacuerdo” y (III) Contiene las respuestas correspondientes a “De acuerdo” y “Muy de acuerdo”. Para su estudio se ha realizado un análisis de frecuencias con los tres niveles correspondientes, cuyos resultados se sintetizan en la Tabla 6.22 y se comentan a continuación.

Con respecto a las opiniones sobre la categoría A, la herramienta, se observa que no hay una preferencia especialmente significativa hacia el uso de los Sistemas de

6 VALORACIÓN DEL APRENDIZAJE Y MOTIVACIÓN DEL ALUMNADO TRAS LA APLICACIÓN DE LA PROPUESTA METODOLÓGICA SOBRE FÍSICA ONDULATORIA

Respuesta Inmediata (SRI) recogiendo las respuestas de forma nominativa por parte del profesor, si bien mayor número de alumnos contestaron hacia esta preferencia frente a su uso anónimo. En concreto solo aproximada la quinta parte de los participantes (23,0 %) prefieren contestar a las preguntas sin un registro individual, mientras que una proporción el doble (42.3 %) prefieren que el profesor sí conozca sus respuestas. Por otra parte casi la tercera parte (34,6 %) prefiere no posicionarse respecto a este tema. Con respecto a la herramienta y su facilidad de uso, se encuentra como casi la mayoría de los estudiantes (84,6 %) han considerado que no les ha costado aprender el funcionamiento de los mandos interactivos.

Con respecto a las opiniones de los estudiantes acerca de sus actitudes (categoría B), se encuentra como la mayoría de los mismos (86,5 %) considera que el uso de Sistemas de Respuesta Inmediata aumenta su participación en clase. Por otra parte, una cantidad superior (80,7 %) de ellos considera que la herramienta digital aumenta de igual modo su atención en las clases teóricas. Con una frecuencia algo menor de un 64.9% los alumnos manifiestan que la incorporación de la metodología supuso una ayuda a la hora de enfrentarse a los exámenes teóricos.

Tabla 6.22: Opiniones acerca de la metodología

Cat.	Cuestión	%		
		I	II	III
A	Prefiero que el profesor conozca mis respuestas.	23,0	34,6	42,3
	Me ha costado aprender el funcionamiento de los mandos interactivos.	84,6	9,6	5,7
B	Los mandos interactivos aumentan mi participación en clase.	1,9	11,5	86,5
	Los mandos interactivos aumentan mi atención en clase.	3,8	15,38	80,7
	Los mandos interactivos me ayudan a enfrentarme mejor a los exámenes teóricos.	7,6	28,8	63,4
C	Considero que la herramienta ha contribuido a un mejor conocimiento de los conceptos físicos.	7,6	28,8	63,4
	El feedback instantáneo me facilita si estoy entendiendo los conceptos durante las clases.	...	3,8	96,1
	La herramienta empeora mi forma de aprovechar las clases para aprender.	86,5	11,5	1,9

Categorías: (A) Herramienta, (B) Actitudes y (C) Aprendizaje.

Valores Likert: (I) “Muy en desacuerdo” y “En desacuerdo”, (II) “Ni de acuerdo ni en desacuerdo” y (III) “De acuerdo” y “Muy de acuerdo”.

6.4.2.2 Otras opiniones sobre la experiencia educativa

La segunda parte del test de valoración de la experiencia consiste en una pregunta abierta donde se pide a los participantes expresar cualquier opinión acerca de la metodología basada en Sistemas de Respuesta Inmediata. Una vez recogidos los datos de esta cuestión, estos se han organizado en unidades de información, encontrado un total de 132 entre todas las respuestas obtenidas. Todas ellas se han clasificado en tres categorías: (a) la relación de los SRI con el aprendizaje, (b) la actitud de los alumnos respecto al uso de SRI, y (c) cuestiones relacionadas con la herramienta TIC en sí misma. Asimismo, se ha clasificado su contenido con respecto a si se trata de una valoración positiva, negativa o neutral con respecto a la metodología interactiva. Los valores de frecuencias se encuentran organizados en una tabla de contingencia donde en las filas se encuentran representadas las mencionadas categorías y en las columnas el tipo de valoración, mostrada en la Tabla 6.23.

Se observa que aproximadamente algo más la mitad de los enunciados hacen referencia a la herramienta, aportando un 51,9% al total. Por otra parte, la categoría de aprendizaje está representada por algo más de la quinta parte (21,1%), así como la actitud obtiene una cifra similar (23,%). Se observa asimismo que, con respecto a la categoría de actitud, no se encuentran enunciados negativos, mientras que para las categorías de aprendizaje y herramienta se encuentran un 5,7% y un 11,5% de valoraciones negativas. En total casi siete décimas partes (69,11%) de las unidades de información encontradas hacen referencia a aspectos considerados positivos por los estudiantes, mientras que menos de la quinta parte (17,2%) son negativas y menos de la décima parte neutrales (9,6%). Por otra parte, se han encontrado un 4% de respuestas que no se han podido clasificar dentro de ninguna categoría al no aportar ningún tipo de información.

Tabla 6.23: Clasificación de respuestas de opinión según tipo de contenido

Temática	%			Total
	Positivo	Negativo	Neutro	
Aprendizaje	15,3	5,7	0	21,1
Actitud	23	0	0	23
Herramienta	30,7	11,5	9,6	51,9
Total	69,11	17,2	9,6	96

Por otra parte, en la Tabla 6.24 se muestran las sentencias que han presentado una coincidencia, tanto en significado como en similitud léxica suficiente entre distintos

alumnos. Las más repetidas, en este caso por casi la quinta parte de los estudiantes (19,2%), han sido una valoración generalista del tipo “están bien”. Con una frecuencia de algo más de la décima parte (15,3%) se encuentran alusiones a que los SRI, “ayudan a dinamizar las clases” y otras a que “son útiles para participar en clase”. Encontrando también otras opiniones positivas como “es una buena idea” con algo más de la décima parte de alumnos (13,2%). Asimismo, se encuentra algo menos de porcentaje de alumnos (9,4%) que mencionan que les ha parecido una “buena iniciativa”. Por otra parte, con un contenido ya un poco menos generalista se encuentra la misma frecuencia (9,4%) mencionando que los Sistemas de Respuesta Inmediata “favorecen la atención”, así como un porcentaje menor (7,4%) que comentan que “algunos mandos no funcionan bien”. Estos resultados tienen relación con las aportaciones de otros estudios precedentes (Silliman, Abbott, Clark y McWilliams, 2005; Chafer, 2009; Weerts y Altice, 2009).

Tabla 6.24: Respuestas más repetidas en cuestión abierta de opinión

Enunciado	Frecuencia
	%
Están bien	19,2
Ayudan a amenizar las clases	15,3
Son útiles para participar en clase	15,3
Me parecen buena idea	13,2
Buena iniciativa	9,4
Favorecen la atención	9,4
Algunos mandos no funcionan bien	7,5

Entre los enunciados individuales positivos se encuentran opiniones globales relativas a la participación como “son una buena forma de participar todos en clase”, o “en caso de no haber mandos habría mucha gente que no contestaría”. Asimismo, se menciona la utilidad hacia el aprendizaje “me parecen una buena forma de aprender”, a la amenidad “resultan amenos”. Del mismo modo, se encuentran menciones a su utilidad para entender mejor los conceptos físicos “ayuda a entender mejor lo que se ha explicado”.

Por otra parte, se han encontrado varias referencias a la capacidad de los mandos interactivos para favorecer la evaluación instantánea, valorándose positivamente aspectos como “me ayuda a conocer mis fallos” y “saber que tenía que prepararme más”. Entre otras de las ventajas que los estudiantes mencionan es que la metodología potencia la atención: “favorece la atención en clase”, “me parece una idea útil para captar la atención del alumnado”.

La discusión entre compañeros que se genera después de las preguntas ha sido igualmente valorada positivamente por dos estudiantes, *“motivan al debate de cuestiones de grupo en clase, de una forma muy positiva”* y en este caso también otra valoración negativa *“se trata de aprender, no de que los alumnos hablen entre ellos”*. Asimismo, se encuentra una alusión a que aumenta la discusión entre los alumnos y el profesor: *“hay mayor interacción entre los alumnos y el profesor”*, otra hacia la evaluación académica *“se deberían de utilizar en todas las asignaturas como evaluación continua”* y otra relativa a la motivación: *“sirven para que los alumnos que no tienen interés en la asignatura se motiven más”*. Por otra parte, otro participante hace mención a un beneficio que la herramienta supone para el docente *“al profesor le sirve para saber qué porcentaje de la clase está entendiendo las cosas o no”*, y dos provenientes de alumnos que han remarcado el carácter novedoso de la herramienta *“me parecen una idea bastante innovadora”*, *“me parece una idea original”*. Por último, también se encuentran negativas referentes al uso de la herramienta *“muchos mandos no funcionan bien”* así como otra valoración negativa expresada por un estudiante que hace alusión a que *“se pierde tiempo de explicación teórica”* y otras de carácter neutral *“nada en especial”*. Estos resultados también tienen bastante relación con las aportaciones de otras investigaciones sobre esta temática (Greer y Heaney, 2004; Berry, 2009; Shaffer y Collura, 2009).

6.5 Síntesis del estudio E3

En este capítulo se ha expuesto el diseño y el desarrollo del tercer estudio del proyecto de investigación (E3), cuya meta global consistía en analizar el grado de mejora de la calidad de enseñanza de la física universitaria en el tema de ondas y la motivación del alumnado por el aprendizaje de este tema, al aplicar la propuesta metodológica basada en el uso activo y reflexivo de los SRI en clase. Para alcanzar esta meta, de una forma amplia y diversa, se han llevado a cabo tres estudios parciales diferentes y complementarios (E3.1, E3.2 y E3.3), utilizando distintos cuestionarios.

El primer estudio parcial de esta última investigación (E3.1) se ha centrado en recoger y analizar datos empíricos para conocer en qué medida ha mejorado el aprendizaje de conceptos y modelos científicos sobre el tema de ondas, tras el desarrollo de la propuesta metodológica, basada en actividades de reflexión y debate con el recurso SRI. Para desarrollar este objetivo específico (O3.1) se ha diseñado un cuestionario que se ha utilizado como la primera parte de la prueba de examen sobre aprendizaje de contenidos teóricos (C4.P1) y que está integrado –a su vez– por tres

partes que incluyen diferentes tipos de cuestiones: Cuestiones del tipo verdadero o falso (C4.P1A), cuestiones de opción múltiple (C4.P1B) y cuestiones abiertas (C4.P1C).

Todas las preguntas que integran el cuestionario C4.P1.A se utilizaron previamente en el estudio 1.1 (formando parte del pre-test C1), para explorar los conocimientos previos de los estudiantes sobre ondas con este tipo de cuestiones. Asimismo, las preguntas de opción múltiple del cuestionario C4.P1.B también se utilizaron previamente en el estudio 1.2 para explorar los conocimientos previos de los estudiantes sobre ondas con este tipo de preguntas (pre-test C2) y otras preguntas de este tipo se usaron como actividades de aula durante la experiencia descrita en el estudio 2.1 (Cuestionario C3.A). Al comparar los resultados del examen de conocimientos teóricos, recogidos mediante las pruebas C4.P1.A y C4.P1.B, con los datos obtenidos en la fase de exploración de conocimientos previos (C1 y C2) o en las actividades de clase con SRI (C3.A), se ha podido observar que los resultados son mucho mejores tras la fase de evaluación.

Estos hechos se pueden considerar como una prueba de que los estudiantes del grupo experimental (GE) han mejorado bastante en el aprendizaje de conceptos sobre física ondulatoria. Sin embargo, al analizar los datos obtenidos en la prueba de cuestiones abiertas (C4.P1.A) observamos que tales resultados son un tanto heterogéneos y no tan positivos como los obtenidos en las pruebas anteriores, ya que los estudiantes identifican relativamente bien la respuesta correcta pero presentan deficiencias a la hora de usar modelos científicos para explicar tales respuestas. De todos modos, al hacer un balance final de los datos procedentes de las tres pruebas que integran el examen de contenidos teóricos (C4.P1.A, C4.P1.B y C4.P1.C), se puede considerar que los resultados son globalmente positivos y que los participantes han experimentado un grado apreciable de cambio conceptual, tras el proceso de formación realizado en la experiencia educativa desarrollada con ayuda del Sistemas de Respuesta Inmediata.

El segundo estudio parcial de esta investigación (E3.2) se ha centrado en recoger y analizar datos empíricos para conocer qué relación existe entre el aprendizaje de modelos científicos y la capacidad de resolución de problemas en el tema de ondas. Para desarrollar este objetivo específico (O3.2) se ha diseñado un cuestionario que se ha utilizado como la segunda parte de la prueba de examen, en torno al aprendizaje de contenidos prácticos del tema de ondas (C4.P2). Este instrumento de investigación está integrado también por dos partes que incluyen diferentes tipos de preguntas: Ejercicios planteados como cuestiones de opción múltiple (C4.P2.A) y problemas abiertos sobre varios fenómenos ondulatorios (C4.P2.B). Al analizar los datos obteni-

dos en tales pruebas se observan que los resultados son positivos en las preguntas de opción múltiple y bastante positivos en los dos problemas abiertos. Por tanto, los resultados globales del estudio 3.2 también se pueden considerar favorables y convergentes con los de la primera parte del examen (E3.1).

El tercer estudio parcial de esta investigación (E3.3) se ha centrado en recoger y analizar datos empíricos que permitan valorar las opiniones de los estudiantes sobre la experiencia educativa llevada a cabo al implementar la propuesta metodológica sobre enseñanza de la Física ondulatoria en el primer curso de universidad. Para desarrollar este objetivo específico (O3.3) se ha utilizado un cuestionario denominado C5 (que se muestra en el Anexo 5). La primera parte consiste en ocho preguntas de una escala Likert (de cinco valores), que han permitido recoger datos de tipo cuantitativo sobre las opiniones del alumnado. La segunda consiste en una pregunta abierta para que los estudiantes expresen libremente sus opiniones sobre el desarrollo de la experiencia formativa. Los datos recogidos con ambos instrumentos son convergentes y aportan opiniones bastante favorables, por parte de los estudiantes, sobre la aplicación la propuesta metodológica para la enseñanza de la Física ondulatoria que se ha desarrollado en esta investigación. En particular, cabe destacar que los alumnos han realizado valoraciones muy positivas sobre el uso didáctico del Sistema de Respuesta Inmediata (SRI) en la enseñanza universitaria, señalando también que ha aumentado notablemente la motivación del alumnado y el interés por el aprendizaje del tema estudiado en esta experiencia.

Finalmente hay que indicar que las mejoras apreciadas en el proceso de enseñanza-aprendizaje del tema de ondas coinciden, parcialmente, con los resultados de otras investigaciones sobre innovaciones educativas de carácter global en el tema de ondas (Saura, 1997; Llinás et al., 2003; Osuna García, 2007; Moreno, 2013) y con algunas investigaciones centradas en el tratamiento didáctico de algunos fenómenos ondulatorios más específicos con diferentes tipos de recursos (Yavuz Özdemir y Kocakulah, 2017; Crockett y Rueckner, 2018; Bravo y Pesa,). Asimismo, hay que destacar que la buena valoración, que han realizado los participantes en esta experiencia, sobre el uso de metodologías interactivas y de los Sistemas de Respuesta Inmediata en la educación científica, coincide ampliamente con los resultados de otras muchas investigaciones precedentes sobre esta temática (Greer y Heaney, 2004; Silliman et al., 2005; Berry, 2009; Shaffer y Collura, 2009; Hwang y Chang, 2011; López-Quintero et al., 2016; Hodges et al., 2017; Thapar-Olmos y Seeman, 2018).

7 Conclusiones de la investigación

7.1 Introducción

7.2 Discusión y conclusiones del Primer Estudio (E1)

7.3 Discusión y conclusiones del Segundo Estudio (E2)

7.4 Discusión y conclusiones del Tercer Estudio (E3)

7.5 Conclusiones globales de la investigación

7.6 Limitaciones de la investigación y futuras vías de trabajo

7.1 Introducción

En este último capítulo se van a exponer los análisis de los resultados obtenidos en los tres estudios que han conformado esta investigación. Del mismo modo, se van a mostrar sus conclusiones principales.

La estructura está dividida en varios epígrafes con el objetivo de responder de forma individual a las preguntas derivadas de los problemas de investigación. Éstas fueron definidas en el tercer capítulo dedicado a la metodología. Asimismo, se incluirán las posibles limitaciones derivadas del estudio. Por último, se expondrán nuevas líneas de trabajo que han ido surgiendo y podrían considerarse como la continuación natural de esta investigación acerca de las dificultades de aprendizaje de los alumnos de primer grado de ingeniería en física ondulatoria y las posibles soluciones metodológicas para superar tales dificultades.

7.2 Discusión y conclusiones del Primer Estudio (E1)

El primer estudio de este proyecto comenzó con la pregunta (P1): *¿Qué características presentan los conocimientos de los estudiantes universitarios acerca de la física ondulatoria, al finalizar los estudios de bachillerato e iniciar el estudio de este tema en primer curso de ingeniería, y qué aspectos del mismo presentan mayores dificultades para alcanzar un aprendizaje significativo de los contenidos de este tema?* Partiendo de la misma se crearon los cuestionarios C1 y C2 (mostrados en los anexos A1 y A2) respectivamente. Ambos fueron respondidos por distintos grupos de estudiantes en dos cursos académicos consecutivos.

Para el diseño de ambos instrumentos de medida se tuvieron en cuenta distintas fuentes como libros de bachillerato, estudios indexados en revistas científicas que cubren la temática tratada (Maurines, 1992; Saura, 1997; Coetzee y Imenda, 2012; Barniol y Zavala, 2016) y un estudio exploratorio previo propio. De este modo, anteriormente al problema tratado en este epígrafe, se realizó otro estudio anterior en el tiempo. Su instrumento estuvo conformado por cuestiones abiertas. La finalidad del mismo —denominado como estudio previo inicial— fue obtener información que sirvió para contrastar las otras dos fuentes (libros y artículos científicos) usadas para la elaboración de los mencionados cuestionarios C1 y C2. La información y resultados de esta investigación inicial no forma parte de este trabajo, aunque los resultados del

estudio piloto previo se han publicado en varias comunicaciones a congreso (López-Quintero, Pontes y Varo-Martínez, 2018; López-Quintero, Pontes y Varo-Martínez, 2021).

A través de los citados cuestionarios (C1 y C2) se ha intentado responder a los objetivos principales de este primer estudio: Explorar los conocimientos previos que muestran los estudiantes universitarios, de primer curso de ingeniería, al responder a un conjunto amplio de cuestiones cerradas del tipo verdadero o falso sobre los fenómenos ondulatorios y analizar la seguridad en las respuestas a tales cuestiones (O1.1), evaluar las concepciones previas y los modelos de pensamiento que muestran tales estudiantes al responder a una batería de cuestiones cerradas de opción múltiple sobre el tema de ondas (O1.2).

7.2.1 Características del conocimiento de los alumnos antes del proceso de enseñanza

Como se ha mencionado antes, en este estudio se pretendió obtener información sobre cómo es el conocimiento de los estudiantes tras finalizar los estudios de bachillerato. Por tal motivo se elaboraron dos cuestionarios C1 y C2, que los alumnos respondieron antes de iniciar el proceso de enseñanza. El primero consiste en preguntas del tipo verdadero o falso y el segundo incluye cuestiones de opción múltiple. Ambos están relacionados con la búsqueda de datos para responder a los sub-problemas de investigación P1.1 y P1.2 respectivamente. Una discusión de los resultados de ambos se detalla a continuación.

7.2.1.1 Conocimientos previos sobre ondas mediante cuestiones del tipo verdadero o falso

Las conclusiones mostradas en este epígrafe pretenden responder a la cuestión del sub-problema P1.1: *¿Qué tipo de conocimientos previos expresan los estudiantes universitarios de primer curso de ingeniería al responder a un conjunto amplio de cuestiones cerradas, del tipo verdadero o falso, sobre los fenómenos ondulatorios y en qué medida muestran seguridad en sus respuestas?* Cuando se preguntó a los alumnos mediante cuestiones del tipo verdadero o falso (cuestionario C1) se ha intentado cubrir todos los aspectos conceptuales contemplados en el currículo de física ondulatoria en ingeniería, así como también otras preguntas con una aplicación de la física al mundo cotidiano, ya que estas últimas suelen influir en la generación de modelos mentales de carácter alternativo (Halloun y Hestenes, 1985; Hestenes, 1987; Saura, 1997; Welti,

2002; Pejuan et al., 2011; Barniol y Zavala, 2016). Asimismo, en cada uno de los ítems se incluyó una opción donde los estudiantes pudieran valorar la seguridad que mostraban en la veracidad de sus propias respuestas. Esta seguridad se presentó en forma de escala likert con valores del uno al cinco.

Entre los resultados sobre este último aspecto se aprecia que las preguntas donde los estudiantes reportan menos seguridad se corresponden con aquellas que tratan tópicos asociados a la relación matemática entre las distintas variables que describen los fenómenos ondulatorios. Se observa como las ocho preguntas que tratan temas directamente relacionados con la descripción matemática —así como las relaciones cuantitativas entre variables— se encuentran en los dos últimos cuartiles de seguridad reportada por los alumnos. Estas cuestiones también son las que han presentado un mayor número de estudiantes sin contestar.

Por el contrario, en aquellos ítems donde se han planteado afirmaciones relacionadas con el mundo cotidiano —como pueden ser las ondas en un estanque o la posibilidad de que el sonido se propague en el metal— los participantes han reportado mayores niveles de seguridad. En concreto, la pregunta en la que los alumnos se han sentido más seguros de su respuesta es aquella que cuestiona si las ondas circulares en un estanque disminuyen su amplitud conforme se alejan de la fuente (Viennot y Leroy-Bury, 2004; Mosabala, 2014). En este caso, algo más de la mitad afirman que esto es verdadero según el modelo científico.

Asimismo, se aprecia que la temática en la que mayor número de alumnos contestan a este tipo de cuestiones de verdadero o falso de forma acorde con el modelo científico se corresponde también a temas relacionados con las ondas mecánicas y fenómenos cotidianos, especialmente las ondas materiales o mecánicas. Así, más de cuatro quintas partes entienden que las ondas mecánicas propagan energía mediante la vibración de la materia, o tres cuartas partes afirman que las ondas en cuerdas tensas aumentan su velocidad al aumentar la tensión. Muchos estudiantes consideran también que el sonido también se puede propagar en metales.

En contraposición a lo anterior, las cuestiones que tratan ondas electromagnéticas presentan un nivel de abstención cercano a la mitad, y entre los alumnos que decidieron responder a estas se encuentra menos de la décima parte que identifica correctamente el carácter transversal de este tipo de ondas.

De este estudio primero, cuyo objetivo fue explorar los conocimientos previos que expresan los estudiantes de primer curso de ingeniería en física ondulatoria, se extraen dos conclusiones principales. La primera es que los alumnos reportan un mayor nivel de creencia en su propio conocimiento en temas relacionados con las ondas me-

cánicas y reportan un nivel de seguridad más bajo en cuestiones puramente matemáticas. Por otra parte, se aprecia que aquellos ítems del cuestionario 1 que tratan asuntos mecánicos, o relacionados con el mundo material observable, obtienen un mayor grado de respuestas acordes con los modelos científicos. Por el contrario, las ondas electromagnéticas presentan resultados menos significativos, con un mayor número de ausencia de respuestas, así como un menor número de alumnos que usan modelos científicos entre aquellos que responden (Ambrose et al., 1999b; Podolefsky y Finkelstein, 2007; Neumann, 2014).

7.2.1.2 Conocimientos previos sobre ondas mediante cuestiones de opción múltiple

Este segundo sub-estudio tuvo como objetivo principal recoger datos mediante cuestiones de opción múltiple sobre las ideas previas de los alumnos sobre ondas (cuestionario C2) antes de iniciar el proceso de enseñanza en primer curso de ingeniería. El sub-problema de investigación al que pretende dar respuesta es el P1.2: *¿Qué nivel de conocimientos previos y qué dificultades de aprendizaje muestran los estudiantes universitarios de primer curso de ingeniería al responder a una batería de cuestiones cerradas de opción múltiple sobre el tema de ondas?*

Los resultados presentados en el capítulo 4 permiten concluir que globalmente los estudiantes presentan numerosos modelos mentales de carácter alternativo sobre ondas cuando se incorporan a la universidad (Ferreyra y González, 2000). Esta afirmación se basa en que la respuesta acorde con el modelo científico fue la más elegida tan solo en dos de los doce ítems que conforman el cuestionario 2. Entre los modelos alternativos que se presentan con más frecuencia están aquellos que, de alguna manera, atribuyen a las ondas una entidad propia. Ya sea por entenderlas como partículas materiales gobernadas por las leyes de la mecánica, o bien por considerarlas como fenómenos con características que dependen de cada onda en particular, con independencia del medio en el cual existen y se propagan (Robertson et al., 2019).

Así, con respecto al hecho de considerar ondas como partículas materiales, se puede ver que más de la mitad de los alumnos consideran que las moléculas contenidas en el aire se desplazan desde la fuente al receptor (Wittmann et al., 2003; Caleon y Subramaniam, 2010; Pejuan et al., 2011), y más de dos tercios del total consideran al sonido como una onda transversal. También con frecuencias similares los participantes afirman que las ondas transportarían materia, o que al encontrarse dos pulsos

que viajan en sentido contrario se producirían otros pulsos secundarios reflejados en direcciones opuestas a las que llevaban inicialmente (Wittmann, 2002).

Por otra parte, parece que el modelo alternativo predominante se corresponde con el modelo de ondas independientes del medio, pues se observa que más de la mitad de los alumnos participantes consideran que el carácter transversal o longitudinal de una onda dependerá de cómo esté situado el sistema de referencia desde donde se esté midiendo. Más de dos terceras partes consideran que la velocidad de propagación de la onda en una cuerda tensa se podría aumentar incrementando parámetros de la misma como la amplitud o la frecuencia (Maurines, 1992; Wittmann, Steinberg y Redish, 1999; Sengören, Tanel y Kavcar, 2009). Con un modelo alternativo similar, dos quintas partes de los alumnos de este grupo consideran que la velocidad de propagación del sonido en el agua depende de la frecuencia del mismo. Del mismo modo, más de la mitad considera que dos personas situadas a la misma distancia de una fuente sonora escucharían el sonido que esta produce al mismo tiempo, con independencia de la densidad del medio que separa a cada oyente de la fuente, y entre estos, la tercera parte que la velocidad de propagación es menor en medios densos, con modelos alternativos similares a los encontrados por Linder (1993) y Caleon y Subramaniam (2010).

Con respecto a la interferencia se observa que los estudiantes no interpretan este fenómeno ondulatorio según el modelo científico, pues casi una tercera parte afirma que la onda resultante nunca podría aumentar la amplitud a un valor superior al que poseían antes, argumentando que el aumento sería contradictorio con el principio de conservación de la energía. O bien, hay otros que afirman que las ondas perderían amplitud tras encontrarse y producirse una interferencia.

Se pueden extraer de este segundo sub-estudio varias conclusiones, relativamente congruentes con las del sub-estudio anterior. La primera es que los alumnos tienen preferencia por modelos mentales alternativos que consideran a las ondas como partículas materiales (Wittmann et al., 1999). La segunda es que se aprecian dificultades para entender el proceso ondulatorio como un tipo de perturbación que se propaga en determinado medio, de modo que las ondas se entienden como identidades independientes. La tercera es que el fenómeno de interferencia no es bien interpretado de un modo acorde con el modelo científico por la mayoría de los alumnos.

7.2.2 Balance global del Estudio 1

El objetivo global del primer estudio de esta investigación (E1) consistió en llegar a conocer qué características presentan los conocimientos de los estudiantes universita-

rios acerca de la física ondulatoria antes de la instrucción formal en primer curso de ingeniería. Para buscar respuestas al primer problema principal de este proyecto de investigación (P1) se han dos cuestionarios diferentes y complementarios. Los resultados obtenidos con tales cuestionarios, tanto en el estudio E1.1 (con cuestiones del tipo verdadero o falso) como en el estudio E1.2 (con cuestiones de opción múltiple) son convergentes en cuanto a que ambos estudios ponen de manifiesto la existencia de numerosas dificultades de aprendizaje significativo, caracterizadas por la existencia de muchas creencias previas, concepciones personales y modelos mentales, que presentan un carácter alternativo respecto a los modelos científicos de la física ondulatoria.

Algunas de las concepciones previas y modelos alternativos detectados en el estudio exploratorio previo, realizado con cuestiones abiertas (López-Quintero et al., 2021) y que se han confirmado después con los datos recogidos en los estudios E1.1 y E1.2 de esta primera fase son los siguientes:

- Muchos estudiantes interpretan las ondas como entidades materiales con características mecánicas y estas características están asociadas a cada onda (o pulso en particular) con independencia del medio en el cual se propagan.
- Otros modelos alternativos apuntan a que las ondas pueden transportar materia, rebotar contra las paredes o que dos ondas idénticas se cancelan cuando se propagan desde direcciones opuestas.
- La amplitud de una onda se considera directamente proporcional al periodo y una amplitud más corta está asociada a un periodo más corto.
- Las ondas pueden sumar (o restar) su velocidad de propagación a la velocidad de la fuente emisora.
- Las ondas a veces se consideran como algo parecido a las cargas eléctricas, que producen fuerzas de atracción y repulsión.
- En relación con la naturaleza del sonido, muchos estudiantes consideran que el sonido es una onda electromagnética, al asociarlo con las transmisiones de radio. También hay quienes consideran que el sonido se propaga más fácilmente, más rápido, más fuerte y de un modo más flexible que la luz.
- Entre los fenómenos ondulatorios presentan una especial dificultad la superposición de varias ondas en el espacio y la producción de interferencias. Por ejemplo, si se superponen dos ondas unidimensionales a lo largo del eje OX, daría lugar a un aumento de la longitud de onda y no necesariamente a un cambio en la amplitud.

- Dos ondas idénticas se cancelan cuando se propagan en el mismo eje en sentido opuesto. Por tanto, la dirección en la que se propaga un impulso, así como las velocidades de propagación, influirán en el patrón de interferencia.
- La interferencia está asociada principalmente a la idea de refuerzo, por ello la interferencia se asocia casi exclusivamente con la interferencia constructiva y no con la interferencia destructiva.

Muchos de estos modelos mentales sobre ondas, que presentan un carácter claramente alternativo se ha detectado también en numerosas investigaciones previas sobre esta temática (Perales, 1987; Saura, 1997; Welte, 2002; Wittmann, 2002; Risch, 2010; Coetzee y Imenda, 2012; Barniol y Zavala, 2016; Yavuz Özdemir y Kocakulah, 2017).

7.3 Discusión y conclusiones del Segundo Estudio (E2)

Una vez realizados los estudios anteriores de carácter exploratorio se ha llevado a cabo el segundo estudio, cuyos resultados serán discutidos en esta sección. El mismo ya conforma la primera parte del estudio experimental donde se han investigado los aspectos de enseñanza de física ondulatoria guiadas por el segundo problema principal P2: *¿Cómo se desarrolla el proceso de enseñanza y aprendizaje de los fenómenos ondulatorios al aplicar una propuesta metodológica basada en actividades de reflexión y en el uso de recursos interactivos multimedia tales como los Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI)?*

Los objetivos planteados consisten en obtener información en las aulas durante el proceso de enseñanza, en la cual se ha hecho uso de una metodología interactiva. El primero de los objetivos cubre los aspectos teóricos y el segundo los prácticos. El estudio se ha separado, por consiguiente, en dos sub-estudios que se corresponden con los dos sub-problemas de investigación: (P2.1) el cual cubre los aspectos teóricos y conceptuales y (P2.2) que cubre los aspectos relacionados con la resolución de problemas. Para tal motivo se han realizado dos instrumentos cuyos datos han sido recogidos de forma digital mediante Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI) durante el desarrollo de la unidad en las aulas. Al desarrollarse durante dicha unidad cubren las distintas secciones de la unidad didáctica de ondas (expuestas en el capítulo 3). Cada uno de estos sub-problemas obtuvo sus resultados de las respuestas en clase a los cuestionarios C3.A (en anexo 3, primera parte) y C3.B (en anexo 3, segunda parte), siendo el primero integrado en la unidad didáctica durante las explicaciones teóricas y

el segundo durante el periodo de resolución de problemas en el aula según la metodología descrita en el capítulo 3. La discusión de los resultados de ambos sub-estudios se exponen a continuación en dos epígrafes distintos.

7.3.1 Conocimiento teórico de ondas adquirido durante el proceso de enseñanza

A continuación se describen las conclusiones del primero de los sub-problemas que componen este estudio segundo (E2.1). Este pretende indagar las respuestas de los alumnos a los mencionados cuestionarios para intentar responder a la pregunta de investigación: (P2.1) *¿Qué tipo de conocimientos sobre fenómenos ondulatorios muestran los estudiantes al reflexionar y responder a preguntas de opción múltiple, en las clases teóricas del tema de ondas que se imparten en la materia de física de primer curso de ingeniería, con ayuda de los mandos interactivos a distancia?* Para facilitar su discusión se han agrupado las mismas en tres bloques: (a) aspectos generales del movimiento ondulatorio, (b) principios generales del movimiento ondulatorio y (c) tipos específicos de ondas: sonoras y electromagnéticas.

7.3.1.1 Aspectos generales del movimiento ondulatorio

Con respecto a generalidades de ondas se obtiene una mejora con respecto a aquellos cuestionarios que se realizaron en el estudio anterior y que cubrieron cuestiones similares, pero fueron realizados antes del proceso de enseñanza. Lo cual es razonable pues las preguntas han sido respondidas después de las explicaciones teóricas del profesor.

De este modo se encuentra como más de cuatro quintas partes de los alumnos interpretan correctamente el movimiento de una onda transversal en un medio, en comparación con la mitad que en el estudio anterior consideraron el modelo alternativo de partículas que se desplazan en la dirección de propagación. Asimismo, más de dos terceras partes no contemplan la posibilidad de que el sonido se produzca en el vacío, mientras que en el estudio previo era más de la mitad quienes afirmaban lo contrario.

Se obtienen también mejores resultados en promedio acerca de la interpretación de los parámetros y la descripción matemática de las ondas. Así, se puede comprobar como aproximadamente entre la mitad y cuatro quintas partes de los alumnos aplican correctamente las fórmulas para obtener la definición de longitud de onda y la frecuencia. Valores similares de respuestas científicas se obtienen al interpretar las

ecuaciones con relaciones de dependencia no lineales. En concreto como se relacionan parámetros como la intensidad y la velocidad de propagación de ondas en cuerdas tensas con respecto a la amplitud y la tensión respectivamente.

Con respecto a la interpretación de las representaciones gráficas de ondas se obtienen también unos valores razonables —cercanos a la mitad— de comprensión de la amplitud y la frecuencia cuando se acompaña de una figura que contiene distintos pulsos. No obstante, no se obtiene un número tan alto de respuestas científicas cuando se pide a los alumnos que interpreten el concepto de fase en una representación gráfica de una onda armónica, pues en el caso segundo, algo más de dos terceras partes de los alumnos confunden a todos los puntos con misma elongación como aquellos que corresponderían a la misma fase. Asimismo, en el mismo gráfico interpretan que media longitud de onda se correspondería a un desfase de $\pi/2$.

Se concluye que en promedio los resultados después de la explicación teórica son, como era de esperar, mejores que en un pre-test, pues se han aplicado más científicamente las fórmulas y se ha mejorado la comprensión de los fenómenos de propagación del sonido. Por el contrario, la interpretación gráfica de los parámetros ondulatorios, especialmente la fase, presenta dificultades de aprendizaje.

7.3.1.2 Principios generales del movimiento ondulatorio

En este apartado, perteneciente al estudio E2.1, se pretende indagar acerca de las respuestas durante el proceso de enseñanza de la secuencia: principios generales y aplicaciones: Principio de propagación de Huygens y Principio de Superposición de ondas. Interpretación de fenómenos ondulatorios (reflexión, refracción, interferencias, ondas estacionarias, etc...).

Con respecto a los fenómenos ondulatorios de reflexión y refracción más de la mitad de los participantes interpretan correctamente cómo sería la reflexión de un pulso cuando se refleja en una pared desde un gráfico. Sin embargo los estudiantes no parecen distinguir la diferencia clara entre los fenómenos de reflexión y refracción ya que aunque identifican que en una fibra óptica la señal se transmite sin atravesar la separación entre los dos medios que la componen, nombran a este fenómeno como refracción.

Cuando se pregunta por el efecto Doppler con ondas mecánicas se encuentran varias dificultades en su interpretación. Entre estas, casi la mitad de los estudiantes consideran que cuando la fuente emisora se mueve hacia un lugar concreto las ondas viajarían también a más velocidad hacia ese sentido. Lo cual se corresponde con un modelo alternativo de suma de velocidades y de ondas independientes del medio. Asi-

mismo, presentan dificultades al entender la situación de dos observadores en reposo situados al borde de una carretera cuando se acercan dos vehículos con sirenas a la misma velocidad, interpretando que el observador más cercano a los vehículos escucharía las sirenas a mayor frecuencia.

De los resultados relativos a la interpretación de los fenómenos de interferencia y superposición se obtiene, de nuevo, un mayor número de respuestas de acuerdo con el modelo científico. Así, más de la mitad de los participantes interpreta correctamente la interferencia de dos ondas que llegan a un punto como la suma de ambas y dos quintas partes interpretan correctamente la diferencia de camino óptico. También se obtiene como solo una tercera parte interpreta correctamente en una gráfica el fenómeno de interferencia, con otra tercera parte no entendiendo la diferencia entre interferencia destructiva o constructiva.

Se observan, de nuevo, dificultades en la interpretación gráfica de las ondas de tipo armónico. En concreto con ondas estacionarias se observa como menos de la quinta parte de los alumnos identificaron correctamente donde se formarían los nodos cuando se muestran las dos ondas cuya interferencia producirá la onda estacionaria. Del mismo modo, se observa como los estudiantes presentan dificultades a la hora de interpretar la relación de las frecuencias de los modos de vibración con respecto al fundamental en una gráfica con la representación ordenada de los distintos modos de vibración de una onda estacionaria (fundamental, primer modo, etc.).

7.3.1.3 Ondas sonoras y electromagnéticas

Se tratan aquí los tópicos relacionados con las ondas sonoras y electromagnéticas.

Tras el análisis de los resultados se observa como existen dificultades para interpretar como varían los parámetros ondulatorios del sonido con la densidad del medio, pues aproximadamente solo una tercera parte de los alumnos interpretan como afecta a la frecuencia y la longitud de una onda el cambio de medio (entre aire y agua). Otra tercera parte considera que ambas, la frecuencia y la longitud de onda se mantendrían constantes, a pesar de afirmar que el sonido se propaga a más velocidad en el agua.

En la interpretación de conceptos relacionados con la intensidad y el volumen del sonido también observan dificultades significativas. En este aspecto, se obtiene que los alumnos no son capaces de interpretar el concepto de decibelio, al no saber relacionar conceptualmente ni matemáticamente el aumento de percepción de volumen con el aumento de la intensidad de la onda. Asimismo, no interpretan según el modelo científico el por qué unos auriculares insertados en el oído se escuchan a un volumen mayor que un altavoz de más potencia situado a mayor distancia.

7.3.2 Conocimiento práctico sobre ondas durante el proceso de enseñanza

En este epígrafe se describen las conclusiones del segundo de los sub-problemas que componen este estudio segundo (E2.2). Se pretende responder al problema de investigación (P2.2) “¿Qué conocimientos de tipo práctico muestran los alumnos de primer curso de ingeniería al realizar ejercicios y problemas sobre ondas, con ayuda de los mandos interactivos a distancia, en las actividades realizadas en las clases de Prácticas de Aula de la asignatura de Física?”.

Con respecto a la descripción del movimiento ondulatorio armónico desde un punto de vista de cálculo e identificación de variables, se observa como valores de alrededor de la mitad de los estudiantes son capaces de identificar su función de onda y calcular la velocidad de propagación. No obstante se observa mayor dificultad, de nuevo, en identificar valores como la longitud de onda.

Resultados similares de respuestas científicas se obtienen cuando se plantea la ecuación de una onda armónica que sube por una cuerda atada de modo fijo en su extremo superior y con un peso en su parte inferior o una cuerda atada a una pared fija (la primera vertical y la segunda horizontal). En este caso también se encuentra como solo la tercera parte es capaz de identificar el periodo y la longitud de onda, a pesar de que casi dos terceras partes calcularon la velocidad de propagación.

Cuando se trata el tema de una fuente puntual que emite una onda se obtiene como la mitad de los alumnos identifican correctamente varios fenómenos que se corresponden con el modelo científico como puede ser la fórmula matemática que lo rige o la propagación en frentes de onda esféricos. Se observa también como casi tres cuartas partes de los estudiantes afirman según el modelo científico que la dependencia del nivel de intensidad (sonoridad β medida en decibelios) con la intensidad es logarítmica, si bien solo porcentajes de alrededor de dos quintas partes realizan los cálculos matemáticos necesarios para su resolución. Resultados similares se obtienen cuando se trata de un problema de una onda que es absorbida por un medio que reduce su intensidad y en resultados de formación de ondas estacionarias.

Con respecto al efecto Doppler se sigue observando un modelo alternativo en el cual los estudiantes infieren que el barrido de frecuencia creciente-decreciente que se produce solo cuando la sirena cruza muy cerca del oyente es extrapolable a toda la trayectoria (Viennot y Leroy-Bury, 2004; Mosabala, 2014). Así, durante el desarrollo teórico de la unidad descrito en el sub-estudio anterior cerca de tres cuartas partes de

los estudiantes afirmaron que un observador que se encuentre en reposo percibirá que la frecuencia aumenta conforme la sirena se acerca a el mismo. No obstante, ese valor se reduce solo a la quinta parte en el desarrollo de problemas, con dos quintas partes identificando según el modelo científico que esta frecuencia es constante.

7.3.3 Balance global del Estudio 2

La meta global del estudio E2 consistió en llegar a conocer cómo se desarrolla el proceso de enseñanza y aprendizaje del tema de movimiento ondulatorio en el primer curso de ingeniería, al aplicar una propuesta metodológica basada en actividades de reflexión y en el uso de recursos interactivos multimedia tales como los Sistemas de Respuesta Inmediata (SRI), tanto en las clases teóricas como en tareas de resolución de problemas.

En la primera parte de esta experiencia (E2.1), centrada en el aprendizaje de los contenidos teóricos del tema, se ha utilizado el Cuestionario C3A formado por treinta preguntas de opción múltiple, que se han realizado como actividades de clase usando los mandos a distancia del SRI. En promedio los resultados después de la explicación teórica son, como era de esperar, un poco mejores que los del pre-test. Ello puede estar relacionado con el hecho de que las preguntas conceptuales se han realizado después de la exposición teórica de los contenidos, pero antes de realizar la discusión de las mismas.

Con respecto a los aspectos generales del movimiento ondulatorio se observa que los alumnos han aplicado las leyes de la física de ondas de una forma correcta y se ha mejorado bastante la comprensión de fenómenos de propagación del sonido, si bien la interpretación gráfica de los parámetros ondulatorios, especialmente la fase, presenta dificultades de aprendizaje. Se observa una cierta superación de las dificultades que los alumnos tenían antes para interpretar correctamente los parámetros como frecuencia y longitud de onda en las representaciones gráficas de las ondas.

Con respecto a las ondas mecánicas y sonoras solo una pequeña parte de los alumnos aplican modelos científicos a los fenómenos aplicados de la refracción. Así se observa que una cantidad significativa de los participantes no identifican los nombres de estos fenómenos. Se observan también dificultades de comprensión de los estudiantes sobre conceptos relacionados con el volumen e intensidad sonora, tanto en la relación entre volumen percibido e intensidad de onda sonora, como en su descripción matemática mediante decibelios. También se aprecian dificultades en entender como disminuye la intensidad conforme un oyente se aleja de la fuente y cómo esto afecta a la percepción del volumen percibido.

En general se ha observado que los conocimientos teóricos sobre fenómenos ondulatorios que muestran los estudiantes al responder con los mandos del SRI a las preguntas de opción múltiple planteadas en clase, presentan un cierto avance respecto a los conocimientos previos analizados en la etapa anterior de esta investigación (E1.1 y E1.2). Pero también hay diversos tópicos en los que muchos estudiantes muestran importantes dificultades de comprensión de los modelos físicos sobre ondas y permanecen todavía presentes algunos de los modelos mentales de carácter alternativo como los que se han comentado anteriormente (Wittmann, 2002; Coetzee y Imenda, 2012).

Por otra parte, en la segunda parte de esta experiencia educativa (E2.2) se han recogido datos sobre la capacidad de utilizar las leyes básicas y los modelos científicos de la física ondulatoria para resolver problemas de carácter cuantitativo. Para ello se ha utilizado el cuestionario C3B, en el que se formulan 8 problemas sobre diversos fenómenos ondulatorios, desglosados en un total de 30 preguntas de opción múltiple, de modo que se han usado los mandos a distancia del SRI para responder a tales tareas. Al analizar los datos recogidos se ha observado que los conocimientos de tipo práctico sobre fenómenos ondulatorios que muestran los estudiantes, presentan cierta heterogeneidad, ya que hay tópicos básicos en los que los resultados pueden considerarse aceptables y otros temas más complejos en los que se aprecian importantes dificultades de comprensión y aplicación adecuada de los modelos físicos sobre ondas, como se ha indicado en las conclusiones del capítulo 5 de esta memoria.

En síntesis, en el desarrollo del Estudio 2 hemos observado que durante el desarrollo de la propuesta metodológica sobre ondas se siguen apreciando importantes dificultades de aprendizaje significativo, por parte de los estudiantes de primer curso de ingeniería, tanto en la comprensión de modelos teóricos como en su aplicación práctica en la resolución de problemas. Este hecho ha sido constatado parcialmente en otras investigaciones anteriores, en las que se han ensayado diversas propuestas metodológicas para el aprendizaje del tema de ondas (Saura, 1997; Llinás et al., 2003; Osuna García, 2007; Bostan Sarioglan, 2016). Es importante considerar que los datos de las respuestas de los estudiantes a las preguntas planteadas en las dos partes de este estudio se han recogido en momentos inmediatamente posteriores a la exposición de los modelos científicos en clase, de modo que los estudiantes no han tenido todavía la oportunidad de estudiar a fondo estos contenidos como ocurre cuando los alumnos estudian para preparar el examen del tema, lo cual se ha analizado en el siguiente estudio.

7.4 Discusión y conclusiones del Tercer Estudio (E3)

Por último, se exponen las conclusiones del tercer estudio (E3) de este proyecto de investigación, relacionado con saber cómo mejora el interés del alumnado por el aprendizaje y la calidad de la enseñanza de la física universitaria en el tema de ondas al aplicar una propuesta metodológica interactiva (O3). En definitiva se trató de responder al tercer problema principal de investigación (P3): *¿En qué medida mejora la calidad de la enseñanza de la física universitaria en el tema de ondas y el interés del alumnado por el aprendizaje al aplicar dicha propuesta metodológica?*

Este estudio comparte participantes con el anterior (E2), pero se ha desarrollado al finalizar el proceso de enseñanza con la metodología interactiva. Es por este motivo que el instrumento de recogida de información se ha realizado en formato papel, ya que su objetivo principal es realizar una evaluación posterior de la aplicación de la metodología docente empleada.

Se marcaron tres objetivos para abordar el problema principal P3. El primero de ellos fue recoger datos empíricos para conocer en qué medida se ha mejorado el aprendizaje de conceptos y modelos científicos sobre el tema de física ondulatoria. El segundo objetivo fue obtener datos y analizar la relación que existe entre el aprendizaje de modelos científicos y la resolución de problemas. La tercera meta fue recoger las opiniones de los alumnos acerca de la metodología empleada.

Como se ha comentado, el grupo es de nuevo el grupo experimental (GE) que respondió con tres cuestionarios para cada ámbito de los tres planteados: teórico (C4.P1), práctico (C4.P2) y de opinión acerca de la metodología (C5). Para cada uno de estos tres objetivos se han desarrollado métodos tanto cuantitativos como cualitativos, tratando de usar diferentes instrumentos de medida para poder contrastar los datos obtenidos.

7.4.1 Valoración del aprendizaje de contenidos teóricos sobre ondas tras la experiencia educativa

En el sub-estudio E3.1 se trató de responder al problema P3.1: *¿En qué medida ha mejorado el aprendizaje de conceptos científicos sobre el tema de ondas tras la aplicación de la propuesta metodológica desarrollada en esta investigación?*

Tras comprobar los resultados de los estudiantes respecto a las cuestiones relativas al modelo de ondas como partículas se observa una mejora. Entre las mismas se obtiene que más de la mitad de los alumnos consideran que al producirse una interferencia de dos pulsos éstos no interactúan entre ellos y continúan propagándose como si nada hubiera sucedido, siendo en la fase de aprendizaje menos de la décima parte quienes dieron esta respuesta. Del mismo modo, la interpretación gráfica de la suma de elongaciones de la interacción entre dos pulsos obtiene también mejores resultados. Dentro de este ámbito, también se observa una mejora cuando los alumnos interpretan el sonido sin producirse transporte de materia, no obstante una cantidad significativa de alumnos sigue respondiendo que las partículas se desplazarían en la dirección de propagación.

Con respecto a las cuestiones que tratan sobre interpretación gráfica de los fenómenos ondulatorios se observa una mejora moderada. En las respuestas en clase del estudio anterior (E2.1) se encontró menos de un quinto de alumnos identificando parámetros ondulatorios desde un gráfico, encontrándose valores cercanos a la mitad en este estudio (E3.1). Esto se constata a través de las preguntas relacionadas con temas tales como la interpretación de la fase en una onda armónica o en la localización de dónde se producirán nodos o vientres en ondas estacionarias en representaciones gráficas espaciales. No obstante, también hay que señalar que algunos alumnos siguen presentando dificultades para comprender las representaciones gráficas, pues a pesar de la mejora, como se ha comentado sólo algo más de la mitad de los alumnos responden según el modelo científico.

Con respecto a la interpretación del sonido en conceptos relacionados con su intensidad y con su volumen percibido (sonoridad medida en decibelios), se observan resultados similares a la interpretación gráfica. Así, la mitad de los estudiantes interpretan correctamente que el motivo por el cual el nivel de sonido percibido de un sonido (sonoridad) disminuye con la distancia es debido a la propagación en frentes esféricos del mismo. Una cantidad similar también responden según el modelo científico cuando se les pregunta cómo aumentará el volumen percibido cuando aumenta el nivel de intensidad de una onda sonora. Si bien, en este último aspecto existen dos grupos con un número similar de alumnos (una cuarta parte del total). Los primeros eligen la respuesta científica mediante cálculos matemáticos, los segundos lo intuyen cualitativamente. Los primeros ofrecen una respuesta cuantitativa y exacta a través de despejar y resolver las ecuaciones logarítmicas implicadas. Los segundos realizan estimaciones cualitativas, argumentando que los umbrales de sonoridad definidos como estándares se encuentran entre 0 dB y 120 dB. No obstante, a pesar de la mejora

encontrada se concluye que este es un tópico que presenta dificultades entre los alumnos, debido a que solo la cuarta parte de los participantes han aplicado correctamente las leyes físicas y, después, queda una quinta parte de alumnos que dan una respuesta no científica y otro quinto que no contesta a esta pregunta.

Con respecto a otros aspectos como los modelos englobados dentro de ondas independientes del medio se observa una mejora bastante significativa pues casi dos terceras partes interpretan correctamente la tensión de una cuerda como parámetro que influye en la velocidad, y no parámetros de la onda como la frecuencia o la amplitud. Asimismo, una cantidad similar identifica correctamente el carácter longitudinal o transversal de una onda como una característica intrínseca del medio. No obstante, se observa como los alumnos de nuevo presentan dificultades, pues en una de las preguntas de verdadero o falso más de la mitad identifica a las ondas electromagnéticas como transversales o longitudinales, categorizando como falsa la siguiente afirmación “Las ondas electromagnéticas pueden ser tanto longitudinales como transversales”.

Como conclusión principal al sub-problema de investigación abordado en el estudio E3.1 se concluye que existe una mejora de los resultados alcanzados durante el proceso de enseñanza basado en una metodología interactiva, con respecto a los dos estudios realizados anteriormente usando cuestiones parecidas (E1.1., E1.2 y E2.1). Esto se puede inferir observando que se obtienen algunas mejoras, especialmente en conceptos como la intensidad y el volumen del sonido percibido donde antes ningún alumno entendía el modelo científico. Asimismo se encuentra una mejora en la interpretación gráfica de las ondas armónicas. En concreto se aprecia que alrededor de la mitad de los participantes en este tercer estudio responde de forma científica a las cuestiones planteadas.

7.4.2 Valoración del aprendizaje de contenidos prácticos sobre ondas tras la enseñanza

El segundo sub-estudio de esta fase (E3.2) se centró en indagar sobre la pregunta (P3.2): *¿Qué relación existe entre el aprendizaje de modelos científicos y la capacidad de resolución de problemas en el tema de ondas?*

Con los resultados obtenidos se puede comprobar que efectivamente existe una mejora en la comprensión y aplicación de los conceptos físicos. Especialmente se observa una mejora en la identificación de parámetros de onda en la descripción matemática de ondas armónicas. Los datos muestran que casi la totalidad de los alum-

nos identifican correctamente los valores conceptuales y numéricos en las ecuaciones sobre ondas transversales en cuerdas tensas para el cálculo de la longitud de onda. Asimismo, se aprecia que dos terceras partes de los participantes identifican la velocidad de propagación de las ondas armónicas desde la ecuación de una onda estacionaria. Esto supone una mejora respecto a los resultados obtenidos durante el proceso de aprendizaje, mostrado en el estudio anterior (E2.2), donde los resultados conforme al modelo científico estuvieron alrededor de la mitad y los alumnos presentaron dificultades para identificar la longitud de onda.

Del mismo modo, se obtiene un valor razonable de respuestas correctas cuando se plantea el problema del calcular el coeficiente de absorción cuando una onda atraviesa un medio y la distancia que recorren las ondas según su relación con la intensidad inicial. En este caso tres cuartas parte de los alumnos realizan los cálculos correctamente usando la ley física adecuada. No obstante, valores menos significativos se obtienen cuando se pregunta acerca de una cuerda de guitarra que vibra en su frecuencia fundamental. En tal caso, si bien la mitad de los estudiantes identifican y realizan correctamente los cálculos, la otra mitad no interpreta correctamente las ondas estacionarias con una cuarta parte calculando la tensión de la cuerda como la masa de la cuerda por la aceleración de la gravedad.

7.4.3 Opiniones del alumnado sobre el desarrollo de la experiencia formativa

En la última parte de este tercer estudio (E3.3) se trató de conocer cómo valoran los alumnos universitarios la metodología docente interactiva y el uso de los SRI en la experiencia desarrollada en el tema de física ondulatoria, utilizando dos cuestionarios complementarios, realizados en papel al finalizar el proceso de enseñanza-aprendizaje. El primero (C5A) consiste en ocho cuestiones de una escala Likert de cinco niveles de valoración y el segundo (C5B) estuvo integrado por una cuestión de carácter abierto. El objetivo específico de este estudio es responder al sub-problema (P3.3): *¿Cómo valoran los alumnos universitarios la experiencia llevada a cabo al implementar la propuesta metodológica?* Del análisis de los resultados se puede extraer globalmente que los estudiantes valoran de forma positiva tanto la herramienta como la metodología.

En cuanto al cuestionario de escala likert (C5A), las valoraciones más positivas se aprecian con respecto a la herramienta, destacando que cuatro quintas partes de los alumnos valoran positivamente cuestiones externas relacionadas como la utilidad de

la herramienta SRI, su facilidad de uso y mejoras para el entendimiento de los conceptos físicos. Valores también positivos, pero un poco más bajos se encuentran en las opiniones relacionadas con la mejora en el aprendizaje personal o la capacidad de enfrentarse a los exámenes. Por último, el ítem que ha tenido mayor división de opinión ha sido aquel que hace referencia al anonimato de las respuestas frente a que el profesor pueda conocer qué ha respondido cada alumno. En esta última pregunta dos quintas partes de los estudiantes prefieren las respuestas nominativas, una tercera parte que no se expresa ni en acuerdo ni en desacuerdo y una quinta parte que prefiere el anonimato.

Con respecto a los resultados del cuestionario abierto (C5B), los alumnos de nuevo han hecho más hincapié en la utilidad de la propia herramienta de los mandos a distancia (SRI) y la metodología docente empleada, seguido de la actitud y el aprendizaje en ese orden. Entre las afirmaciones sobre la herramienta SRI lo más valorado es la amenidad de las clases y el fomento de la participación. Respecto a la actitud personal de cada alumno no se encuentra ninguna valoración negativa, posiblemente por un sesgo de valoración auto-positiva. Por otra parte, con respecto al aprendizaje, se obtienen algunas respuestas sobre cómo ayuda a incrementar la atención. En contraposición, con las respuestas negativas lo más comentado son cuestiones técnicas de mandos a distancia que no funcionan bien.

En torno al desarrollo del estudio E3.3 podemos concluir que los datos recogidos son coherentes con otros estudios similares donde los alumnos valoran positivamente estas metodologías (Prather et al., 2009a; Nájera, Villalba y Arribas, 2010). Se han encontrado resultados favorables, cercanos a tres cuartas partes, cuando los alumnos son preguntados acerca de aspectos como: actitudes hacia la asignatura o incremento de la participación y la atención, siendo la ventaja más valorada la capacidad que la herramienta proporciona para auto-evaluar el aprendizaje durante el transcurso de las clases teóricas. Por otra parte, se encuentran resultados igualmente positivos, pero con opiniones más divididas, cuando se pregunta acerca de su relación con el aprendizaje.

7.4.4 Balance global del Estudio 3

Tras analizar de forma conjunta los resultados del Estudio 3 de este proyecto de investigación podemos indicar, en primer lugar, que las mejoras apreciadas en el proceso de enseñanza-aprendizaje del tema de ondas son convergentes, parcialmente, con los resultados de otras investigaciones sobre innovaciones educativas de carácter global en el tema de ondas (Maurines, 1992; Saura, 1997; Llinás et al., 2003; Moreno,

2013; Pérez-Carmona et al., 2015) y con algunas investigaciones centradas en el tratamiento didáctico de algunos fenómenos ondulatorios más específicos con diferentes tipos de recursos (Yalcin, 2010; Drosd et al., 2014; Leccia et al., 2015; Ramirez-Flores et al., 2016). Asimismo hay que destacar que la buena valoración, que han realizado los participantes en esta experiencia, sobre el uso de metodologías interactivas y de los Sistemas de Respuesta Inmediata en la educación científica, coincide con muchos de los resultados de otras investigaciones precedentes sobre esta temática (Silliman et al., 2005; Hwang y Chang, 2011; López-Quintero et al., 2016; Thapar-Olmos y Seeman, 2018) .

7.5 Conclusiones globales de la investigación

En este proyecto de investigación se ha intentado contribuir a la mejora del proceso de enseñanza universitaria de la física, trabajando con alumnos que cursan el primer curso de ingeniería, centrando la experimentación de una metodología innovadora en el tema de física ondulatoria. Para tal fin se han tratado de recoger datos relacionados con las cuestiones siguientes: (a) qué tipos de conocimientos previos muestran los alumnos sobre el tema en el momento de acceder a educación superior, (b) cómo evolucionan tales conocimientos durante la aplicación de una propuesta metodológica innovadora, (c) en qué medida el uso en el aula de metodologías interactivas basadas en recursos TIC mejoran dicho proceso y (d) qué opinan los alumnos acerca de la experiencia educativa desarrollada. El trabajo de investigación realizado en este proyecto ha constado de tres estudios específicos, que han dado lugar a las siguientes aportaciones.

El primer estudio (E1) ha tenido un carácter indagatorio con dos motivaciones principales marcadas: la primera explorar aquellos modelos mentales que presentan los estudiantes antes de iniciar sus estudios universitarios, y la segunda, recoger datos que permitan elaborar los cuestionarios de los estudios siguientes. Los datos recogidos en el estudio E1 indican que los alumnos acceden al primer curso universitario mostrando un bajo nivel de aprendizaje significativo sobre el tema de ondas, que se caracteriza por la presencia de diferentes modelos mentales de carácter alternativo, que se han comentado anteriormente. Otro aspecto observado en esta investigación es la dificultad que presentan muchos estudiantes para identificar los fenómenos ondulatorios mediante representaciones graficas. Especialmente aquellos relacionados con identificar en representaciones espaciales conceptos tales como fase, longitud de onda, velocidad de propagación, vientres y nodos. Esto no se constata solo en el estu-

dio E1.2 sobre conocimientos previos, porque seguimos encontrando estas dificultades después del proceso de enseñanza y aprendizaje.

En el segundo estudio (E2) se han analizado las características del proceso de enseñanza aprendizaje del tema de ondas al aplicar una metodología interactiva en el aula y los modelos mentales que usan los alumnos para responder con SRI a las tareas planteadas en las clases de teoría y en las prácticas de resolución de problemas. Ya se ha indicado que, en general, la experiencia formativa ha sido moderadamente positiva, tanto en la parte de aprendizaje de nociones teóricas como en la parte de aplicación de los modelos físicos a la resolución de problemas. Sin embargo, a pesar del avance registrado en el proceso formativo, también seguimos apreciando bastantes dificultades de aprendizaje significativo en diversos tópicos del tema de ondas. Por ejemplo, uno de los tópicos que presentan mayor dificultad es la interpretación (tanto en el aprendizaje conceptual como a la hora de hacer cálculos) es la relación entre intensidad de las ondas sonoras y su sonoridad (o intensidad percibida en decibelios). En este último aspecto se observa entre los estudiantes una dificultad considerable para entender las relaciones matemáticas que gobiernan las escalas de tipo logarítmico. No obstante, se observa una mejora, pues si bien al comenzar la unidad y tras las primeras explicaciones ningún alumno fue capaz de aplicar los modelos científicos, al finalizar la experiencia encontramos que la mitad de los participantes parecía entender mejor este tema y una cuarta parte de la clase ha sido capaz de realizar los cálculos necesarios para resolver problemas en los que se usa la ecuación logarítmica que modela estos fenómenos físicos.

Las dificultades de aprendizaje que se aparecían tras los procesos de enseñanza en el tema de ondas se han constatado en otras innovaciones metodológicas anteriores (Llinás et al., 2003; Osuna García, 2007; Bostan Sarioglan, 2016; Ekomaye, 2019). Pero hay que considerar que los datos de las respuestas de los estudiantes a las preguntas planteadas a lo largo del estudio E2 se han recogido en momentos inmediatamente posteriores a la exposición de los modelos científicos en clase, de modo que los estudiantes no han tenido todavía la oportunidad de estudiar a fondo estos contenidos y, por tanto, es normal que presenten dudas y cometan errores propios de todo proceso de aprendizaje.

Por último, en el tercer estudio (E3) se han evaluado los conocimientos de tipo teórico y práctico adquiridos por los estudiantes, durante el proceso de instrucción realizado en la fase anterior, recogiendo sus opiniones sobre dicho proceso. Sobre esta temática hay que distinguir los sub-estudios E3.1 y E3.2, en los que se ha evaluado el

nivel de aprendizaje de contenidos teóricos y prácticos, del sub-estudio E3.3 sobre las opiniones del alumnado tras la experiencia.

Al hacer un balance final de los datos procedentes de las tres pruebas que integran el examen de contenidos teóricos (C4.P1), podemos considerar que los resultados son globalmente positivos y que los participantes han experimentado un grado apreciable de cambio conceptual, tras el proceso de formación realizado en la experiencia educativa desarrollada con ayuda del SRI. Al analizar los datos obtenidos en la prueba de ejercicios y problemas (C4.P2) también observamos resultados bastante positivos en las preguntas de opción múltiple y unos resultados más moderados en los problemas abiertos. Por tanto, los resultados globales de los Estudios 3.1 y 3.2 indican que la experiencia ha sido positiva para mejorar la calidad del aprendizaje sobre ondas.

En lo que respecta al sub-estudio E3.3 hay que resaltar que se aprecian opiniones bastante positivas de los alumnos respecto de la metodología de enseñanza. En efecto, más de cuatro quintas partes de los participantes consideran que la herramienta TIC utilizada (Sistema de Respuesta Inmediata) ayuda a mejorar la participación del alumnado, la amenidad de las clases y la atención durante el proceso de aprendizaje de los conceptos. Una cantidad inferior de alumnos, pero aún con valores cercanos a dos terceras partes están de acuerdo con que la metodología ha contribuido positivamente al aprendizaje de los contenidos del tema de ondas o a la forma en la que se enfrentan a los exámenes. Al analizar la temporización del proceso formativo completo, desde el inicio a su finalización, se observa que en los momentos de debate y discusión de las cuestiones conceptuales es cuando se produce un aprendizaje más significativo por parte de los alumnos, como se ha indicado en otros estudios anteriores (Hake, 1998; Crouch y Mazur, 2001; Sharma et al., 2005; Beatty et al., 2006; DeBourgh, 2008) . Por tanto, a partir de los resultados obtenidos en esta investigación podemos concluir que las metodologías interactivas ayudan a mejorar la participación, la motivación, la atención y el aprendizaje de los alumnos (Patry, 2009; Gray y Steer, 2012; Barragués, Morais, Juncal Manterola y Guisasola, 2013) .

7.6 Limitaciones de la investigación y futuras vías de trabajo

Una de las limitaciones que han ido apareciendo durante el transcurso de esta investigación se deriva del cambio producido en la tecnología y en la accesibilidad a la misma ocurrido en los últimos años. Debido a que cuando se inició la transición hacia la metodología interactiva presentada en este trabajo los teléfonos móviles táctiles y

con funciones de red no eran un dispositivo generalizado, tal como lo son en el tiempo presente (López-Quintero, Pontes y Varo-Martínez, 2019) . Por este motivo fue necesario introducir un dispositivo externo como los Sistemas de Respuesta Inmediata. Actualmente son muchos los docentes que usan metodologías similares haciendo uso de los teléfonos móviles de los alumnos. Algunos con tecnologías locales dependientes de una red común en el aula y otras integradas en la nube como puede ser *Kahoot!* (Asa'd y Gunn, 2018; Wang y Tahir, 2020). Este último servicio no solo permite a cada alumno usar su propio teléfono sino que también permite la conexión entre docentes así como compartir y reutilizar cuestionarios. Si bien, esto no se considera como un tema esencial de la metodología, ya que el valor pedagógico de la misma surge principalmente de la elaboración de cuestiones conceptuales que potencian el aprendizaje, lo cual permite a los alumnos reflexionar en el aula y aplicar distintos conceptos (Beatty, 2004; Smith et al., 2005; Pollock et al., 2010). También es importante el tiempo de clase destinado a la discusión y el debate de los contenidos que presentan mayor dificultad (Hake, 1998; Beatty, 2004; Miller, Schell, Ho, Lukoff y Mazur, 2015). Es por eso, que se considera necesario seguir investigando en cómo elaborar tales cuestionarios y materiales didácticos que fomenten el aprendizaje reflexivo e interactivo o en cómo diseñar propuestas metodológicas que permitan dedicar tiempo de clase destinado a compartir y debatir el conocimiento, tanto en el tema de ondas como en otros temas del programa de física general. Ambos aspectos se consideran independientes del recurso digital utilizado. Por otra parte, la investigación no ha contemplado el efecto a largo plazo del aprendizaje de los alumnos, que debe considerarse también como parte del proceso educativo.

Por otra parte, en esta investigación se han abordado múltiples aspectos de la física ondulatoria, durante un proceso desarrollado en varios años y en distintas etapas o fases diferentes. Aunque esto ofrece una visión global, los instrumentos de recogida no permiten hacer un estudio detallado de las posibles relaciones entre las respuestas de los alumnos a las múltiples cuestiones planteadas en las tres fases del proyecto, ya que no se trataba de los mismos estudiantes (excepto en los estudios E2 y E3). Por ello pensamos que en el futuro se podría repetir la experiencia en el tema de ondas, trabajando con el mismo grupo de participantes en las tres fases del proyecto, lo cual permitiría establecer con detalle los patrones de pensamiento sobre modelos mentales encontrados al disponerse de más ítems que permitirían cubrir conceptos similares o relacionados, pero presentados en diferentes contextos. Otra posibilidad sería centrar el estudio en alguno de los tópicos concretos de la unidad de Física ondulatoria — como puede ser ondas sonoras o electromagnéticas— para poder profundizar más en

le coherencia de los modelos mentales del alumnado sobre cada tópico investigado y en la evolución de los mismos a través del proceso de enseñanza-aprendizaje.

También hay que señalar, como posible limitación, el propio diseño del método de trabajo empleado, tanto en el proceso educativo como en el desarrollo de la investigación didáctica. Ya que ambos métodos se han desarrollado e introducido por primera vez como parte del cambio realizado en las asignaturas de introducción a la física en los estudios de ingeniería. Por tales motivos los resultados de este proyecto, que proceden de una investigación de carácter descriptivo, no pueden tomarse como concluyentes o definitivos, ya que deben considerarse como una fotografía de los procesos de enseñanza y aprendizaje que ocurren en contextos reales, donde muchos de los instrumentos de recogida de información se han elaborado durante el transcurso de la investigación (como ocurre con los estudios E2 y E3). También hemos apreciado que la metodología docente presenta algunas deficiencias que deberían ser objeto de revisión y mejora. Por tales motivos, y a pesar de que muchos de los datos recogidos en las tres fases de este proyecto (E1, E2 y E3) son coherentes con otros estudios, como se ha indicado en apartados anteriores, éstos resultados no se pueden generalizar y es preciso seguir profundizando en esta línea de investigación, tratando de ampliar el tema de estudio y, sobre todo, tratando de mejorar los materiales didácticos, la metodología docente, los instrumentos de investigación y los métodos de análisis de resultados.

8 Referencias

- Aliberas, J., Gutierrez, R. & Izquierdo Aymerich, M. (1989). Modelos de aprendizaje en la didáctica de las ciencias. *Revista Investigación en la Escuela*, 9, 17-24.
- Alonso, M., Gil, D & Martínez-Torregrosa, J. (1996). Evaluar no es calificar. La evaluación y la calificación en una enseñanza constructiva de las ciencias. *Revista Investigación en la Escuela*, 30, 15-26.
- Ambrose, B. S., Heron, P. R., Vokos, S. & McDermott, L. C. (1999b). Student understanding of light as an electromagnetic wave: Relating the formalism to physical phenomena. *American Journal of Physics*, 67(10), 891-898.
- Ambrose, B. S., Shaffer, P. S., Steinberg, R. N. & McDermott, L. C. (1999a). An investigation of student understanding of single-slit diffraction and double-slit interference. *American journal of physics*, 67(2), 146-155.
- Anderson, O. R. (1992). Some interrelationships between constructivist models of learning and current neurobiological theory, with implications for science education. *Journal of research in science teaching*, 29(10), 1037-1058.
- Arandia Aldalur, E., Zuza Elozegi, K. & Guisasola Aranzabal, J. (2016). Actitudes y motivaciones de los estudiantes de ciencias en Bachillerato y Universidad hacia el aprendizaje de la Física. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(3), 558-573.
- Asa'd, R. & Gunn, C. (2018). Improving problem solving skills in introductory physics using Kahoot!. *Physics Education*, 53(5), 053001.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., Hanesian, H. & others (1976). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo* (Vol. 3). México: Trillas.
- Aykutlu, I., Bezen, S. & Bayrak, C. (2021). Pre-service teachers' conceptual understanding of the standing wave concept. *Turkish Journal of Education*, 10(1), 1-22.
- Bao, L. & Redish, E. F. (2006). Model analysis: Representing and assessing the dynamics of student learning. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 2, 010103.
- Bardar, E. M., Prather, E. E., Brecher, K. & Slater, T. F. (2006). Development and Validation of the Light and Spectroscopy Concept Inventory. *Astronomy Education Review*, 5(2), 103-113.
- Barniol, P. & Zavala, G. (2016). The mechanical waves conceptual survey: An analysis of university students' performance, and recommendations for instruction. *EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 13(3), 929-952.

- Barragués, J. I., Morais, A., Juncal Manterola, M. & Guisasola, J. (2013). Una propuesta de uso de un Classroom Response System (CRS) para promover clases interactivas de Cálculo en la universidad. *Educación Matemática*, 25(1), 63-109.
- Bascones, J. (1989). Instrucción para la transición cognoscitiva: el caso de física. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 7(2), 120-125.
- Beatty, I. D. (2004). Transforming student learning with classroom communication systems. *Educause*, 2004(3), 1-13.
- Beatty, I. D., Gerace, W. J., Leonard, W. J. & Dufresne, R. J. (2006). Designing Effective Questions for Classroom Response System Teaching. *American Journal of Physics*, 74(1), 31-39.
- Beléndez, A., Pascual, I. & Rosado, L. (1989). La enseñanza de los modelos sobre la naturaleza de la luz. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 7(3), 271-275.
- Berry, J. (2009). Technology support in nursing education: clickers in the classroom. *Nursing Education Perspectives*, 30(5), 295-298.
- Bezen, S. & Bayrak, C. (2020). Teaching Mechanical Waves By Inquiry-Based Learning. *Journal of Baltic Science Education*, 19(6), 875.
- Bhathal, R., Sharma, M. D. & Mendez, A. (2009). Educational analysis of a first year engineering physics experiment on standing waves: based on the ACELL approach. *European journal of physics*, 31(1), 23.
- Bisquerra, R. & Alzina, R. B. (2004). *Metodología de la investigación educativa* (Vol. 1). Madrid: Editorial La Muralla.
- Bostan Sarioglan, A. (2016). Conceptual Level of Understanding about Sound Concept: Sample of Fifth Grade Students. *E-International Journal of Educational Research*, 7(1), 87-97.
- Bouciguez, M. J. & Santos, G. (2010). Applets en la enseñanza de la física: un análisis de las características tecnológicas y disciplinares. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(1), 56-74.
- Bozzo, G., de Sabata, F., Pistori, S. & Monti, F. (2019). Imaging and studying standing waves with a homemade Melde-type apparatus and information and communication technology (ICT). *The Physics Teacher*, 57(9), 612-615.
- Bravo, S. & Pesa, M. A. (). 2015 (Ed.). Diseño de una propuesta didáctica para el aprendizaje significativo de los conceptos de interferencia y difracción en el laboratorio de física. En *Diseño de una propuesta didáctica para el aprendizaje significativo de los conceptos de interferencia y difracción en el laboratorio de*

- física* (pp. 511-526). España: Universidad de Burgos, Servicio de Publicaciones e Imagen Institucional.
- Brody, J., Villhauer, E. & Espiritu, H. (2014). Standing waves between a microwave transmitter and receiver. *American Journal of Physics*, 82(12), 1157-1160.
- Bunce, D. M., Flens, E. A. & Neiles, K. Y. (2010). How Long Can Students Pay Attention in Class? A Study of Student Attention Decline Using Clickers. *Journal of Chemical Education*, 87(12), 1438-1443.
- Caldwell, J. E. (2007). Clickers in the large classroom: Current research and best-practice tips. *CBE-Life sciences education*, 6(1), 9-20.
- Caleon, I. & Subramaniam, R. (2010). Development and application of a three-tier diagnostic test to assess secondary students' understanding of waves. *International journal of science education*, 32(7), 939-961.
- Caleon, I. & Subramaniam, R. (2013). Addressing students' alternative conceptions on the propagation of periodic waves using a refutational text. *Physics Education*, 48(5), 657.
- Casellas, O. & Guitart, F. (2011). Simulaciones: herramientas para la enseñanza y el aprendizaje en Física y Química. En CAAMAÑO, A. (Coord). Física y Química. *Investigación, innovación y buenas prácticas*. Barcelona: Graó
- Chafer, E. (2009). Una introducción a los sistemas de respuesta interactiva, Electrónica y Comunicaciones. Monográfico TICs en las aulas. Elementos Didácticos para la enseñanza, 242, 56-57. Ed. Cypsela., .
- Chen, J. C., Whittinghill, D. C. & Kadlowec, J. A. (2010). Classes that click: Fast, rich feedback to enhance student learning and satisfaction. *Journal of Engineering Education*, 99(2), 159-168.
- Coetzee, A. & Imenda, S. (2012). Alternative conceptions held by first year physics students at a South African university of technology concerning interference and diffraction of waves. *Research in Higher Education Journal*, 16, 1.
- Córdova, R.S. 2011. *La enseñanza de la física mediante un aprendizaje significativo y cooperativo en Blended Learning*. Tesis doctoral. Universidad de Burgos, España.
- Cortright, R. N., Collins, H. L. & DiCarlo, S. E. (2005). Peer instruction enhanced meaningful learning: ability to solve novel problems. *Advances in Physiology Education*, 29(2), 107-111.
- Crahay, M. & Gardini, C. (2002). *Psicología de la educación*. México: Ed. Andrés Bello.
- Crockett, A. & Rueckner, W. (2018). Visualizing sound waves with schlieren optics. *American Journal of Physics*, 86(11), 870-876.

- Crossgrove, K. & Curran, K. L. (2008). Using clickers in nonmajors- and majors-level biology courses: Student opinion, learning, and long-term retention of course material. *CBE–Life Sciences Education*, 7, 146-154.
- Crouch, C. H. & Mazur, E. (2001). Peer Instruction: Ten years of experience and results. *American Journal of Physics*, 69(9), 970-977.
- Davis, M. (2007). Guitar strings as standing waves: A demonstration. *Journal of Chemical Education*, 84(8), 1287.
- De Jong, T. & Van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of educational research*, 68(2), 179-201.
- DeBourgh, G. A. (2008). Use of classroom "clickers" to promote acquisition of advanced reasoning skills. *Nurse Education in Practice*, 8(2), 76-87.
- Dias, M. A., Carvalho, P. S. & Ventura, D. R. (2016). How to study the Doppler effect with Audacity software. *Physics Education*, 51(3), 035002.
- Dillon, J. (2008). Discussion, debate and dialog: changing minds about conceptual change research in science education. *Cultural studies of science education*, 3(2), 397-416.
- Driver, R. (1988). Theory into practice II: A constructivist approach to curriculum development. *Development and dilemmas in science education*, 23, 133-149.
- Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of science. *International journal of science education*, 11(5), 481-490.
- Driver, R. & Oldham, V. (1986). A Constructivist Approach to Curriculum Development in Science. *Studies in Science Education*, 13(1), 105-122.
- Drosd, R., Minkin, L. & Shapovalov, A. S. (2014). Interference and the Law of Energy Conservation. *The Physics Teacher*, 52(7), 428-430.
- Dufresne, R. J., Gerace, W. J., Leonard, W. J., Mestre, J. P. & Wenk, L. (1996). Classtalk: A classroom communication system for active learning. *Journal of Computing in Higher Education*, 7(2), 3-47.
- Duit, R. (1993). Research on students' conceptions. *Developments and trends. III International Seminar of Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematica*. Ithaca: Cornell University
- Duit, R. (1996). The constructivist view in science education - what it has to offer and what should not be expected. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(1), 40-75.
- Duit, R. (2007). Science education research internationally: Conceptions, research methods, domains of research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 3(1), 3-15.

- Duschl, R. A. (1995). Más allá del conocimiento: los desafíos epistemológicos y sociales de la enseñanza mediante el cambio conceptual. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 13(1), 3-14.
- Duschl, R. A. & Grandy, R. (2013). Two views about explicitly teaching nature of science. *Science & Education*, 22(9), 2109-2139.
- Edelson, D. C., Gordin, D. N. & Pea, R. D. (1999). Addressing the challenges of inquiry-based learning through technology and curriculum design. *Journal of the learning sciences*, 8(3-4), 391-450.
- Ekomaye, D. G. (2019). Effect of Guided Inquiry Teaching Method on Secondary School Students' Achievement in Light and Sound Waves in Abuja, Nigeria. *Journal of Education and e-Learning Research*, 6(2), 82-87.
- Eshach, H., Lin, T.-C. & Tsai, C.-C. (2018). Misconception of sound and conceptual change: A cross-sectional study on students' materialistic thinking of sound. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(5), 664-684.
- Esquembre Martínez, F., Martín, E., Christian, W. & Belloni, M. (2004). *Fislets: Enseñanza de la Física con Material Interactivo*. Madrid: Pearson - Prentice Hall.
- Fazio, C., Guastella, I. & Tarantino, G. (2009). A problem-based approach to elastic wave propagation: the role of constraints. *European journal of physics*, 30(6), 1295.
- Feher, E. (1986). Conceptions of Light and Vision: From the Naive to the Expert., .
- Feher, E. (1990). Interactive museum exhibits as tools for learning: Explorations with light. *International Journal of Science Education*, 12(1), 35-49.
- Feher, E. & Meyer, K. R. (1992). Children's conceptions of color. *Journal of research in Science Teaching*, 29(5), 505-520.
- Feher, E. & Rice, K. (1988). Shadows and anti-images: Children's conceptions of light and vision. II. *Science Education*, 72(5), 637-649.
- Fensham, P. J. (2001). Science content as problematic-Issues for Research. En *Research in science education-Past, present, and future* (pp. 27-41). Springer.
- Ferreyra, A. & González, E. M. (2000). Reflexiones sobre la enseñanza de la física universitaria. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 18(2), 189-199.
- Fetherstonhaugh, T. & Treagust, D. F. (1992). Students' understanding of light and its properties: Teaching to engender conceptual change. *Science education*, 76(6), 653-672.
- Francés, J., Bleda, S., Martínez Guardiola, F. J., Fernandez, R., Calzado Estepa, E. M. & Vera Guarinos, J. (2018). *Aplicación de nuevas metodologías y herramientas*

- multimedia en la docencia de Acústica: clase invertida y laboratorio virtual*. Barcelona: Octaedro.
- Fry, H., Ketteridge, S. & Marshall, S. (2008). *A handbook for teaching and learning in higher education: Enhancing academic practice (3ª Ed.)* Londres: Taylor & Francis Group
- Garritz, A. (2010). Indagación: Las habilidades para desarrollarla y promover el aprendizaje. *Educación Química*, 21(2), 106-110.
- Gauci, S. a., Dantas, A. M., Williams, D. a. & Kemm, R. E. (2009). Promoting student-centered active learning in lectures with a personal response system. *Advances in physiology education*, 33(1), 60-71.
- Gavidia-Catalán, V. (2008). Las actitudes en la educación científica. *Didáctica de las Ciencias Sociales y Experimentales*, 22(1), 53-66.
- Giere, R. N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of science*, 71(5), 742-752.
- Gilbert, J., Osborne, R. & Fenshan, P. (1982). Children's ideas and its consequences for teaching. *Science Education*, 66(4), 623-633.
- Gil-Pérez, D., Carrascosa, J., Furió, C. & Martínez, J. (1991). *La Enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria*. Barcelona: ICE de la Universidad de Barcelona.
- Giorgi, S. M., Marino, L. A., Carreri, R. A. & Cámara, C. N. (2019). Dificultades en estudiantes universitarios acerca de las conceptualizaciones de los parámetros básicos en la ecuación de ondas mecánicas y sus tratamientos en libros de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 36(3), 630-659.
- Giuliodori, M. J., Lujan, H. L. & DiCarlo, S. E. (2006). Peer instruction enhanced student performance on qualitative problem-solving questions. *Advances in physiology education*, 30(4), 168-173.
- Gong, Y. 2017. *How model can help inquiry—A qualitative study of model based inquiry learning (mobile) in engineering education*. Tesis doctoral. Purdue University, Indiana.
- Goodhew, L. M., Robertson, A. D., Heron, P. R. & Scherr, R. E. (2019). Student conceptual resources for understanding mechanical wave propagation. *Physical Review Physics Education Research*, 15(2), 020127.
- Gray, K. & Steer, D. N. (2012). Personal Response Systems and Learning: It is the Pedagogy That Matters, Not the Technology. *Journal of College Science Teaching*, 41(5), 80-88.

- Greer, L. & Heaney, P. J. (2004). Real-time analysis of student comprehension: An assessment of electronic student response technology in an introductory Earth Science course, *Journal of Geoscience Education*, 52(4), 345-351.
- Guimarães, N. C., Takeco, S., J Affonseca, M. I., Azevedo, H. & Machado, S. (2013). Modelos mentais e representações utilizadas por estudantes do ensino médio para explicar ondas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), 440-457.
- Guisasola, J., Ceberio, M., Almudí, J. M. & Zubimendi, J. L. (2011). La resolución de problemas basada en el desarrollo de investigaciones guiadas en cursos introductorios de física universitaria. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 29(3), 439-452.
- Guisasola, J., Garmendia, M., Montero, A. & Barragués, J. I. (2012). Una propuesta de utilización de los resultados de la investigación didáctica en la enseñanza de la física. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 30(1), 0061-72.
- Guisasola, J., Zubimendi, J. L., Almudí, J. M. & Ceberio, M. (2008). Dificultades persistentes en el aprendizaje de la Electricidad; Estrategias de razonamiento de los estudiantes al explicar fenómenos de carga eléctrica. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 26(2), 177-192.
- Gunstone, R., Mulhall, P. & McKittrick, B. (2009). Physics teachers' perceptions of the difficulty of teaching electricity. *Research in Science education*, 39(4), 515-538.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.
- Halloun, I. A. & Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53(11), 1043-1048.
- Hennessy, S. et al. (1995). Design of a computer-augmented curriculum for mechanics. *International Journal of Science Education*, 17(1), 75-92.
- Henriksen, E. K., Angell, C., Vistnes, A. I. & Bungum, B. (2018). What is light?. *Science & Education*, 27(1), 81-111.
- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American journal of physics*, 55(5), 440-454.
- Hestenes, D., Wells, M. & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158.
- Hodges, L. C., Anderson, E. C., Carpenter, T. S., Cui, L., Feeser, E. A. & Gierasch, T. M. (2017). Using clickers for deliberate practice in five large science courses. *Journal of College Science Teaching*, 47(2), 22-28.

- Hoekstra, A. (2008). Vibrant student voices: exploring effects of the use of clickers in large college courses. *Learning, Media and Technology*, 33(4), 329-341.
- Hrepic, Z., Zollman, D. A. & Rebello, N. S. (2010). Identifying students' mental models of sound propagation: The role of conceptual blending in understanding conceptual change. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Physical Review Physic Education Research*, 6, 020114.
- Hrepic, Z., Zollman, D. & Rebello, S. (2003). *Students' mental models of sound propagation: Implications for a theory of conceptual change*. Kansas: Physics Department of Kansas State University.
- Hwang, G.-J. & Chang, H.-F. (2011). A formative assessment-based mobile learning approach to improving the learning attitudes and achievements of students. *Computers & Education*, 56(4), 1023-1031.
- Jaafar, R., Daud, A. N. M. & Yusof, M. R. M. (2019). Visualizing the superposition principle of sound waves in both-closed-end resonance tube. *Physics Education*, 54(2), 025004.
- Jiménez, F. N. & Beleño, L. (2017). Integración de las TIC en el curso de ondas y partículas de la Universidad Autónoma de Bucaramanga. *Scientia et technica*, 22(1), 95-101.
- Jiménez-Tenorio, N. & Oliva, J. M. (2016). Aproximación al estudio de las estrategias didácticas en ciencias experimentales en formación inicial del profesorado de Educación Secundaria: descripción de una experiencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 121-136.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 24(2), 173-184.
- Kaltakci-Gurel, D., Eryilmaz, A. & McDermott, L. C. (2017). Development and application of a four-tier test to assess pre-service physics teachers' misconceptions about geometrical optics. *ReseaRch in science & Technological educaTion*, 35(2), 238-260.
- Kearney, M. (2004). Classroom use of multimedia-supported predict-observe-explain tasks in a social constructivist learning environment. *Research in science education*, 34(4), 427-453.
- Kennedy, E. M. & de Bruyn, J. R. (2011). Understanding of mechanical waves among second-year physics majors. *Canadian Journal of Physics*, 89(11), 1155-1161.
- Knight, J. K. & Wood, W. B. (2005). Teaching more by lecturing less. *Cell Biology Education*, 4(4), 298-310.

- Krulj, I. & Nešić, L. (2019). Convenient reflective diffraction gratings in physics teaching. *Physics Education*, 54(2), 025015.
- Lai, Y.-S. & Hsu, J.-M. (2011). Development trend analysis of augmented reality system in educational applications. En *2011 International Conference on Electrical and Control Engineering* (pp. 6527-6531). New Jersey: IEEE.
- Lasry, N., Rosenfield, S., Dedic, H., Dahan, A. & Reshef, O. (2011). The puzzling reliability of the Force Concept Inventory. *American Journal of Physics*, 79(9), 909-912.
- Leccia, S., Colantonio, A., Puddu, E., Galano, S. & Testa, I. (2015). Teaching about mechanical waves and sound with a tuning fork and the Sun. *Physics Education*, 50(6), 677.
- León, O. G. & Montero, I. (2015). *Métodos de investigación en psicología y educación*. Madrid: McGraw-Hill.
- Linder, C. J. (1992). Understanding sound: so what is the problem?. *Physics Education*, 27(5), 258.
- Linder, C. J. (1993). University physics students' conceptualizations of factors affecting the speed of sound propagation. *International Journal of Science Education*, 15(6), 655-662.
- Linder, C. J. & Erickson, G. L. (1989). A study of tertiary physics students' conceptualizations of sound. *International Journal of Science Education*, 11(5), 491-501.
- Linn, M. C., Pea, R. D., Songer, N. B. & others (1994). Can research on science learning and instruction inform standards for science education?. *Journal of Science Education and Technology*, 3(1), 7-15.
- Llinás, G. J., López, S. M., Rodríguez, P. A. & Macias, S. F. (2003). Preconcepciones en óptica: su persistencia en niveles universitarios. *Journal of Science Education*, 4(1), 17.
- López Simó, V., Grimalt-álvaro, C. & Couso, D. (2018). ¿Cómo ayuda la Pizarra Digital Interactiva (PDI) a la hora de promover prácticas de indagación y modelización en el aula de ciencias?. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 3302-1-3302-15.
- López-Quintero, J. L., Pontes, A. & Varo-Martínez, M. (2017a). Elaboración de un cuestionario para la detección de concepciones alternativas mediante Sistemas de Respuesta Inmediata. En *EDUNOVATIC 2017: 2nd Virtual International Conference on Education, Innovation and ICT* (pp. 250-257). Madrid: Adaya Press.

- López-Quintero, J. L., Pontes, A. & Varo-Martínez, M. (2018b). Classroom Response System as wave physics misconceptions gathering tool. En *GIREP-MPTL 2018 Research and Innovation in Physics education: two sides of the same coin*.
- López-Quintero, J. L., Pontes, A. & Varo-Martínez, M. (2019). Las TIC en la enseñanza científico-técnica hispanoamericana: Una revisión bibliográfica. *Digital Education Review*, 35, 229-243.
- López-Quintero, J. L., Pontes, A. & Varo-Martínez, M. (2021). Estudio cualitativo mediante cuestiones abiertas para la exploración de modelos alternativos de física de ondas en estudiantes de ingeniería. En *29 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 625-631). Córdoba: UCO-APICE.
- López-Quintero, J. L., Varo-Martínez, M., Laguna-Luna, A. M. & Pontes, A. (2016). Opinions on “Classroom Response System” by first-year engineering students. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 228, 183-189.
- López-Quintero, J. L., Varo-Martínez, M. & Pontes, A. (2017b). Uso de Sistemas de Respuesta Inmediata para mejorar el aprendizaje de conceptos de termodinámica en la universidad. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 35(Nº Extra), 1697-1702.
- López-Quintero, J. L., Varo-Martínez, M. & Pontes, A. (2018a). La exploración de conocimientos previos de los estudiantes en la enseñanza científico-técnica universitaria mediante recursos TIC interactivos. En *Transforming education for a changing world* (pp. 96-105). Madrid: Adaya Press.
- Martinez-Borreguero, G., Pérez-Rodríguez, á. L., Suero-López, M. I. & Pardo-Fernández, P. J. (2013). Detection of misconceptions about colour and an experimentally tested proposal to combat them. *International Journal of Science Education*, 35(8), 1299-1324.
- Maulidah, S. S. & Prima, E. C. (2018). Using Physics Education Technology as Virtual Laboratory in Learning Waves and Sounds. *Journal of Science Learning*, 1(3), 116-121.
- Maurines, L. (1992). Spontaneous reasoning on the propagation of visible mechanical signals. *International Journal of Science Education*, 14(3), 279-293.
- Maurines, L. (2010). Geometrical Reasoning in Wave Situations: The case of light diffraction and coherent illumination optical imaging. *International Journal of Science Education*, 32(14), 1895-1926.
- Mayer, R. E. et al. (2009). Clickers in college classrooms: Fostering learning with questioning methods in large lecture classes. *Contemporary Educational Psychology*, 34(1), 51-57.
- Mazur, E. (1997). *Peer instruction: a user's manual*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.

- McDermott, L. C. (1984). Research on conceptual understanding in mechanics. *Physics Today*, 37(7), 24-32.
- McDermott, L. C. (1991). Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned —Closing the gap. *American journal of physics*, 59(4), 301-315.
- Mešic, V., Hajder, E., Neumann, K. & Erceg, N. (2016). Comparing different approaches to visualizing light waves: An experimental study on teaching wave optics. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 010135.
- Miller, K. A., Schell, J., Ho, A., Lukoff, B. & Mazur, E. (2015). Response switching and self-efficacy in Peer Instruction classrooms. *Physical Review Special Topics*, 11(1), 1-8.
- Mohapatra, J. (1988). Induced in incorrect generalizations leading to misconceptions —an exploratory investigation about the laws of reflection of light. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(9), 777-784.
- Monk, M. (1991). Genetic epistemological notes on recent research into children's understanding of light. *International Journal of Science Education*, 13(3), 255-270.
- Morais, A., Barragués, J. I. & Guisasola, J. (2015). Using a classroom response system for promoting interaction to teaching mathematics to large groups of undergraduate students. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 34(3), 249-271.
- Moreno, F. (2013). El trabajo conjunto del profesor de física y el de matemáticas. Una aplicación al estudio del movimiento ondulatorio y del sonido. *Revista épsilon*, 30(83), 35-48.
- Mosabala, M. (2014). The Teaching of Doppler Effect at Grade 12-Teacher's Content Knowledge. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 5(14), 207-207.
- Mzoughi, T., Herring, S. D., Foley, J. T., Morris, M. J. & Gilbert, P. J. (2007). WebTOP: A 3D interactive system for teaching and learning optics. *Computers & Education*, 49(1), 110-129.
- Nájera, A., Villalba, J. M. & Arribas, E. (2010). Student peer evaluation using a remote response system. *Medical education*, 44(11), 1146-1146.
- Ndihokubwayo, K., Uwamahoro, J., Ndayambaje, I. & Ralph, M. (2020). Light phenomena conceptual assessment: an inventory tool for teachers. *Physics Education*, 55(3), 035009.
- Neumann, S. (2014). Three Misconceptions About Radiation — And What We Teachers Can Do to Confront Them. *The Physics Teacher*, 52, 357-359.

- Novak, J. D. (1991). Ayudar a los alumnos a aprender cómo aprender. La opinión de un profesor-investigador. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 9(3), 215-228.
- Novak, J. D. (2002). Meaningful learning: The essential factor for conceptual change in limited or inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. *Science education*, 86(4), 548-571.
- Oliva, J. M. (1996). Estudios sobre consistencia en las ideas de los alumnos en ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 14(1), 87-92.
- Oliva, J. M. (2008). Qué conocimientos profesionales deberíamos tener los profesores de ciencias sobre el uso de analogías. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(1), 15-28.
- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 37(2), 5-24.
- Olivieri, G., Torosantucci, G. & Vicentini, M. (1988). Coloured shadows. *International Journal of Science Education*, 10(5), 561-569.
- Onodipe, G. & Ayadi, M. F. (2020). Using smartphones for formative assessment in the flipped classroom. *Journal of Instructional Pedagogies*, 23, 1-20.
- Oñorbe, A. (2014). El uso de las TICs en el aula. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 76, 5--7
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196.
- Osborne, J., Simon, S. & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International journal of science education*, 25(9), 1049-1079.
- Osborne, J. F. (1996). Beyond constructivism. *Science education*, 80(1), 53-82.
- Osborne, J. F., Black, P., Meadows, J. & Smith, M. (1993). Young children's (7-11) ideas about light and their development. *International Journal of Science Education*, 15(1), 83-93.
- Osuna García, L. 2007. *Planificación, puesta en práctica y evaluación de la enseñanza problematizada sobre la luz y la visión en la educación secundaria obligatoria*. Tesis Doctoral. Universitat de València, España.
- Patry, M. (2009). Clickers in large classes: From student perceptions towards an understanding of best practices. *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 3(2), 1-11.

- Pavón, F. & Martínez, M. M. (2014). La metodología de resolución de problemas como investigación (MRPI): una propuesta indagativa para desarrollar la competencia científica en alumnos que cursan un programa de diversificación. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 32(3), 0469-492.
- Pedros, G., Pontes, A. & y Blanca, A. (2005). *Actividades para el aprendizaje de la Física (III): Oscilaciones y Ondas*. Córdoba: EPSC.
- Pejuan, A., Bohigas, X., Jaén, X. & Periago, C. (2011). Misconceptions About Sound Among Engineering Students. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 669-685.
- Perales, F. (1994). Los trabajos prácticos y la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 12(1), 122-125.
- Perales, F. J. (1987). Análisis de contenidos en óptica geométrica. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 5(3), 211-219.
- Perales, F. J. (1997). Escuchando el sonido: concepciones sobre acústica en alumnos de distintos niveles educativos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 15(2), 233-247.
- Perales, F. J., Nievas, F. & Cervantes, A. (1989). Misconceptions on geometric optics and their association with relevant educational variables. *International Journal of Science Education*, 11(3), 273-286.
- Perez, K. E., Strauss, E. A., Downey, N., Galbraith, A., Jeanne, R. & Cooper, S. (2010). Does displaying the class results affect student discussion during peer instruction?. *CBE life sciences education*, 9(2), 133-140.
- Pérez-Carmona, M. d. C., Tanuré, B. & Esper, B. L. (2015). Metodología Alternativa para la Comprensión en el tema Movimiento Ondulatorio. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27(2), 209-217.
- Perkins, K. K. & Turpen, C. (2009). Student perspectives on using clickers in upper-division physics courses. En *AIP Conference Proceedings*, 1179, 225-228.
- Podolefsky, N. S. & Finkelstein, N. D. (2007). Analogical scaffolding and the learning of abstract ideas in physics: An example from electromagnetic waves. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 3, 010109.
- Podolefsky, N. S., Perkins, K. K. & Adams, W. K. (2010). Factors promoting engaged exploration with computer simulations. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 6(2), 020117.
- Pollock, S. J., Chasteen, S. V., Dubson, M. & Perkins, K. K. (2010). The use of concept tests and peer instruction in upper-division physics. En *AIP Conference Proceedings*, 1289, 261-264

- Pontes, A. (2005). Aplicaciones de las tecnologías de la información y de la comunicación en la educación científica. Segunda parte: aspectos metodológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(3), 330-343.
- Pontes, A. (2017). Utilidad de las simulaciones interactivas para comprender el modelo de corriente eléctrica. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 35(Nº Extra), 4371-4378.
- Pontes, A. (2018). *Bases para el desarrollo de trabajos de innovación e investigación educativa en ciencia y tecnología*. Colección de Materiales Docentes para la Formación Inicial del Profesorado de Enseñanza Secundaria: Universidad de Córdoba.
- Pontes, A. & de Pro, A. (2001). Concepciones y razonamientos de expertos y aprendices sobre electrocinética: consecuencias para la enseñanza y la formación de profesores. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 19(1), 103-121.
- Pontes, A., Varo-Martínez, M. & López-Quintero, J. L. (2017). Innovación educativa con CmapTools en la formación inicial del profesorado de tecnología de enseñanza secundaria. En *Conference Proceedings EDUNOVATIC 2017: 2nd Virtual International Conference on Education, Innovation and ICT* (pp. 258-263). Madrid: Adaya Press.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., Gertzog, W. A. & others (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science education*, 66(2), 211-227.
- Poulis, J., Massen, C., Robens, E. & Gilbert, M. (1998). Physics lecturing with audience paced feedback. *American Journal of Physics*, 66(5), 439-441.
- Pozo, J. I. & Gómez Crespo, M. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- Prather, E. E., Brissenden, G., Tipo, T. & Klein, C. (2009a). Clickers as Data Gathering Tools and Students' Attitudes, Motivations, and Beliefs on Their Use in this Application. *Astronomy Education Review*, 8(1), 010103-1.
- Prather, E. E., Rudolph, A. L., Brissenden, G. & Schlingman, W. M. (2009b). A national study assessing the teaching and learning of introductory astronomy. Part I. The effect of interactive instruction. *American Journal of Physics*, 77(4), 320-330.
- de Pro, A. & Saura, O. (2003). El estudio de las ondas mecánicas visibles en la ESO. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 35, 29-41.

- Rabosky, K., Inglefield, C. & Spirito, K. (2020). Interference and Diffraction in Modern Technology: A New Approach for an Introductory Physics Laboratory Experiment. *The Physics Teacher*, 58(9), 646-648.
- Radinschi, I., Fratiman, V., Ciocan, V. & Cazacu, M.-M. (2017). Interactive computer simulations for standing waves. *Computer Applications in Engineering Education*, 25(3), 521-529.
- Ramírez, D. & others (2007). Enseñanza del fenómeno de interferencia en superficies curvas. *Góndola, Enseñanza Y Aprendizaje De Las Ciencias*, 2(1), 72-75.
- Ramirez-Flores, G. R., Rodríguez, A., Guel, S., Rodríguez, C. d. P. S. & Luna, L. T. (2016). Learning about light properties using a system for optical signal processing. *Latin-American Journal of Physics Education*, 10(2), 3.
- Reif, F. (1986). Scientific Approaches to Science Education. *Physics Today*, 39(11), 48-54.
- Risch, M. (2010). Investigations about Science Misconceptions. *arXiv:1009.5524*. Cornell University.
- Robertson, A. D., Goodhew, L. M., Heron, P. R. & Scherr, R. E. (2019). Pulses as not-objects: student responses to a new question about the superposition of mechanical waves. *Physics Education*, 54(5), 055023.
- Romero, M. & Quesada, A. (2014). Nuevas tecnologías y aprendizaje significativo de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 32(1), 0101-115.
- Roschelle, J. M., Pea, R. D., Hoadley, C. M., Gordin, D. N. & Means, B. M. (2000). Changing how and what children learn in school with computer-based technologies. *The future of children*, 10(2), 76-101.
- Rutherford, C. (2013). A Fresh Look at Longitudinal Standing Waves on a Spring. *The Physics Teacher*, 51(1), 22-24.
- Saura, O. (1997). *Aprendizaje de esquemas conceptuales y de contenidos procedimentales en el estudio de las ondas de sonido y de la luz a partir de una propuesta de enseñanza con un enfoque constructivista: un trabajo experimental en el ámbito de la Educación Secundaria*. Tesis doctoral dirigida por A. de Pro Bueno: Universidad de Murcia.
- Saura, O. & de Pro, A. (1999). ¿Utilizan los alumnos esquemas conceptuales en la interpretación del sonido?. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 17(2), 193-210.
- Saura, O. & de Pro, A. (2009). A. de Pro (Ed.). Diseño, aplicación y evaluación del módulo "Estudio de las ondas, sonido y luz". En *Constructivismo y enseñanza de las ciencias* (pp. 235-320). Murcia: Ed. Diego Marín.

- Savinainen, A. & Viiri, J. (2008). The force concept inventory as a measure of students conceptual coherence. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6(4), 719-740.
- Scott, P. H., Asoko, H. M. & Driver, R. H. (1991). Teaching for conceptual change: A review of strategies. En *Connecting research in Physics Education with teacher education* (pp. 71-78.)
- Sengören, S. K., Tanel, R. & Kavcar, N. (2009). Students' difficulties about the wave pulses propagating on a rope. *Journal of Turkish Science Education*, 6(1), 50-59.
- Serway, R. A. (2005). *Física* (Vol. 1). Madrid: McGraw-Hill.
- Shaffer, D. M. & Collura, M. J. (2009). Evaluating the Effectiveness of a Personal Response System in the Classroom. *Teaching of Psychology*, 36(4), 273-277.
- Shapiro, B. (1995). *What children bring to light: A constructivist perspective on children's learning in science* (Vol. 15). Teachers College Press.
- Sharma, M. D., Khachan, J., Chan, B. & O'Byrne, J. (2005). An investigation of the effectiveness of electronic classroom communication systems in large lecture classes. *Australasian Journal of Educational Technology*, 21(2), 137-154.
- Silliman, S. E., Abbott, K., Clark, G. C. & McWilliams, L. H. (2005). Observations on benefits/limitations of an audience response system. En *Proceedings of the 2004 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, USA*
- Sinclair, D. & Vondracek, M. (2015). Standing Waves and Inquiry Using Water Droplets. *The Physics Teacher*, 53(1), 29-31.
- Singh, A. & Butler, P. H. (1990). Refraction: Conceptions and knowledge structure. *International Journal of Science Education*, 12(4), 429-442.
- Singh, I., Khun, K. K., Kaur, B., Kaur, H. & Singh, T. (2020). Simulating propagation of the resultant electric field vector using 3D vector representations for circular, elliptical and plane-polarised waves. *Physics Education*, 56(1), 015012.
- Smith, K. A., Sheppard, S. D., Johnson, D. W. & Johnson, R. T. (2005). Pedagogies of Engagement: Classroom-Based Practices. *Journal of Engineering Education*, 94(1), 87-101.
- Smith, M. K., Wood, W. B., Adams, W. K., Wieman, C., Knight, J. K., Guild, N. & Su, T. T. (2009). Why peer discussion improves student performance on in-class concept questions. *Science*, 323, 122-124.
- Smith, M. K., Wood, W. B., Krauter, K. & Knight, J. K. (2011). Combining peer discussion with instructor explanation increases student learning from in-class concept questions. *CBE Life Sciences Education*, 10(1), 55-63.

- Solbes, J., Montserrat, R. & Más, C. F. (2007). Desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*,(21), 91-117.
- Solbes, J. & Zacarés, J. (1993). ¿Qué sucede con la enseñanza de la óptica?. *Revista Española de Física*, 7(4), 38-44.
- Sözen, M. & Bolat, M. (2011). Determining the misconceptions of primary school students related to sound transmission through drawing. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 15, 1060-1066.
- Stowell, J. R. & Nelson, J. M. (2007). Benefits of Electronic Audience Response Systems on Student Participation, Learning, and Emotion. *Teaching of Psychology*, 34(4), 253-258.
- Stowell, J. R., Oldham, T. & Bennett, D. (2010). Using Student Response Systems "Clickers" to Combat Conformity and Shyness. *Teaching of Psychology*, 37(2), 135-140.
- Sungar, N. (1996). Teaching the Superposition of Waves. *Physics Teacher*, 34(4), 236-37.
- Szigety, E. G., Bernal, L. & Bilbao, L. (2017). Propuesta de un trabajo práctico de laboratorio sobre corrimiento Doppler óptico en el aula universitaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 135-143.
- Talanquer, V. (2014). Simulaciones computacionales para explorar y construir modelos. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 76, 8-16.
- Terrion, J. L. & Aceti, V. (2012). Perceptions of the effects of clicker technology on student learning and engagement: A study of freshmen Chemistry students. *Research in Learning Technology*, 20, 16150.
- Thapar-Olmos, N. & Seeman, S. R. (2018). Piloting Classroom Response Systems in Graduate Psychology Courses. *Journal of Educational Technology Systems*, 47(2), 193-204.
- Tipler, P. & Mosca, G. (2016). *Física para la Ciencia y la Tecnología (Vol.1)*. Barcelona: Reverté.
- Tobin, K. G. (1993). *The practice of constructivism in science education*. Psychology Press.
- Tongchai, A., Sharma, M. D., Johnston, I. D., Arayathanitkul, K. & Soankwan, C. (2009). Developing, evaluating and demonstrating the use of a conceptual survey in mechanical waves. *International Journal of Science Education*, 31(18), 2437-2457.
- Valverde, D. 2018. *Competencia digital de estudiantes de física y química en Educación Secundaria Obligatoria: un estudio diagnóstico en el área de información sobre la*

- temática de las reacciones químicas*. Tesis doctoral. Universidad de Murcia, Murcia.
- Varo-Martínez, M., López-Quintero, J. L., Pontes-Pedrajas, A., Muñoz-Rodríguez, D., Pérez-Martín, P. & Muñoz-Peinado, J. (2017). Los sistemas de respuesta interactiva para el fomento de la competencia de razonamiento científico en los estudiantes de ingeniería. *Revista de innovación y buenas prácticas docentes*, 1, 51-56.
- Varo-Martínez, M. V., López-Quintero, J. L. L. & Pontes, A. (2015). Actitudes del alumnado hacia el uso de los sistemas de respuesta interactiva como recurso educativo para la enseñanza de la física en los estudios de ingeniería. En *Actas del XII Foro sobre Evaluación de la Calidad de la Investigación y la Educación Superior*. Sevilla: Universidad Hispalense.
- Ventura, D. R., de Carvalho, P. S. & Dias, M. A. (2017). Standing waves in an elastic spring: A systematic study by video analysis. *The Physics Teacher*, 55(4), 232-234.
- Viennot, L. & Kaminski, W. (1991). Participation des maîtres aux modes de raisonnement des élèves. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 9(1), 003-9.
- Viennot, L. & Leroy-Bury, J. L. (2004). Doppler and Römer: what do they have in common?. *Physics Education*, 39(3), 273-280.
- Villani, A. & Pacca, J. L. d. A. (1987). Students' spontaneous ideas about the speed of light. *International Journal of Science Education*, 9(1), 55-66.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and instruction*, 4(1), 45-69.
- Wang, A. I. & Tahir, R. (2020). The effect of using Kahoot! for learning—A literature review. *Computers & Education*, 149, 103818.
- Webb, M. E. (2005). Affordances of ICT in science learning: implications for an integrated pedagogy. *International journal of science education*, 27(6), 705-735.
- Weerts S. E. and Miller, D. & Altice, A. (2009). Clicker Technology Promotes Interactivity in an Undergraduate Nutrition Course. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 41(3), 227-228
- Welti, R. (2002). Concepciones de estudiantes y profesores acerca de la energía de las ondas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 20(2), 261-270.
- Willoughby, S. D. & Gustafson, E. (2009). Technology talks: Clickers and grading incentive in the large lecture hall. *American Journal of Physics*, 77(2), 180-183.

- Windschitl, M. & Andre, T. (1998). Using computer simulations to enhance conceptual change: The roles of constructivist instruction and student epistemological beliefs. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 35(2), 145-160.
- Windschitl, M., Thompson, J. & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science education*, 92(5), 941-967.
- Wittmann, M. C. (2002). The object coordination class applied to wave pulses: Analysing student reasoning in wave physics. *International Journal of Science Education*, 24(1), 97-118.
- Wittmann, M. C., Steinberg, R. N. & Redish, E. F. (1999). Making sense of how students make sense of mechanical waves. *The physics teacher*, 37(1), 15-21.
- Wittmann, M. C., Steinberg, R. N. & Redish, E. F. (2003). Understanding and affecting student reasoning about sound waves. *International Journal of Science Education*, 25(8), 991-1013.
- Yalcin, Y. 2010. *Effects of cooperative learning on students achievement relating water waves*. Tesis doctoral. Graduate School of Educational Sciences, Dokuz Eylül University, Izmir.
- Yavuz Özdemir, G. & Kocakulah, M. S. (2017). Kırınım ve Girişim Konularının Öğretiminde Farklı Etkinliklerin Uygulanma Sırasının Kavramsal Değişime Etkisi. *Amasya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 6, 423 - 453.
- Yourstone, S., Kraye, H. S. & Albaum, G. (2008). Classroom Questioning with Immediate Electronic Response: Do Clickers Improve Learning?. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 6(1), 75-88.
- Zeng, L., Smith, C., Poelzer, G. H., Rodriguez, J., Corpuz, E. & Yanev, G. (2014). Illustrations and supporting texts for sound standing waves of air columns in pipes in introductory physics textbooks. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 10(2), 020110.
- Zucker, A. A. & Hug, S. T. (2008). Teaching and learning physics in a 1: 1 laptop school. *Journal of Science Education and technology*, 17(6), 586-594.

9 Anexos: Cuestionarios de investigación

9.1 ANEXO 1: Cuestionario de conocimientos previos sobre ondas mediante preguntas del tipo verdadero o falso (C1)

9.2 ANEXO 2: Cuestionario de conocimientos previos sobre fenómenos ondulatorios mediante preguntas de opción múltiple (C2)

9.3 ANEXO 3: Cuestionarios sobre aprendizaje de conceptos del tema de ondas con un Sistema de Respuesta Inmediata (C3)

9.4 ANEXO 4: Pruebas de evaluación tras el proceso de enseñanza-aprendizaje del tema de ondas (C4)

9.5 ANEXO 5: Encuesta de opiniones del alumnado sobre el desarrollo de la experiencia educativa (C5)

Anexo 1

C1

*Cuestionario de conocimientos previos sobre ondas mediante
preguntas del tipo verdadero o falso*

9.1 ANEXO 1: Cuestionario de conocimientos previos sobre ondas mediante preguntas del tipo verdadero o falso (C1)

INSTRUCCIONES: Este cuestionario es voluntario y anónimo, pero solicitamos tu colaboración para contestar voluntariamente a las preguntas formuladas, indicando también el grado de seguridad en la respuesta (de 1 a 5) en cada cuestión. Se pretende valorar el nivel de conocimientos previos de la clase sobre el movimiento ondulatorio para desarrollar estrategias docentes que permitan mejorar la calidad de enseñanza y superar las dificultades de aprendizaje detectadas sobre este tema.

Datos generales:

- a) Edad: ____; b) Género: Hombre ___ Mujer ___; c) Curso académico: _____
d) Curso y Titulación: _____

e) Nota media de selectividad ____; f) Nota de Física en el curso anterior _____

Enunciados: Indicar si cada idea es V o F y registrar el grado de seguridad en la respuesta desde 1 (mínimo) a 5 (máximo)

S1 NOCIONES BÁSICAS SOBRE MOVIMIENTO ARMÓNICO SIMPLE

- C1.01 Un movimiento armónico simple (MAS) consiste en la vibración de una partícula en un eje sometida a una fuerza elástica atractiva y lineal.
C1.02 La frecuencia de las oscilaciones de un sistema masa-muelle es proporcional a la constante elástica del muelle.

S2 INTRODUCCIÓN AL MOVIMIENTO ONDULATORIO: TIPOS DE ONDAS

- C1.03 Una onda puede considerarse como un tipo especial de movimiento armónico simple.
C1.04 En el movimiento ondulatorio no se propaga ni materia ni energía, solo perturbaciones.
C1.05 Las ondas mecánicas pueden propagarse en el vacío.
C1.06 En una onda mecánica hay vibración de la materia y propagación de energía.
C1.07 Todas las ondas mecánicas son longitudinales.
C1.08 En los fluidos se pueden propagar ondas transversales.

S3 ONDAS ARMÓNICAS: CARACTERÍSTICAS Y DESCRIPCIÓN MATEMÁTICA

- C1.09 El estudio temporal de una onda se realiza dejando la variable "x" fija en la ecuación $y = f(x,t)$ y modificando el parámetro tiempo.
C1.10 En todo movimiento ondulatorio la amplitud de la perturbación depende de

la frecuencia.

- C1.11 La velocidad de propagación de una onda coincide con la velocidad de vibración en algunos tipos de ondas.

S4 VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS

- C1.12 La velocidad de propagación de una onda en una cuerda tensa aumenta al aumentar la tensión de la cuerda.
- C1.13 Si una cuerda larga se suspende del techo y se transmiten ondas hacia arriba desde el extremo inferior tales ondas ascienden con velocidad constante.
- C1.14 La velocidad de propagación de una onda en una cuerda tensa es inversamente proporcional a la densidad lineal de masa de dicha cuerda.

S5 ENERGÍA E INTENSIDAD DE LAS ONDAS

- C1.15 La energía de una onda es proporcional al cuadrado de la amplitud.
- C1.16 La intensidad de una onda es inversamente proporcional a la distancia al foco donde se produce dicha onda.
- C1.17 Las ondas circulares que se producen al caer una piedra en el agua disminuyen de amplitud conforme se alejan de la fuente.

S6 PRINCIPIO DE HUYGENS DE LA PROPAGACIÓN DE ONDAS: FENÓMENOS DE REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN

- C1.18 La reflexión de las ondas se basa en el Principio de Huygens.
- C1.19 La refracción de una onda se produce sólo cuando la onda pasa de un medio a otro donde la velocidad de propagación es menor que en el primero.

S7 EFECTO DOPPLER

- C1.20 El efecto Doppler permite explicar el alejamiento de las galaxias por la longitud de onda de la luz que llega a la Tierra.
- C1.21 El Efecto Doppler constituye el fundamento físico de una alarma acústica antirrobo.

S8 PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN DE ONDAS: INTERFERENCIAS Y OTROS FENÓMENOS

- C1.22 Cuando dos ondas del mismo tipo que proceden de diferentes focos coinciden en un punto del espacio se produce un aumento de la amplitud de la vibración resultante.

S9 ONDAS ESTACIONARIAS

- C1.23 Las ondas estacionarias sólo se producen en cuerdas tensas donde coinciden ondas que se propagan en diferente sentido.

S10 ONDAS SONORAS: ASPECTOS CARACTERÍSTICOS Y APLICACIONES

- C1.24 Las ondas sonoras pueden ser longitudinales y transversales.
- C1.25 Cuando un receptor se aleja de una fuente de sonido en reposo la longitud de onda medida por el receptor disminuye.
- C1.26 Al duplicar la amplitud de las vibraciones de una onda sonora se duplica también la intensidad del sonido correspondiente.
- C1.27 La percepción del sonido por el oído humano se mide en decibelios.
- C1.28 La velocidad de una onda sonora audible en el aire depende de la longitud de onda del sonido.
- C1.29 La intensidad de un sonido es proporcional a la potencia de vibración del foco sonoro.
- C1.30 En un metal no pueden transmitirse ondas mecánicas tales como el sonido.
- C1.31 En toda onda sonora o acústica hay transporte de materia y de energía en la dirección de propagación.
- C1.32 La velocidad del sonido en el agua depende de la temperatura a que se encuentre.
- C1.33 Un sonido de 20 dB tiene una intensidad doble que un sonido de 10 dB.
- C1.34 La principal diferencia entre ultrasonidos e infrasonidos se encuentra en la intensidad mayor o menor de tales ondas.
- C1.35 Un niño que grita con una voz muy aguda puede llegar a romper una copa de vidrio por efecto de resonancia.

S11 ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS: ASPECTOS CARACTERÍSTICOS Y APLICACIONES

- C1.36 Las ondas electromagnéticas pueden ser longitudinales y transversales.
- C1.37 Las ondas mecánicas se diferencian de las ondas electromagnéticas en que las primeras no transportan energía de un punto a otro del espacio.
- C1.38 En las ondas EM se propagan campos eléctricos y magnéticos variables con el tiempo y perpendiculares entre sí.
- C1.39 La luz ultravioleta es una onda de carácter longitudinal.
- C1.40 El funcionamiento de la fibra óptica se basa en el fenómeno de reflexión total.

Anexo 2

C2

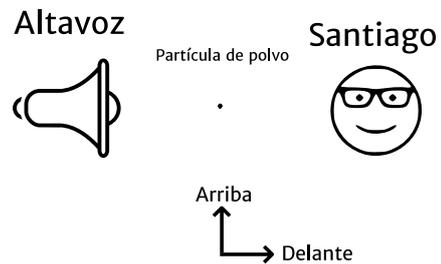
*Cuestionario de conocimientos previos sobre fenómenos ondulatorios
mediante preguntas de opción múltiple*

9.2 ANEXO 2: Cuestionario de conocimientos previos sobre fenómenos ondulatorios mediante preguntas de opción múltiple (C2)

Datos generales: a) Género: ____; b) Edad: ____; c) Curso académico:

d) Titulación: _____

C2.01. En una habitación con el aire en calma flota una partícula de polvo situada entre un altavoz y Santiago (como muestra la figura). Cuando se enciende el altavoz se emite una nota de sonido ininterrumpidamente a frecuencia constante. ¿Cómo es el movimiento de la partícula de polvo?



- [a] La partícula se mueve hacia arriba y hacia abajo, manteniendo una distancia constante con el altavoz.
- [b] La partícula se mueve hacia adelante y atrás, manteniendo una distancia constante con el altavoz.
- [c] La partícula se mueve hacia arriba y hacia abajo, alejándose del altavoz y acercándose a Santiago.
- [d] La partícula se mueve hacia adelante y atrás, alejándose del altavoz y acercándose a Santiago.

C2.02. Cual de las siguientes afirmaciones es correcta:

- [a] Las ondas electromagnéticas son transversales.
- [b] Las ondas electromagnéticas son longitudinales.
- [c] Las ondas electromagnéticas pueden ser tanto transversales como longitudinales.
- [d] Todas las respuestas son verdaderas, pues todos los tipos de onda pueden ser tanto longitudinales como transversales, dependiendo de la dirección en la que se coloque el sistema de referencia para medir la velocidad de propagación.

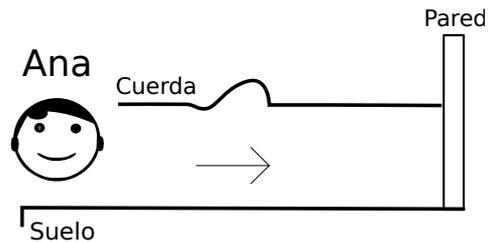
C2.03. En un movimiento de tipo ondulatorio podemos afirmar que una onda:

- [a] No propaga ni materia ni energía, solo perturbaciones del medio.
- [b] Puede propagar tanto materia como energía, dependiendo del tipo de onda.

[c] Solo las ondas que se mueven en fluidos (como el aire o el agua) pueden propagar materia.

[d] Las ondas no propagan materia.

C2.04. Una cuerda tensa está atada a una pared lejana. Ana mueve su mano hacia arriba y luego hacia abajo creando un pulso que se propaga hacia la pared y la alcanza en un determinado intervalo de tiempo “t”. ¿Qué tendría que hacer Ana para que el pulso llegara antes a la pared?



[a] Mover su mano arriba y abajo más rápidamente, y crear así un pulso que se propague a más velocidad.

[b] Usar una cuerda más ligera, y mantener la tensión constante.

[c] Usar una cuerda de igual densidad, pero disminuir la tensión.

[d] Hacer un movimiento hacia arriba y abajo más amplio, para incrementar el tamaño del pulso, así tendrá que recorrer menos distancia para alcanzar la pared.

C2.05. La principal diferencia entre ultrasonidos e infrasonidos se encuentra en:

[a] La intensidad y la amplitud.

[b] La frecuencia y la longitud de onda.

[c] La energía que son capaces de transmitir cuando entran en contacto con un cuerpo.

[d] El volumen de dichos sonidos.

C2.06. La velocidad de propagación del sonido en el agua:

[a] Depende de la temperatura.

[b] Depende del volumen del sonido.

[c] Depende de la frecuencia del sonido.

[d] Es menor que en el alcohol.

C2.07. De un sonido medimos que posee 10 dB (decibelios). Podemos afirmar que:

[a] Su intensidad sería el doble que la de un sonido de 5 dB.

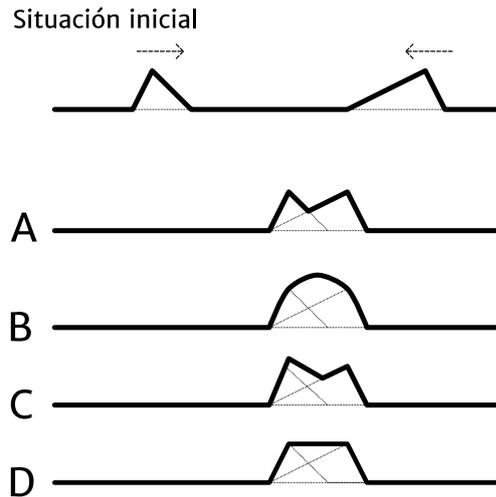
[b] Un sonido de 20 dB se escucharía al doble de volumen que el medido de 10 dB.

[c] Un sonido de 20 dB tendría más del doble de intensidad que el medido de 10 dB.

[d] Las respuestas (b) y (c) son correctas.

C2.08. Dos pulsos de onda viajan con velocidades opuestas, dirigiéndose cada uno hacia el otro. En el instante en el cual ambos se encuentran en el mismo punto de su recorrido. ¿Qué situación se asemejaría más a la forma de la onda resultante?

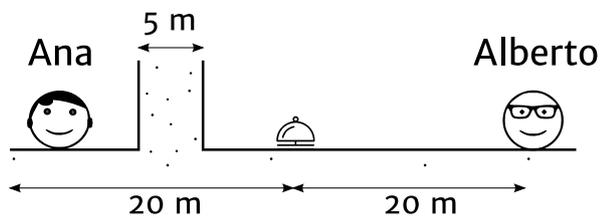
- [a] A.
- [b] B.
- [c] C.
- [d] D.



C2.09. Partiendo de la misma situación inicial que la pregunta anterior. ¿Qué ocurrirá después de que ambos pulsos se encuentren?

- [a] Ambos pulsos pierden parte de su energía, pero continúan propagándose en la misma dirección y sentido que cada uno tenía inicialmente.
- [b] Tras el choque se crean además otros pulsos secundarios reflejados en sentidos opuestos a los iniciales.
- [c] Ambos pulsos continúan propagándose con la misma energía y forma, como si nunca se hubieran encontrado.
- [d] Resulta un único pulso, suma de ambos, que se propaga a menor velocidad hacia la izquierda.

C2.10. Ana y Alberto se encuentran en distintas habitaciones de un hotel con paredes de hormigón de 5 metros. En la habitación de Alberto hay un timbre cuyo sonido puede oírse en todo el hotel.



Ambos se encuentran a la misma distancia de 20 metros del timbre. Si el timbre empieza a sonar. ¿Quién escuchará antes el sonido?

- [a] Ana.
- [b] Alberto.
- [c] Ambos lo escucharán al mismo tiempo.

C2.11. Cuando dos ondas que proceden de diferentes focos coinciden en el mismo punto del espacio:

- [a] La amplitud total no puede aumentar nunca, debido a que la energía siempre se conserva.
- [b] La vibración es el resultado de la suma de las vibraciones de ambas.
- [c] Se produce siempre un aumento en la vibración resultante.
- [d] Las respuestas (a) y (b) son correctas.

C2.12. La refracción de una onda al pasar de un medio a otro:

- [a] Ocurre cuando la onda pasa de un medio a otro donde la velocidad de propagación es menor.
- [b] Ocurre cuando onda pasa de un medio a otro donde la velocidad de propagación es mayor.
- [c] Depende del ángulo de incidencia de la onda con respecto a la superficie de separación de ambos medios.
- [d] Todas las respuestas son correctas.

Anexo 3

C3

*Cuestionarios sobre aprendizaje de conceptos del tema de ondas con
un Sistema de Respuesta Inmediata*

C3A

Cuestionario conceptual

C3B

Cuestionario de ejercicios prácticos

9.3 ANEXO 3: Cuestionarios sobre aprendizaje de conceptos del tema de ondas con un Sistema de Respuesta Inmediata (C3)

9.3.1 Cuestionario conceptual (C3A)

S2. INTRODUCCIÓN AL MOVIMIENTO ONDULATORIO: TIPOS DE ONDAS

C3.A.01. Cuando una onda longitudinal se desplaza por un medio material, las partículas de dicho medio:

- [a] Se mantienen en una posición fija.
- [b] Se mueven en círculos.
- [c] Se mueven hacia adelante y hacia atrás en la dirección de propagación.
- [d] Se mueven hacia adelante en la dirección de propagación.

C3.A.02. La luz y el sonido son ondas, de modo que en ambos casos se puede decir que:

- [a] Las dos se pueden propagar en el vacío.
- [b] Las dos se pueden propagar en el aire.
- [c] Las dos transportan materia.
- [d] Las opciones (a) y (b) son correctas.

S3. ONDAS ARMÓNICAS: CARACTERÍSTICAS Y DESCRIPCIÓN MATEMÁTICA

C3.A.03. En una onda armónica o sinusoidal, la distancia entre dos puntos que presentan una diferencia de fase de 2π radianes es:

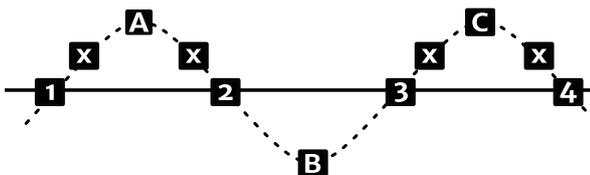
- [a] La frecuencia.
- [b] El periodo.
- [c] El desplazamiento.
- [d] La longitud de onda.

C3.A.04. Una onda armónica pasa por un punto de observación. En este punto, el tiempo entre dos crestas sucesivas es 2 segundos. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es verdadera?

- [a] La frecuencia es $1/2$ o 0.5 Hz.
- [b] La longitud de onda es $1/2$ o 0.5 metros.
- [c] La longitud de onda es 2 metros.

[d] La frecuencia es 2 Hz.

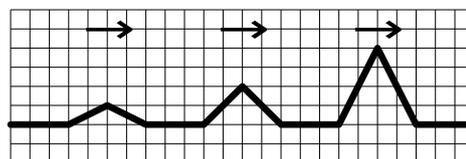
C3.A.05. Respecto de la siguiente figura que representa una onda armónica se puede decir que:



- [a] Los puntos A y B tienen un desfase de $\pi/2$.
- [b] Todos los puntos X están a la misma fase.
- [c] Los puntos 1 y 3 están en la misma fase.
- [d] Todas las respuestas son correctas.

C3.A.06. Se propagan tres pulsos independientes hacia la derecha como se muestra en la siguiente imagen. De las siguientes afirmaciones, ¿cuáles son las verdaderas?: (1) Todos tienen la misma longitud de onda; (2) Cada uno tiene frecuencia el doble que el anterior; (3) Cada uno tiene amplitud el doble que el anterior.

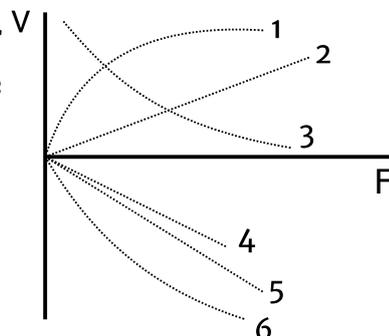
- [a] 2.
- [b] 1 y 3.
- [c] 2 y 3.
- [d] 1, 2 y 3.



S4. VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS

C3.A.07. ¿Cuál de las siguientes curvas ilustra mejor la variación de la velocidad de una onda (v) que se propaga en una cuerda con una tensión de valor F ?

- [a] 1.
- [b] 2.
- [c] 3.
- [d] 4.



C3.A.08. Una cuerda sometida a una tensión T transporta una onda transversal con una velocidad V . Si la misma cuerda se encuentra a una tensión cuatro veces mayor. ¿Cuál sería la velocidad de la onda?

- [a] La misma.
- [b] Dos veces mayor.
- [c] La mitad.
- [d] Cuatro veces mayor.

C3.A.09. Una cuerda sometida a una tensión T transporta una onda transversal viajando a velocidad " v ". Si la densidad lineal de la cuerda se reduce a la mitad, pero se mantiene la tensión. ¿Cuál será la velocidad de la onda?

- [a] La velocidad se mantiene igual.
- [b] La velocidad se reduce a la mitad.
- [c] La velocidad se duplica.
- [d] La velocidad aumenta aproximadamente en un 41% de la original.

S5. ENERGÍA E INTENSIDAD DE LAS ONDAS

C3.A.10. Si duplicamos la amplitud de una onda en una cuerda tensa, manteniendo la velocidad y la frecuencia. La energía transmitida por la onda:

- [a] Se duplica.
- [b] Se cuadruplica.
- [c] Se reduce a la mitad.
- [d] No cambia por ser proporcional a la velocidad y la frecuencia, que se mantienen constantes.

C3.A.11. La potencia transmitida por una onda armónica aumenta directamente con:

- [a] El periodo.
- [b] La raíz cuadrada de la frecuencia.
- [c] La amplitud.
- [d] El cuadrado de la amplitud.

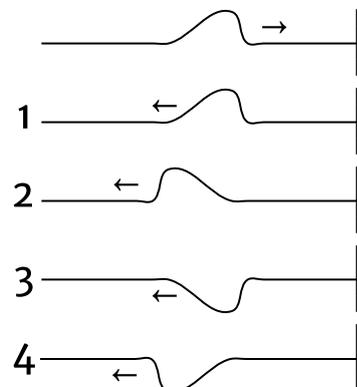
C3.A.12. Si la amplitud de una onda estacionaria se duplica, podemos decir que:

- [a] Se duplica su energía.
- [b] Se cuadruplica su energía.
- [c] Aparece el siguiente armónico $\lambda/2$.
- [d] Las opciones (b) y (c) son correctas.

S6. PRINCIPIO DE HUYGENS DE LA PROPAGACIÓN DE ONDAS: FENÓMENOS DE REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN

C3.A.13. Una onda se propaga en una cuerda tensa hacia una pared. ¿Cuál de las siguientes formas se asemeja más a la onda reflejada?

- [a] 1.
- [b] 2.
- [c] 3.
- [d] 4.



C3.A.14. Una fibra óptica consiste en un cilindro de un material A, rodeado de un material B, que está protegido por una cubierta de plástico. La luz se propaga por el interior del material A debido a que:

- [a] El material A es más denso que el material B.
- [b] El material B es más denso que el material A.
- [c] Se produce una refracción en el borde de ambos materiales, por tanto la luz nunca atraviesa hacia el medio B.
- [d] Las opciones (b) y (c) son correctas.

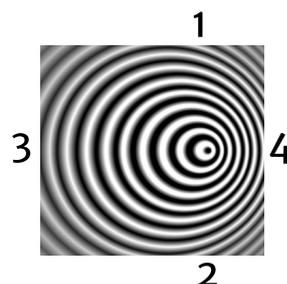
C3.A.15. Introducimos una pajita en un vaso de agua, y observamos que la misma parece doblarse. Esto es debido a que la luz viaja (1) _____ en el aire y se produce una (2) _____

- [a] (1) más lenta / (2) reflexión.
- [b] (1) más rápido / (2) reflexión.
- [c] (1) más lenta / (2) refracción.
- [d] (1) más rápido / (2) refracción.

S7. EFECTO DOPPLER

C3.A.16. Se observa el siguiente movimiento ondulatorio en un estanque en calma. Podemos decir:

- [a] La onda se propaga a más velocidad hacia 3.
- [b] La onda se propaga a más velocidad hacia 4.
- [c] Un objeto se mueve en la dirección de 3 a 4.
- [d] Las opciones B y C son correctas.

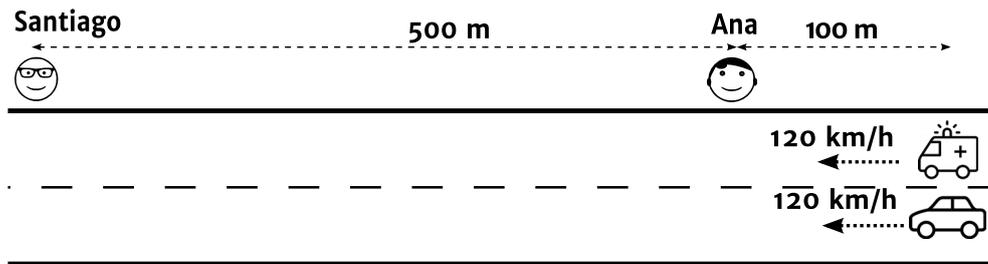


C3.A.17. En un estanque de agua introducimos un objeto y lo movemos de (1) a (2) como muestra la animación siguiente. En tal caso podemos afirmar que:

- [a] Los frentes de onda viajan a más velocidad hacia (2) que hacia (1).
- [b] La frecuencia es mayor en (2) que en (1).
- [c] Todas las respuestas son correctas.



C3.A.18. Un coche y una ambulancia viajan en paralelo, a 120km/h por la misma autopista. Ana está sentada en el arcén, a una distancia de 100 metros, por delante de ambos vehículos. Santiago se encuentra sentado a 500m de Ana y a 600m de tales móviles. En tal situación podemos afirmar que:



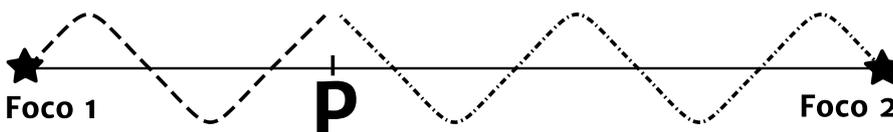
- [a] El conductor del coche y el de la ambulancia escucharán la sirena a la misma frecuencia.
- [b] Ana escuchará la sirena a mayor frecuencia que Santiago.
- [c] Santiago escuchará la sirena a mayor frecuencia que Ana.
- [d] Las opciones A y B son correctas.

58. PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN DE ONDAS: INTERFERENCIAS Y OTROS FENÓMENOS

C3.A.19. Si dos ondas idénticas se encuentran en la misma región del espacio con fase también idéntica, el resultado es:

- [a] Una nueva onda con igual frecuencia y doble de amplitud.
- [b] Una nueva onda con el doble de amplitud y doble de longitud de onda.
- [c] La interferencia de dos ondas idénticas con fase también idéntica no produce ninguna onda distinta.
- [d] Faltan datos para poder concluir las opciones (a), (b) o (c).

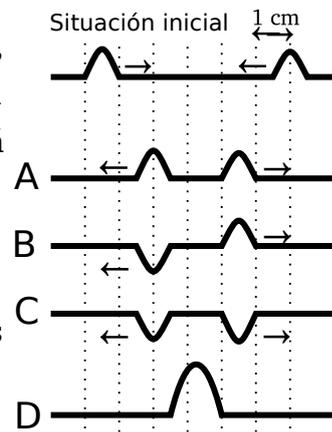
C3.A.20. En el punto P se encuentran dos ondas idénticas con velocidades opuestas. Sabiendo que la siguiente gráfica representa el instante en el que se encuentran por primera vez. Podemos afirmar que:



- [a] Llegan con distinta fase al punto P.
- [b] Llegan a P con una diferencia de camino de una longitud de onda.
- [c] Formarán interferencias destructivas en el punto P.
- [d] Todas las opciones son incorrectas.

C3.A.21. Dos pulsos viajan en direcciones opuestas, cada uno al encuentro del otro con velocidades de 1 cm/s como se aprecia en la figura adjunta. Como será la forma de onda resultante al cabo de 4 segundos:

- [a] A.
- [b] B.
- [c] Opciones A o C, dependiendo si la interferencia es constructiva o destructiva respectivamente.
- [d] D.



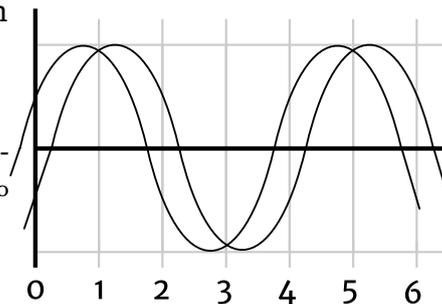
C3.A.22. Dos ondas armónicas con amplitudes distintas A_1 y A_2 se encuentran en un punto P, formando una interferencia. Si sabemos que la interferencia resultante es destructiva. Podemos afirmar que:

- [a] La interferencia en el punto P no depende de sus amplitudes, sino de sus respectivas elongaciones en ese momento.
- [b] Al ser destructiva la elongación resultante en el punto P no puede ser mayor que A_1 , ni tampoco mayor que A_2 .
- [c] El enunciado es falso, porque una interferencia destructiva en P solo se produce entre dos ondas de igual amplitud con fases opuestas.
- [d] Las opciones (a) y (b) son correctas.

S9. ONDAS ESTACIONARIAS

C3.A.23. Una onda viaja de derecha a izquierda y su onda reflejada en sentido opuesto, formando una onda estacionaria. ¿En qué puntos se producirán nodos y vientres?

- [a] Solo dos nodos en los extremos 0 y 6, y un vientre en el punto intermedio 3.
- [b] Nodos en 1, 3 y 5.
- [c] Dependerá de si el modo de vibración resultante es el fundamental, 1º armónico, 2º armónico, etc.
- [d] Nodos en 0, 2, 4 y 6.



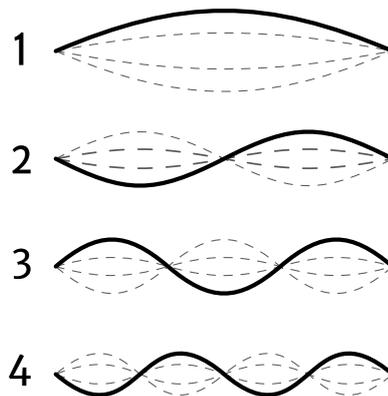
C3.A.24. En la imagen se representa una sucesión de armónicos. Si representar a los armónicos de ondas estacionarias en cuerdas tensas podríamos afirmar que:

[a] El número 3 no podría formarse en una cuerda, por ser múltiplo impar de la longitud de onda.

[b] Cada uno tiene frecuencia el doble que el anterior.

[c] El fundamental 1 corresponde a media longitud de onda.

[d] Todas las opciones son verdaderas.



S10. ONDAS SONORAS: ASPECTOS CARACTERÍSTICOS Y APLICACIONES

C3.A.25. El sonido viaja a 340 m/s en el aire y a 1500 m/s en el agua. Si un sonido de 256 Hz de frecuencia se produce debajo del agua, cuando el mismo pasa al aire podemos afirmar que:

[a] La frecuencia es la misma pero la longitud de onda es menor.

[b] La frecuencia es mayor pero la longitud de onda se mantiene.

[c] La frecuencia es la misma pero la longitud de onda es mayor.

[d] Tanto la frecuencia como la longitud de onda se mantienen, cambiando solo la velocidad de propagación.

C3.A.26. El sonido es una onda longitudinal porque la perturbación oscila paralelamente a la propagación de la onda. Acerca de la naturaleza del sonido en el aire, podemos afirmar que las moléculas de aire se mueven (1) _____ la dirección de propagación, y la variación de presión (2) _____ la dirección de propagación:

[a] (1) paralelas a / (2) paralelamente a.

[b] (1) paralelas a / (2) independientemente de.

[c] (1) agitadas en / (2) paralelamente a.

[d] (1) independientemente de / (2) perpendicularmente a.

C3.A.27. El ladrido de un perro tiene un nivel de intensidad (o sonoridad β) de 50 dB. La intensidad de un concierto de rock es 100 000 veces mayor que la de dicho ladrido. Cuál es el nivel de intensidad (o sonoridad β) del concierto de rock:

[a] 100050 dB.

[b] 5000000 dB.

[c] 500 dB.

[d] 100 dB.

C3.A.28. Santiago escucha música con un equipo de audio de 500 W. En otro lugar, Ana escucha la misma canción con unos auriculares de tan solo 1 W. Sin embargo, ambos la escuchan al mismo nivel de intensidad (o sonoridad β). De las siguientes afirmaciones verdaderas. ¿Cuál podemos decir que explica la causa física qué produce este suceso?

- [a] El sonido es una onda longitudinal.
- [b] El aire es un medio que disipa energía, y los auriculares están solo a dos centímetros del tímpano de Ana.
- [c] El sonido se propaga en frentes de onda esféricos.
- [d] Faltan datos para concluir las respuestas (a), (b) o (c), pues el nivel de intensidad (o sonoridad β) se mide en decibelios (dB) y no en vatios (W).

S11. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS: ASPECTOS CARACTERÍSTICOS Y APLICACIONES

C3.A.29. Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta:

- [a] Las ondas electromagnéticas son transversales.
- [b] Las ondas electromagnéticas son longitudinales.
- [c] Las ondas electromagnéticas pueden ser tanto transversales como longitudinales.
- [d] Las respuestas (a), (b) y (c) son verdaderas, pues todos los tipos de onda pueden ser tanto longitudinales como transversales, dependiendo de la dirección en la que se coloque el sistema de referencia para medir la velocidad de propagación.

C3.A.30. De la interferencia de ondas de radio podemos decir que:

- [a] Son ondas de radio que reducen su intensidad cuando se alejan de la antena que las produce.
- [b] Es la perturbación resultante de dos o más ondas electromagnéticas.
- [c] Reduce progresivamente la calidad de las ondas.
- [d] Las opciones (a), (b) y (c) son verdaderas.

9.3.2 Cuestionario de ejercicios prácticos (C3B)

C3.B.1. Enunciado

Una onda transversal armónica se propaga a lo largo del eje OX en sentido positivo. Su amplitud es de 10^{-3} m, su frecuencia es 30 Hz y su longitud de onda es de 4 m. En el instante $t=0$, en el punto $x=0$ el valor de la perturbación (o desplazamiento transversal) es $y_0 = -10^{-3}$ m.

C3.B.1.a. ¿Cuál es la función de onda de este movimiento?

- [a] $y = 0.001 \cdot \text{sen} (\pi \cdot x/2 - 60 \cdot \pi \cdot t + \phi_0)$
- [b] $y = 10^{-3} \cdot \text{sen} (\pi \cdot x/2 - 60 \cdot \pi \cdot t + \pi/2)$

[c] $y = 0.001 \cdot \text{sen} (\pi \cdot x/2 - 60 \cdot \pi \cdot t - \pi/2)$

[d] $y = 10^{-3} \cdot \text{sen} (\pi \cdot x - 60 \cdot \pi \cdot t + \pi/2)$

C3.B.1.b1. ¿Cuál es su velocidad de propagación?

[a] $v = \lambda \cdot f$

[b] $v = \lambda/T$

[c] $v = \omega/K$

[d] (a), (b) y (c) son verdaderas

C3.B.1.b2. ¿Cuál es su velocidad de propagación?

[a] $v = 120 \text{ m/s}$

[b] $v = 60 \text{ m/s}$

[c] $v = 60 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

[d] $v = 120 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$

C3.B.1.c. ¿Cuál es la diferencia de fase entre las oscilaciones de dos puntos separados por una distancia de 2m?

[a] π radianes (180°) (2m es media longitud de onda)

[b] 2π radianes (360°) (2m es media longitud de onda)

[c] $-\pi/2$ pues se trata de una única onda y todos sus puntos están a la misma fase
 $\phi_0 = -\pi/2$

C3.B2. Enunciado

Al extremo de una cuerda homogénea de 6 m de longitud y 0.2 kg de masa se cuelga un objeto de 3 kg de masa, estando fijo del techo en el otro extremo.

C3.B.2.a1. ¿La tensión de la cuerda en su punto más alto será?

[a] El peso del objeto que soporta

[b] El peso del objeto que soporta más el peso de la cuerda

[c] Las cuerdas no tienen tensión en sus extremos. Se anularía con la normal del techo.

[d] Faltan datos para poder calcularla.

C3.B.2.a2. ¿A qué velocidad se propagará una onda en esta cuerda?

[a] $v = 950.3 \text{ m/s}$

[b] $v = 0.00104 \text{ m/s}$

[c] $v = 0.032 \text{ m/s}$

[d] $v = 30.82 \text{ m/s}$

C3.B.2.b. ¿Qué tiempo tardará la onda en llegar desde el punto fijo hacia la masa?

[a] $t = 0.19 \text{ s}$

[b] $t = 5.1 \text{ s}$

[c] $t = 8.2 \text{ s}$

[d] $t = 1.9 \text{ s}$

C3.B3. Enunciado

En una cuerda tensa se engendra una onda senoidal mediante un oscilador armónico que actúa en $x=0$ con una frecuencia de 10 Hz y una amplitud de 3 cm. La velocidad de propagación de la onda es 12 m/s. Se sabe que en $t=0$ la posición del oscilador está en su elongación máxima.

C3.B.3.a1. ¿Cuál es su: (T) Periodo y (K) número de onda

[a] (T) 0.1 s (K) $5/6 \text{ m}^{-1}$

[b] (T) 10 s (K) $6\pi/5 \text{ m}^{-1}$

[c] (T) 0.1 s (K) $5\pi/3 \text{ m}^{-1}$

[d] (T) 0.1 s (K) $5/3 \text{ m}^{-1}$

C3.B.3.a2. ¿Cuál es su función onda?

[a] $y = 0.03 \cdot \text{sen}(20\pi t - (5\pi/3)x + \pi/2)$

[b] $y = 0.03 \cdot \text{sen}(2\pi t - (5\pi/3)x + \pi)$

[c] $y = 0.03 \cdot \text{sen}(20\pi t - (5\pi/3)x + \pi)$

[d] $y = 0.03 \cdot \text{sen}(2\pi t - (5\pi/3)x + \pi/2)$

C3.B.3.b1. La energía mecánica por unidad de masa de una onda senoidal es:

[a] $\frac{1}{2} \Delta m A^2 \omega^2$

[b] $\frac{1}{2} A^2 \omega^2$

[c] $\frac{1}{2} \Delta m A^2 \omega$

[d] $\frac{1}{2} A^2 \omega$

C3.B.4 Enunciado

Una fuente sonora puntual emite ondas con una potencia de 60 W en un medio homogéneo e isótropo.

C3.B.4.a1. Podemos afirmar que:

[a] La onda es longitudinal

[b] El sonido se propagaría en frentes de onda esféricos.

[c] La intensidad que se recibe a una distancia r depende de la siguiente fórmula:

$$I = P / 4\pi r^2$$

[d] Todas las respuestas son correctas

C3.B.4.a2. ¿Cuál será la intensidad de la onda a 5 metros de la fuente?

[a] 0.191 W/m

[b] No se puede calcular. Hace falta conocer la longitud de onda también.

[c] 0.191 W/m²

[d] $0.191 \pi \text{ W/m}^2$

C3.B.4.b1. El nivel de intensidad (o sonoridad β) es cómo percibimos los sonidos con nuestro sentido del oído. Su relación con la intensidad de la onda sonora I_0 es:

- [a] Logarítmica
- [b] Cuadrática
- [c] Lineal
- [d] Ninguna de las anteriores

C3.B.4.b2. ¿A qué distancia de la fuente el sonido se reduce a 50dB?

- [a] 5 m
- [b] 13.8 m
- [c] 6.91m
- [d] Faltan datos

C3.B.4.c. ¿Cuál es el nivel de intensidad (o sonoridad β) a 5 metros de la fuente?

- [a] 1.128 dB
- [b] 11.28 dB
- [c] 112.8 dB
- [d] Ninguna de las anteriores

C3.B.5 Enunciado

Una onda plana al atravesar un medio de 80 cm reduce su intensidad un 30%.

C3.B.5.a1. Al atravesar dicho medio la onda:

- [a] Decrecerá linealmente
- [b] Decrecerá cuadráticamente
- [c] Decrecerá exponencialmente
- [d] Decrecerá logarítmicamente

C3.B.5.a2. ¿Cuál es el coeficiente de absorción β del medio?

- [a] 0.004 cm^{-1}
- [b] 0.002 cm^{-1}
- [c] -0.004 cm^{-1}
- [d] -0.002 cm^{-1}

C3.B.5.b. ¿Qué distancia debe recorrer la onda para que su intensidad se reduzca a la mitad?

- [a] Faltan datos
- [b] Media longitud de onda
- [c] 137.2 cm
- [d] 13.72 cm

C3.B.6 Enunciado

Dos focos fijos y sincronizados que emiten ondas de igual amplitud ($A=2\text{cm}$) e igual frecuencia (50Hz), producen vibraciones que se propagan en un medio material con velocidad de 1m/s . Se considera un punto situado a distancias respectivas $r_1=2.5\text{ cm}$ y $r_2=4.5\text{ cm}$

C3.B.6.a1. Alrededor de los focos:

- [a] Al estar sincronizadas se producirán solamente interferencias constructivas
- [b] La interferencia dependerá de la diferencia de caminos entre ambas
- [c] Al estar sincronizados siempre se encontraran en fase
- [d] (a) y (c) son correctas

C3.B.6.a2. ¿Cuál es la amplitud de la perturbación resultante en dicho punto?

- [a] 0.01 m
- [b] 0.02 m
- [c] 0.03 m
- [d] 0.04 m

C3.B.6.b. ¿Cuál es el tiempo en el que la perturbación se hace nula?

- [a] $2n+1\text{ s}$
- [b] 2 s
- [c] 0.25 s
- [d] 0.035 s

C3.B.7. Enunciado

Una onda se propaga en una cuerda según la ecuación expresada en el S.I.

$$y=0.1\cdot\cos(0.2x-100t)$$

C3.B.7.a. ¿Cuál es su longitud de onda (λ) y la velocidad de propagación (v)?

- [a] (λ) $\pi\text{ m}$ (v) $50\pi\text{ m/s}$
- [b] (λ) 10 m (v) $500\pi\text{ m/s}$
- [c] (λ) 10 m (v) 50 m/s
- [d] (λ) $10\pi\text{ m}$ (v) 500 m/s

C3.B.7.b1. Se formarán:

- [a] Interferencias destructivas
- [b] Interferencias constructivas
- [c] Una onda estacionaria
- [d] Todas las respuestas son correctas

C3.B.7.b2. ¿Cuál es la onda estacionaria resultante?

- [a] $y=0.2\cdot\cos(0.2x) \cdot \cos(100t)$
- [b] $y=0.2\cdot\text{sen}(0.2x) \cdot \text{sen}(100t)$

[c] $y=0.1 \cdot \cos(0.2x) \cdot \cos(100t)$

[d] $y=0.1 \cdot \text{sen}(0.2x) \cdot \text{sen}(100t)$

C3.B.7.c. ¿Cuál será la distancia entre dos nodos del amónico fundamental?

[a] 50 m

[b] 10π m

[c] 50π m

[d] 5π m

C3.B.8 Enunciado

Un coche se acerca a una fábrica donde una sirena emite un sonido de 300 Hz.

Si la velocidad del coche es de 122.4 km/h

C3.B.8.a1. ¿Qué frecuencia percibe el conductor cuando se acerca a la fábrica?

[a] Una frecuencia que crece conforme se acerca a la fábrica

[b] Una frecuencia constante

[c] La misma frecuencia que se percibe en la fábrica

[d] Faltan datos para concluir (a) (b) o (c)

C3.B.8.a2. ¿Qué frecuencia percibe el conductor cuando se acerca a la fábrica?

[a] 320 Hz

[b] 522.4 Hz

[c] 330 Hz

[d] 310 Hz

C3.B.8.b. ¿Qué frecuencia percibe el conductor enfrente de la fábrica?

[a] 300 Hz

[b] 310 Hz

[c] 320 Hz

[d] 330 Hz

C3.B.8.c. ¿Qué frecuencia percibe el conductor cuando se aleja de la fábrica?

[a] 270 Hz

[b] 290 Hz

[c] 310 Hz

[d] 320 Hz

C3.B.8.d. ¿Qué longitud de onda observa el conductor cuando (1) se acerca y cuando (2) se aleja?

[a] (1) 0.97 m (2) 1.26 m

[b] (1) 0.97 m(2) 0.79 m

[c] (1) 1.03 m(2) 1.26 m

[d] La misma longitud siempre, ya que la longitud de onda depende del medio (aire) y no de las velocidades de las fuentes o observadores.

Anexo 4

C4

Pruebas de evaluación tras el proceso de enseñanza-aprendizaje del tema de ondas

Parte 1: Aprendizaje de conceptos (C4.P1)

Prueba C4.P1.A

Evaluación de conceptos mediante preguntas del tipo verdadero o falso

Prueba C4.P1.B

Evaluación de conceptos mediante preguntas de opción múltiple

Prueba 4.P1.C

Evaluación del aprendizaje de conceptos mediante cuestiones abiertas (con justificación de respuesta)

Parte 2: Aprendizaje de destrezas (C4.P2)

Cuestionario 4.P2.A

Evaluación del aprendizaje de tipo práctico mediante preguntas de opción múltiple

Cuestionario 4.P2.B

Evaluación de la capacidad de resolución de problemas mediante preguntas abiertas (con justificación de respuesta)

9.4 ANEXO 4: Pruebas de evaluación tras el proceso de enseñanza-aprendizaje del tema de ondas (C4)

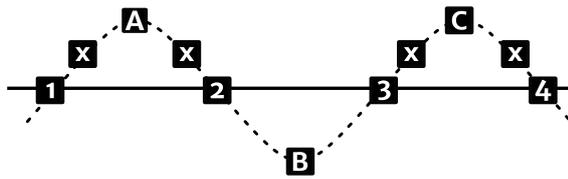
9.4.1 Parte 1: Aprendizaje de conceptos (C4.P1)

9.4.1.1 Prueba C4.P1.A: Evaluación de conceptos mediante preguntas del tipo verdadero o falso

- C4.P1.A.01 En todo movimiento ondulatorio la amplitud de la perturbación depende de la frecuencia.
- C4.P1.A.02 Cuando un receptor se aleja de una fuente de sonido en reposo la longitud de onda medida por el receptor disminuye.
- C4.P1.A.03 La velocidad de una onda sonora audible en el aire depende de la longitud de onda del sonido.
- C4.P1.A.04 Cuando se superponen dos ondas, de igual amplitud y frecuencia que viajan en sentido contrario se produce una onda estacionaria.
- C4.P1.A.05 El fenómeno de reflexión total solo se puede producir al pasar una onda desde un medio de mayor velocidad a otro de menor velocidad de propagación.
- C4.P1.A.06 Las ondas electromagnéticas pueden ser longitudinales o transversales.
- C4.P1.A.07 Los vientres consecutivos de las ondas estacionarias están separados por media longitud de onda.
- C4.P1.A.08 La velocidad de propagación de una onda en una cuerda tensa aumenta al aumentar la tensión de la cuerda.
- C4.P1.A.09 La intensidad de una onda es inversamente proporcional a la distancia al foco donde se produce dicha onda.
- C4.P1.A.10 En una onda mecánica hay vibración de la materia y propagación de energía.

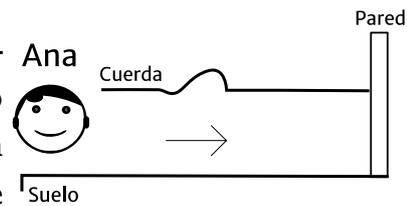
9.4.1.2 Prueba C4.P1.B: Evaluación de conceptos mediante preguntas de opción múltiple

C4.P1.B.01 De la siguiente figura, que representa una onda armónica, podemos decir que:



- [a] Los puntos A y B tienen un desfase de $\pi/2$.
- [b] Todos los puntos X están a la misma fase.
- [c] Los puntos 1 y 3 están en la misma fase.
- [d] Todas las respuestas son correctas.

C4.P1.B.02. Una cuerda tensa está atada a una pared lejana. Ana mueve su mano hacia arriba y luego hacia abajo creando un pulso que se propaga hacia la pared y la alcanza en un determinado intervalo de tiempo “t” ¿Qué tendría que hacer Ana para que el pulso llegara antes a la pared?

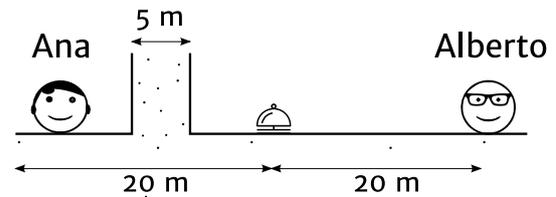


- [a] Mover su mano arriba y abajo más rápidamente, y crear así un pulso que se propague a más velocidad.
- [b] Usar una cuerda más ligera, y mantener la tensión constante.
- [c] Usar una cuerda de igual densidad, pero disminuir la tensión.
- [d] Hacer un movimiento hacia arriba y abajo más amplio, para incrementar el tamaño del pulso, así tendrá que recorrer menos distancia para alcanzar la pared.

C4.P1.B.03. Santiago escucha música con un equipo de audio de 500 W. En otro lugar, Ana escucha la misma canción con unos auriculares de tan solo 1 W. Sin embargo, ambos la escuchan al mismo nivel de intensidad (o sonoridad). De las siguientes afirmaciones verdaderas. ¿Cuál podemos decir que explica la causa física qué produce este suceso?

- [a] El sonido es una onda longitudinal
- [b] El aire es un medio que disipa energía y los auriculares están solo a 2 centímetros del tímpano de Ana
- [c] El sonido se propaga en frentes de onda esféricos
- [d] Faltan datos para concluir (a), (b) o (c), pues el nivel de intensidad o sonoridad (S) se mide en decibelios (dB) y no en vatios (W)

C4.P1.B.04. Ana y Alberto se encuentran en distintas habitaciones de un hotel con paredes de hormigón de 5 metros. En la habitación de Alberto hay un timbre cuyo sonido puede oírse en todo el hotel. Ambos se encuentran a la misma distancia de 20 metros del timbre. Si el timbre empieza a sonar. ¿Quién escuchará antes el sonido?

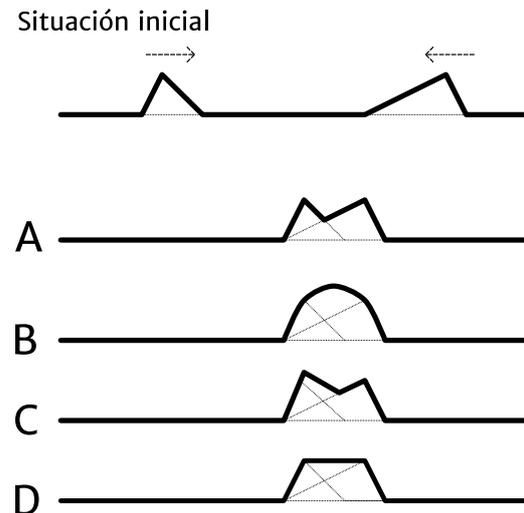


- [a] Ana.
- [b] Alberto.
- [c] Ambos lo escucharán al mismo tiempo.

C4.P1.B.05. La velocidad de propagación del sonido en el agua:

- [a] Depende de la temperatura.
- [b] Depende del volumen del sonido.
- [c] Depende de la frecuencia del sonido.
- [d] Es menor que en el aire.

C4.P1.B.06. Dos pulsos de onda en una cuerda tensa viajan con velocidades opuestas, dirigiéndose cada uno hacia el otro. En el instante en el que ambos pulsos se encuentran en el mismo punto ¿Qué situación se asemejaría más a la forma de la onda resultante?



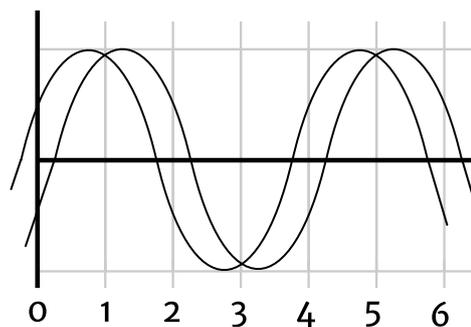
- [a] A.
- [b] B.
- [c] C.
- [d] D.

C4.P1.B.07. Partiendo de la misma situación inicial que la pregunta anterior. ¿Qué ocurrirá después de que ambos pulsos se encuentren?

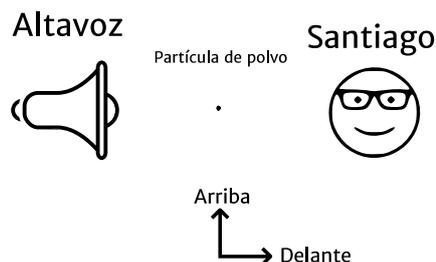
- [a] Ambos pulsos pierden parte de su energía, por la fricción durante el choque, pero continúan propagándose en la misma dirección y sentido que cada uno tenía inicialmente.
- [b] Tras el choque se crean además otros pulsos secundarios reflejados en sentidos opuestos a los iniciales.
- [c] Ambos pulsos continúan propagándose con la misma energía y forma, como si nunca se hubieran encontrado.
- [d] Resulta un único pulso, suma de ambos, que se propaga a menor velocidad hacia la izquierda.

C4.P1.B.08. Una onda viaja de derecha a izquierda y su onda reflejada en sentido opuesto, formando ambas una onda estacionaria. ¿En qué puntos se producirán nodos y vientres?

- [a] Solo dos nodos en los extremos 0 y 6, y un vientre en el punto intermedio 3
- [b] Nodos en 1, 3 y 5
- [c] Dependerá de si el modo de vibración resultante es el fundamental, 1º armónico, 2º armónico, etc.
- [d] Nodos en 0, 2, 4 y 6



C4.P1.B.09. En una habitación con el aire en calma flota una partícula de polvo situada entre un altavoz y Santiago (como muestra la figura). Cuando se enciende el altavoz se emite una nota de sonido ininterrumpidamente y a frecuencia constante ¿Cómo es el movimiento de la partícula de polvo?



- [a] La partícula se mueve hacia arriba y hacia abajo, manteniendo una distancia constante con el altavoz.
- [b] La partícula se mueve hacia adelante y atrás, manteniendo una distancia constante con el altavoz.
- [c] La partícula se mueve hacia arriba y hacia abajo, alejándose del altavoz y acercándose a Santiago.
- [d] La partícula se mueve hacia adelante y atrás, alejándose del altavoz y acercándose a Santiago.

C4.P1.B.10. Un pulso de onda se mueve por una cuerda ligera que está unida por un extremo a una pared. El pulso reflejado está:

- [a] Invertido.
- [b] Al estar el extremo de la cuerda fijo, el pulso no se refleja.
- [c] No invertido.
- [d] Que se invierta depende de la tensión y la densidad lineal de masa de la cuerda.

9.4.1.3 Prueba 4.P1.C: Evaluación del aprendizaje de conceptos mediante cuestiones abiertas (con justificación de respuesta)

C4.P1.C.01 ¿Todos los tipos de onda pueden ser tanto longitudinales como transversales, dependiendo de la dirección en la que se coloque el sistema de referencia para medir la velocidad de propagación?

C4.P1.C.02 El ladrido de un perro tiene una sonoridad (S) o nivel de intensidad sonora de 50 dB. La intensidad de un concierto de rock es 100000 veces mayor que la de dicho ladrido. ¿Es cierto que nuestros oídos solo perciben el concierto al doble de sonoridad que el ladrido?

C4.P1.C.03 ¿Es cierto que se produce interferencia de dos ondas de radio cuando dichas ondas pierden calidad al propagarse en el aire?

C4.P1.C.04 Dadas dos ondas procedentes de diferentes focos que coinciden en el mismo punto del espacio, indicar si la amplitud de la perturbación resultante aumenta o disminuye en ese punto.

9.4.2 Parte 2: Aprendizaje de destrezas (C4.P2)

9.4.2.1 Cuestionario 4.P2.A. Evaluación del aprendizaje de tipo práctico mediante preguntas de opción múltiple

C4.P2.A.01. La ecuación de una onda armónica transversal que se propaga en una cuerda viene dada por la expresión: $y = 0,5 \cdot \cos 2\pi (10t - x)$ en unidades del Sistema Internacional (SI). ¿Cuánto vale su longitud de onda?

- [a] 1 m.
- [b] 1 cm.
- [c] 10 m.
- [d] 10 cm.

C4.P2.A.02. Una cuerda vibra con su frecuencia fundamental entre dos extremos separados por una distancia fija. La función de la onda estacionaria correspondiente es: $y(x,t) = 3,0 \cos(190t) \sin(2\pi x)$. Si las magnitudes de la ecuación anterior se miden en el Sistema Internacional ¿cuál es la opción de respuesta correcta?:

- [a] La longitud de la cuerda es de 1,0 m.
- [b] La velocidad de propagación de la onda en la cuerda es de 30 m/s.
- [c] La amplitud con que oscilará un punto situado a 0,50 m del extremo de la cuerda es 3,0 m.
- [d] El periodo de oscilación de un punto situado a 0,25 m del extremo de la cuerda es 5,3 ms.

9.4.2.2 Cuestionario 4.P2.B. Evaluación de la capacidad de resolución de problemas mediante preguntas abiertas (con justificación de respuesta)

- C4.P2.B.01 Cuando una onda plana atraviesa un medio de 80 cm de espesor se reduce la intensidad en un 30% del valor inicial. a) ¿Cuál es el coeficiente de absorción del medio? b) ¿Qué distancia debe recorrer para reducir la intensidad inicial a la mitad?
- C4.P2.B.02 Una cuerda de guitarra de 60 cm de longitud vibra en su frecuencia fundamental de 246 Hz ¿Cuál es la tensión de la cuerda si su masa es de 2g? ¿A qué velocidad se propaga la onda transversal?

Anexo 5

C5

Encuesta de opiniones del alumnado sobre el desarrollo de la experiencia educativa

9.5 ANEXO 5: Encuesta de opiniones del alumnado sobre el desarrollo de la experiencia educativa (C5)

Te agradeceríamos que nos aportes tus opiniones sobre la utilidad del uso de los mandos interactivos de respuesta a distancia, como herramienta de apoyo a la docencia de la asignatura Fundamentos Físicos de la Ingeniería. Se trata solo de indicar (con un círculo o una X) el grado de acuerdo con cada idea propuesta en una escala de valoración: 1=“Muy en desacuerdo”, 2=“en desacuerdo”, 3=“ni de acuerdo ni en desacuerdo”, 4=“de acuerdo”, 5=“muy de acuerdo”

- | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| C5.01 | El feedback instantáneo me facilita si estoy entendiendo los conceptos durante las clases. | <input type="checkbox"/> |
| C5.02 | Me ha costado aprender el funcionamiento de los mandos interactivos. | <input type="checkbox"/> |
| C5.03 | La herramienta empeora mi forma de aprovechar las clases para aprender. | <input type="checkbox"/> |
| C5.04 | Los mandos interactivos aumentan mi participación en clase. | <input type="checkbox"/> |
| C5.05 | Los mandos interactivos aumentan mi atención en clase. | <input type="checkbox"/> |
| C5.06 | Considero que la herramienta a contribuido a un mejor conocimiento de los conceptos físicos. | <input type="checkbox"/> |
| C5.07 | Los mandos interactivos me ayudan a enfrentarme mejor a los exámenes teóricos. | <input type="checkbox"/> |
| C5.08 | Prefiero que el profesor conozca mis respuestas. | <input type="checkbox"/> |
| C5.09 | Finalmente, te dejamos este espacio abierto para exponer críticas, sugerencias o comentarios sobre el uso de los Mandos de Respuesta Interactivos como herramienta de apoyo docente en el marco de la asignatura Fundamentos Físicos de la Ingeniería II. | | | | | |

