



---

**Universidad de Valladolid**

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

Trabajo Fin de Máster

**Animaciones y simulaciones  
computacionales para mejorar los  
procesos de enseñanza-aprendizaje de las  
ondas en Bachillerato**

**Autor:** Pelayo Marín Villa

**Tutora:** Ana María Grande Sáez

**Curso 2020-2021**

*A mi madre, por enseñarme el oficio  
A mis alumnos de prácticas*

*escribir para no morir  
tarea idiota que odio  
placer que sólo da trabajo*

*el tiempo de llenar un papel  
es tiempo ya de muerte  
y lleno sólo tiende  
un puente en el vacío*

**Alberto Cardín Garay**

# Agradecimientos

Quisiera dedicar las primeras líneas a los familiares y amigos que me han apoyado durante los acontecimientos más amargos de los últimos meses. Sin lugar a dudas, vuestro cariño y empuje me permitieron reflotar y poder concluir este trabajo a tiempo. Gracias de todo corazón.

Sirvan estas líneas para reconocer el empuje, los consejos, la ayuda y la dedicación proporcionados por mi tutora Ana. Ella siempre estuvo dispuesta a echarme una mano en la creación de una propuesta que persigue expandir la aplicación de los recursos informáticos de una manera responsable en la enseñanza de la física en los institutos y fue una suerte aprovechar su pasión y experiencia como docente para perfilar algunos aspectos del trabajo.

Por otro lado, Óscar Ruiz Pardo tuvo la amabilidad de acogerme como tutor de prácticas en el IES Pinar de la Rubia, un centro que llevo en el corazón desde los once años, durante los dos meses que duró mi estancia. Guardo en mi memoria con gran cariño nuestras conversaciones por los pasillos, las horas de guardia en la 205, los ratos “policíacos” durante los exámenes, las reuniones de tutores, la instalación de aquella exposición sobre el consumo sostenible... A él va también este texto.

Me siento obligado por un prurito de justicia a recordar la influencia decisiva de tres profesoras maravillosas durante mi etapa secundaria, tres monumentos a la profesión, sin las cuales no valdría la pena dejarse arrastrar por la nostalgia tan fácilmente. Me referiré a ellas siguiendo el orden alfabético de los nombres con que siempre las traté.

Elena avivó el fuego literario que había comenzado a avivar en mi interior desde que mandé una zapatilla de Hércules a Marte con cinco años y lo convirtió en una pasión irrefrenable. Tuve la infinita suerte de cursar una asignatura optativa ya extinta, Literatura Universal en cuarto curso de ESO, que se convertiría en mi favorita de todos los tiempos (honor que mantiene aún). Elena creó una pasarela donde desfilaron personajes tan significativos como Antígona, Ifigenia, Lisístrata, Aquiles, Jasón, Virgilio, Dante, el conde Lucanor, Otelo, Fray Lorenzo y Macbeth. Pudieron hacerlo sin demasiada prisa ya que tuvimos la suerte de poder LEER esas obras inmortales, rechazando la gélida enumeración de características que acompañan a otros docentes de la materia. La única “pega” que se le puede poner a esa asignatura tiene que ver con factores climáticos: fue una lástima no poder disfrutar de la representación de *Ifigenia en Áulide* (Eurípides) en el teatro de Clunia por culpa de la inoportuna lluvia. De la puta lluvia.

Su iniciativa por el fomento de la lectura titulada *Hoy nos lee* llenaba la biblioteca durante los recreos de los jueves con un ambiente cultural donde experimenté la lectura pública de obras tan fascinantes como *Los aeronautas de la cosmopista* (Julio Cortázar y Carol Dunlop). Aunque si hay algo de lo que no puedo olvidarme es de su continuo apoyo a mi incipiente actividad escritora desde las primeras instancias de nuestro tratamiento mutuo cuando yo apenas levantaba metro y medio sobre el piso. En ello sigo, y quizás algún día pueda tener el honor de publicar algo que te llene de orgullo.

María Jesús contribuyó decisivamente a mi desarrollo como apasionado de las ciencias naturales, en particular de la física y la química. Fue mi profesora de esas materias durante los dos años del bachillerato, además de tutora en primero, y con ella sufrí un enamoramiento hacia estas materias. Nunca había sido particularmente aficionado a las matemáticas, las odiaba para ser claros, por lo que esta hazaña puede resultar particularmente digna de elogio. Ella me desveló que la física no consistía en una manivela de aplicar ecuaciones siguiendo una receta sino en un esquema de pensamiento emocionante mediante el cual acercarse a comprender el mundo a través de modelos y de la experimentación. Recuerdo vívidamente las clases sobre la estructura del átomo y la fascinación con que escuchaba sus razonamientos mientras desentrañaba aquellos misterios. He de agradecerle sinceramente además su insistencia en que no cometiese la locura de quitarme Matemáticas en segundo curso porque estaba harto de ellas (recordar estas cosas sirve para darse cuenta de que sí evolucionamos, al menos individualmente). Como apunte a la influencia que ejerció sobre mí y algunos de mis compañeros, mencionar que fuimos capaces un buen número de nosotros de “sacrificar” varias de nuestras preciadas tardes de segundo de Bachillerato en ir con ella al instituto a prepararnos para las Olimpiadas de Física y de Química. Se trata, sin duda alguna, de una profesora irremplazable.

Seni ocupa un lugar especial en mi corazón. Con esta profesora de Biología y Geología, ¿quién se perdía una clase? Hablaba recientemente con un amigo (saludo si lo estás leyendo) sobre cómo volvió atractivos los aspectos más farragosos de la materia que nos habrían resultado sin duda pesados y anodinos en manos ajenas a las de esta mujer. Mediante su entrega constante, irrefrenable, apasionada y cercana logró despertar en mí y otros tantos compañeros el deseo por continuar los estudios científicos en el bachillerato, donde tuvimos la suerte de volver a coincidir con ella en un aula sobresaturada. Esto no la desanimaba; al contrario, parecía crecerse ante la adversidad y dar lo mejor de sí. Quizás ella no lo sabe, pues no la he vuelto a ver, pero muy probablemente habría estudiado Biología en Valladolid arrastrado por su influjo si hubiese existido tal oportunidad.

Y así, a modo de sorpresa, quiero concluir esta sección con un representante masculino. Me hace especial ilusión registrar su caso por tratarse de una muestra de cómo pueden evolucionar con el tiempo los lazos emocionales, afortunadamente. Descubrí en segundo de la ESO un profesor llamado Félix que impartía la asignatura Educación para la ciudadanía. El primer día fui condenado a la última fila debido a su ordenación por orden alfabético de la clase. Nunca me gustó sentarme en primera línea intimidado por la presencia del profesor, pero normalmente me gustaba situarme en segunda o tercera para seguir la clase a una distancia confortable del adulto y la pizarra. Aquel destierro a los confines del aula por culpa de los designios azarosos del profesor serio que venía una sola vez a la semana provocó una pequeña

revuelta en mi interior que se zanjó con la indiferencia hacia esa asignatura durante el resto del curso y la creación de un *antagonista*. Años después, finalizado mi exilio, Félix volvió a cruzarse en mi camino con la excusa de la filosofía y armado con una nueva herramienta para sembrar el terror en las aulas y cobrarse las cabezas de los estudiantes más pudorosos: los exámenes orales. ¿Qué locura es esta?, me reconcomía en mis adentros. Encima me toca en una asignatura por la que sé que no me voy a presentar a la PAU (se podía elegir por Historia y tenía mis preferencias claras en septiembre). Así llegaron, paulatinamente, el paso del mito al *logos*, los presocráticos, la mayéutica, la caverna, la física aristotélica, las tres vías, la revolución científica, el empirismo, el imperativo categórico (Kant fue una delicia), la dialéctica hegeliana, los manifiestos obreros, la muerte de dios... Un recorrido por la historia de la filosofía con el que limé mis asperezas con mi antagonista (si bien mi respeto a los exámenes orales no desapareció) y lo acepté como un docente increíble con quien tengo la suerte de haber forjado un vínculo indestructible. Finalmente, dicho sea de paso, acabé por hacer la opción de filosofía en el examen de selectividad. Benditos cambios.

# Resumen / Abstract

La propuesta didáctica incluida en el presente trabajo pretende facilitar a los alumnos de segundo de bachillerato la comprensión de las ondas y los fenómenos ondulatorios utilizando recursos computacionales (simulaciones realizadas con *CST Studio Suite* y animaciones con *Geogebra*) como complemento a las lecciones del profesor. La elección de una metodología basada en la combinación de estos dos elementos a partir de un enfoque constructivista del aprendizaje se asienta en una serie de estudios científicos llevados a cabo durante los últimos quince años en España y otros países de nuestro entorno europeo que demostraron su efectividad para mejorar la comprensión de los conceptos físicos por parte de los alumnos frente a las metodologías únicamente expositivas, incapaces de corregir por sí solas las ideas previas y de ayudar a un aprendizaje significativo.

**Palabras clave:** TIC, CST-Studio, Geogebra, ondas, fenómenos ondulatorios, física.

*The teaching project included in this work aims at providing the students of the second course of Bachillerato with a frame which could potentially aid them to enhance their comprehension of waves and undulatory phenomenae by means of combining the usage of computational resources (simulations run on *CST Studio Suite* and animations coded with *Geogebra*) as well as lecture exposition. This particular choice was made under the influence of the constructivist learning theory of learning and a series of peer-reviewed scientific studies conducted in Spain and other nearby territories over the last fifteen years which showed the effectiveness of this methodology so as to improve the students' comprehension of physics-related concepts against the exclusive talk-chalk method, unable to correct young learners' misconceptions of physics and help them produce a meaningful learning.*

**Keywords:** ITC, CST-Studio, Geogebra, waves, undulatory phenomenae, physics.

# Proemio - Sobre ciencia, magia y docencia

*«When people choose not to believe in God, they do not thereafter believe in nothing. They then become capable of believing in anything.»*

– Edith Wharton, *The Age of Innocence*

Vivimos en una era donde la magia continua dominando la sociedad con puño de hierro. Sus milagros, sucesos que Umberto Eco **definió** como cortocircuitos entre una causa y un efecto distantes entre sí, continúan absorbiendo a la inmensísima mayoría de las personas (científicos incluidos). Han diversificado aceleradamente su presencia durante las últimas décadas para alcanzar lugares alejados de las ilustraciones de los códices, las paredes de los templos, las explicaciones del imán o del monje y volverse más atractivas en forma de *YouTube*, *Instagram*, *TikTok* y demás tecnologías y servicios contemporáneos cuya expansión es ya imparable.

La ciencia, entendida como un sistema de pensamiento capaz de generar conocimiento revisable a partir de la experimentación, aunque sujeto a variables como la serendipia, la imaginación o las creencias sobrenaturales, se encarga fundamentalmente de establecer relaciones causales entre elementos cuya confianza se cimenta sobre el grado de confianza de los resultados obtenidos. Resulta innegable para cualquier persona que conozca, por superficial que sea dicho conocimiento, la Historia de la Ciencia en el siglo XX las numerosísimas transformaciones sufridas por el conocimiento científico a lo largo de la centuria; en 1900 se discutía sobre el evolucionismo de Darwin y cien años después se secuenciaba el genoma humano. Habitualmente se sostiene que esta revolución científica provocó (y provoca) cambios significativos incluso en las relaciones humanas de a pie más distantes de los laboratorios. Pero, ¿realmente la ciencia es el brazo ejecutor? ¿No estaremos confundiendo un sistema de pensamiento elusivo para muchas personas con una herramienta atractiva cuya proliferación escapa a nuestro control? Una herramienta llamada tecnología cuya misión consiste en ofrecer cortocircuitos entre las causas y efectos encontradas por la ciencia y ocultados bajo una carcasa opaca pero atrayente.

Esto no implica la necesidad de caer en reduccionismos estúpidos por medio de los cuales parecer un ludista trasnochado. Necesitamos a la tecnología para llegar donde antes tan sólo pudimos soñar, ya sea en el plano espacial (la Luna, Marte...), médico (protonterapia, resonan-

cia magnética...), comunicativo (internet y sus posibilidades), artístico (el cine o la fotografía serían imposibles, la música está disponible en cualquier lugar...), empresarial (robotización de las tareas repetitivas, nuevas formas de extracción de recursos naturales...) o energético (sistemas fotovoltaicos y de viento...), entre muchos otros. Algunos productos tecnológicos como las lavadoras eliminan de nuestras vidas cotidianas actividades muy sacrificadas, o nos permiten desplazarnos grandes distancias para trabajar o disfrutar de unas vacaciones. La tecnología, por otra parte, también repercute positivamente en la investigación científica si es capaz de proporcionar instrumentos con los que obtener unos resultados de mayor confianza. El peligro que vengo a recordar aquí es la tendencia natural a subestimar el efecto calmante de la magia sobre el intelecto en las personas versadas y, peor aún, la capacidad de suprimir el interés en las mentes legas.

El sueño de la razón no produce monstruos sino fantasías. Algunas de las maquinaciones pueden llevar a la militancia en foros conspiranoicos, la negación de las fuentes de información científicas y la entrada en sectas oscurantistas, aunque sin ir tan lejos también puede desembocar en una posición insensible frente a los ataques sistemáticos al cuerpo investigador de un país o una federación. Paradójicamente, la tecnología nacida de un conjunto de conocimientos científicos posibilita una difusión más eficaz de la propaganda anticientífica, y una acomodación cognitiva a la autoridad tecnológica debilita la posición científica en la sociedad.

¿Qué hacer ante esta situación? Desde luego que una pregunta tan abierta puede responderse desde tantos puntos de vista como seres humanos se planteen resolverla. En primer lugar, considero necesario identificar estos problemas porque, volviendo al discurso de Eco, «es útil [...] saber en qué mundo vivimos, sacar las conclusiones, volvernos tan astutos como la serpiente y no tan ingenuos como la paloma». En segundo lugar, aunque la realidad hipermediatizada nos recuerda frecuentemente el peligro que suponen estos grupos, no considero que haya una proliferación alarmante de escépticos irracionales (es sensato serlo en su justa medida). Considero que hay pruebas como las **altas tasas de vacunación** voluntaria en la campaña española demuestran que la mayoría de los españoles *confía* en la ciencia a pesar de la ingente cantidad de falsedades e informaciones tendenciosas vertidas sobre la tecnología de las vacunas durante el último año (bien es cierto que seguimos escuchando aquello de “la vacuna buena” y “la vacuna mala” aunque estadísticamente no tiene un impacto significativo en la campaña). Nótese cómo he marcado la forma conjugada del verbo *confiar*, pues sería estúpido pensar que todos los millones de españoles vacunados y por vacunar han analizado rigurosamente y comprenden la acción de la vacuna y el sistema inmunitario, se han leído los informes de las farmacéuticas y de las agencias del medicamento internacionales y comprenden todos los riesgos posibles. La gente, simplemente, *confía* en la vacuna como único instrumento para despertar de la pesadilla y recuperar sus vidas previas; un pinchacito en el brazo y ¡pluf! adiós miedos. Volvemos nuevamente al equívoco entre lo que es tecnología y lo que es ciencia, pues hay una ciencia sobre la que se apoyan unas vacunas que realmente son un producto tecnológico mágico para quienes no son expertos.

El origen de esa confianza creo que reside precisamente en la educación, aunque quizás no de la forma que algunos desearían. Me explico: creo que la mayoría de los españoles se fían de la ciencia porque, independientemente de sus carreras profesionales, alguna vez en su

juventud han tenido conocimiento de una serie de hitos científicos y ahora piensan que se podrán conseguir nuevos avances recurriendo a ellos. Probablemente no tengan una idea muy fina dado el paso de los años sobre aquello que estudiaron (o memorizaron para el examen) pero sí recuerdan haber visto a su profesor repetir en varias ocasiones “esto es muy importante porque...” o “gracias a esto se consiguió...” o “tenéis que agradecer a esto que ahora...” acompañado de alguna o algunas aplicaciones de interés histórico o social. La familiarización de los estudiantes con una visión triunfalista del desarrollo científico provoca, en mi opinión, que a la larga surjan en las personas actitudes tan poco científicas como puede ser la confianza en aquello que no se comprende pero que simplemente resulta familiar por sus éxitos y no tanto por sus fracasos. Aunque los científicos parezcan gente seria y aburrida, figuras como Crespo (QuantumFracture), Rocío (Gata de Schrodinger) y Sandra (La Hiperactina) resultan atractivos por su desparpajo y su humor mediante el cual pueden encandilar a las audiencias repasando o introduciendo cuestiones científicas de muchos quilates a personas que buscan un estímulo intelectual aunque sus vidas no giren en torno a la ciencia.

Para mí, ese es el camino docente. Tenemos la obligación de transmitir una serie de conocimientos y habilidades viene manifestada por la legislación a unos adolescentes que muy probablemente no estén interesados en nuestras materias porque les quiten el sueño otras cuestiones más acuciantes de sus vidas. Por lo tanto, cualquier metodología que logre captar su atención y dejar una huella en sus conciencias que pueda aflorar en el futuro será una buena idea, aunque haya algunas ideas mejores que otras en términos de eficacia (ahí se encuentra la investigación educativa). Lo fundamental sería lograr que (casi) todos nuestros alumnos identificasen algunos elementos científicos presentes detrás de las tecnologías de uso habitual para acercar los éxitos de la ciencia, de modo que sus experiencias en la escuela generasen un poso de confianza en su memoria lo suficientemente adherido como para que no se perdiese a lo largo de sus vidas. En definitiva, aprovechar el poder de las emociones para dejar un recuerdo dulce que perpetúe la creencia general en un sistema racionalista. Una linda paradoja.

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>13</b>
1.1. Las asignaturas del ámbito tecno-científico en la educación secundaria española	13
1.2. La física en la educación secundaria española . . . . .	15
1.2.1. ESO . . . . .	15
1.2.2. Bachillerato . . . . .	15
1.3. Sobre la distinción entre animaciones y simulaciones computacionales . . . . .	16
<b>2. Justificación de la propuesta</b>	<b>17</b>
2.1. El aprendizaje significativo . . . . .	17
2.2. El desarrollo de las competencias clave . . . . .	18
2.3. Las dificultades y retos en el aprendizaje de la física en la educación secundaria	20
2.3.1. Investigaciones relevantes . . . . .	20
2.3.2. Una discusión multidisciplinar sobre el fondo de la cuestión . . . . .	22
2.3.2.1. Origen y polémicas de la tradición educativa española . . . . .	22
2.3.2.2. La brecha sociocultural de las enseñanzas científicas . . . . .	25
2.4. El uso de animaciones y simulaciones para facilitar el acceso a la comprensión de la física . . . . .	27
2.4.1. Principales factores educativos hallados por las investigaciones . . . . .	27

2.4.2. ¿Cómo introducirlas en el aula? . . . . .	29
2.5. ¿Por qué ondas? Una explicación personal . . . . .	30
<b>3. Objetivos de la propuesta</b>	<b>32</b>
3.1. Objetivos generales . . . . .	32
3.2. Objetivos específicos . . . . .	33
<b>4. Propuesta didáctica</b>	<b>34</b>
4.1. Contexto académico y metodología . . . . .	34
4.1.1. Marco curricular y computacional de la propuesta . . . . .	34
4.1.1.1. Contenidos . . . . .	34
4.1.1.2. Competencias . . . . .	35
4.1.1.3. Geogebra-Animaciones . . . . .	36
4.1.1.4. CST Studio Suite-Simulaciones . . . . .	37
4.1.1.5. Requisitos previos . . . . .	37
4.1.2. Metodología . . . . .	38
4.2. Descripción de los recursos . . . . .	38
4.2.1. Geogebra . . . . .	38
4.2.1.1. Ondas y movimiento armónico simple . . . . .	39
4.2.1.2. Ondas transversales y longitudinales . . . . .	40
4.2.1.3. Fundamentos de las ondas armónicas transversales . . . . .	41
4.2.1.4. Superposición de ondas armónicas transversales . . . . .	42
4.2.1.5. Batidos . . . . .	43
4.2.1.6. Refracción . . . . .	44

4.2.1.7.	Polarización de las ondas transversales . . . . .	45
4.2.1.8.	Efecto Doppler clásico . . . . .	46
4.2.1.9.	Ondas estacionarias en una cuerda . . . . .	47
4.2.1.10.	Ondas estacionarias en un tubo lleno de aire . . . . .	48
4.2.1.11.	Ondas electromagnéticas . . . . .	49
4.2.2.	CST Studio Suite . . . . .	49
4.2.2.1.	Onda plana . . . . .	50
4.2.2.2.	Difracción . . . . .	51
4.2.2.3.	Interferencias . . . . .	52
4.2.2.4.	Refracción . . . . .	53
4.3.	Evaluación del alumnado . . . . .	54
4.4.	Evaluación de la propuesta . . . . .	57
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y nuevos horizontes</b>	<b>60</b>
5.1.	Recapitulación . . . . .	60
5.2.	Futuro . . . . .	62
<b>A.</b>	<b>Materiales informáticos</b>	<b>64</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>65</b>

# Capítulo 1

## Introducción

*«Las palabras construyen puentes hacia regiones inexploradas.»*

– Martin Heidegger, *Cuadernos negros*

Este capítulo está dedicado a introducir las principales características curriculares de las asignaturas relacionadas con los contenidos tecno-científicos del currículo de la enseñanza secundaria en España, centrandó su atención particular en aquellos de la física.

### 1.1. Las asignaturas del ámbito tecno-científico en la educación secundaria española

La etapa secundaria del sistema educativo español viene regulada a nivel nacional por la [Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa](#). Por otra parte, debido a las transferencias en materia educativa de la que gozan todas las comunidades autónomas, en Castilla y León el currículo oficial de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y el Bachillerato viene regido por la [ORDEN EDU/362/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León](#) y la [ORDEN EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León](#), respectivamente.

Estos documentos establecen las bases de unas asignaturas relacionadas con los contenidos tanto teóricos como procedimentales y actitudinales relacionados con las ciencias naturales (Física, Química, Biología y Geología) y la tecnología (Tecnología, Control y Robótica, Programación Informática y Tecnología Industrial). Todas ellas se imparten en distintos cursos de ESO y Bachillerato, aunque con distintos enfoques curriculares; Física y Química, unidas

hasta primero de Bachillerato, son obligatorias únicamente en segundo (tres horas semanales) y tercer curso (dos horas semanales) de la ESO y tienen un currículo similar; Tecnología tan sólo es obligatoria en el primer curso de la ESO, donde se incluyen contenidos sobre los materiales de uso técnico (como los aluminios y aceros), los mecanismos simples (poleas), circuitos eléctricos y TIC (componentes de un ordenador); los alumnos de Programación Informática tienen la oportunidad de trabajar con entornos de programación gráfica y mediante código por primera y única vez en el currículo.

Asimismo, me gustaría destacar la existencia de tres asignaturas que se encuentran íntimamente ligadas a los procedimientos científicos y quizás resulten menos conocidas. La primera de ellas pertenece al bloque de las materias de libre configuración autonómica y recibe el nombre de Laboratorio de ciencias. Tal y como explica la [ORDEN EDU/589/2016, de 22 de junio, por la que se regula la oferta de materias del bloque de asignaturas de libre configuración autonómica en tercer y cuarto curso de educación secundaria obligatoria, se establece su currículo y se asignan al profesorado de los centros públicos y privados en la Comunidad de Castilla y León](#), esta asignatura se oferta en cuarto curso de la ESO con el objetivo primordial de proveer a los estudiantes de una profundización en los contenidos de las asignaturas de ciencias de ese mismo curso a través del trabajo experimental, amén de introducirles algunos nuevos que serán de interés en las asignaturas científicas de Bachillerato. Sus contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje están divididos en ocho bloques que van desde el estudio del movimiento, la energía y las ondas (Bloque 2. Física: movimiento, energía y ondas) hasta la interpretación de mapas topográficos (Bloque 8. Historia de la Tierra y el relieve). Se trata de la única asignatura de todo el currículo de marcado carácter práctico disponible en la etapa obligatoria, por lo que representa una oportunidad excepcional para los profesores (y los estudiantes) de ciencias de utilizar una metodología alternativa al trabajo del aula utilizando dos horas semanales.

Por otro lado, Ciencias aplicadas a la actividad profesional se halla en el bloque de las asignaturas troncales de elección del segundo ciclo de la ESO, localizada en el cuarto curso. Fue diseñada para que los alumnos aprendiesen los aspectos básicos teóricos y experimentales de las ciencias, valorasen la contribución de la ciencia al bienestar social y comprendan el rigor y la disciplina derivada del método científico, si bien el documento oficial explicita la recomendación de tratar los contenidos de manera eminentemente práctica. Los estudiantes que eligen cursar esta materia tienen la oportunidad de conocer algunas técnicas instrumentales básicas de separación de sustancias (filtrado), aprender a redactar informes de laboratorio, informarse rigurosamente sobre la contaminación del medio ambiente y los mecanismos para reducirla o evitarla, el impacto de la I+D+i en la sociedad y realizar un breve proyecto de investigación durante las cuatro horas semanales estipuladas en la legislación.

Cultura científica es también una materia específica del segundo ciclo de la ESO cuyos contenidos engloban conocimientos de Geología, Física, Química, Tecnología y Biología. Está dirigida a aquellos estudiantes interesados en la ciencia y la tecnología como áreas de conocimiento y también de transformación e impacto social. El programa de la asignatura, impartido utilizando dos horas semanales, incluye una selección de puntos tan distantes entre sí como las evidencias sobre la asignatura de la materia oscura, la contaminación de los acuíferos, la

pila de hidrógeno, las enfermedades mentales, la síntesis de polímeros y las aplicaciones de la nanotecnología. Mediante un discurrir por estos y otros temas de actualidad científica y tecnológica se pretende que los alumnos tomen conciencia de la ciencia como el motor de desarrollo de nuestra sociedad.

## 1.2. La física en la educación secundaria española

Una vez visto todo lo anterior, ¿dónde queda la física? Algunos de sus contenidos se trabajan en las asignaturas de Cultura científica y Laboratorio de ciencias que aparecen en la sección previa, aunque el grueso curricular se lo lleva la asignatura llamada Física y Química, situada entre segundo curso de ESO y primero de Bachillerato, y la Física de segundo de Bachillerato.

### 1.2.1. ESO

Los dos únicos niveles educativos donde el estudio de los contenidos relacionados con la física es inexcusable son segundo y tercero de ESO. Ambos cursos tienen dos bloques denominados *El movimiento y las fuerzas* y *Energía* que incluyen el movimiento rectilíneo uniforme, la ley de Hooke, la fuerza de rozamiento, la interacción electrostática y magnética (tratamiento cualitativo, no vectorial), la diferencia entre calor y temperatura, los tipos de energías, la ley de Ohm o la ley de Moore. De esta forma se pretende que los estudiantes tengan una visión panorámica de los intereses de la física mientras construyen un bagaje elemental que expandirán en los años subsiguientes quienes continúen por el itinerario científico. Aquellos estudiantes que deciden continuar sus estudios con otras materias de corte humanista no volverán a ampliar sus conocimientos en la escuela.

En cuarto de ESO se introducen la hidrostática, la ley de gravitación universal y las leyes de la dinámica de Newton, el equilibrio térmico y las máquinas térmicas. La introducción de los nuevos elementos matemáticos de este curso, los vectores, para el análisis de los problemas físicos supone un salto significativo respecto de las herramientas escalares utilizadas hasta entonces, si bien esta preparación es necesaria de cara al Bachillerato. Durante mi experiencia de prácticas pude tomar buena nota de los inmensos problemas sufridos por los estudiantes que promocionaron al bachillerato científico sin una base de conocimientos en magnitudes vectoriales, motivo que me lleva a destacar este apartado.

### 1.2.2. Bachillerato

Los contenidos de física ocupan tres bloques temáticos del primer curso de bachillerato. Suponen una revisión y expansión de los conceptos estudiados durante la ESO haciendo uso de

un rigor matemático más acentuado debido a la posibilidad de aplicar derivadas (se introducen en la asignatura de Matemáticas) y la exigencia mínima de los vectores. Además de revisar los movimientos rectilíneos, se introducen los compuestos (lanzamiento parabólico), el movimiento circular uniformemente acelerado y el movimiento armónico simple haciendo uso de las funciones armónicas. El bloque de dinámica revisa las tres leyes de Newton e introduce dos magnitudes físicas cruciales para el estudio de los sistemas dinámicos como son el momento lineal y el momento angular. También se introducen las fuerzas centrales, la ley de Coulomb y el principio de superposición. Finalmente, en el bloque de la energía, se trata la conservación de la energía mecánica, el teorema de las fuerzas vivas y el trabajo eléctrico.

Finalmente, los estudiantes que alcanzan el curso de segundo de Bachillerato siguiendo el itinerario científico tienen la oportunidad de matricularse en la asignatura de Física. Compuesta por cinco bloques de contenidos puramente dedicados a la materia, el primero versa sobre la actividad científica, los conceptos alcanzan el mayor nivel de abstracción de toda la etapa secundaria y al estudiante se le exige una mayor rigurosidad en sus razonamientos. Estos bloques incluyen una ampliación de algunos de los contenidos trabajados en los años previos sobre gravitación y electromagnetismo utilizando el concepto de campo y otras herramientas matemáticas como el potencial y el flujo, amén de los vectores. Por otra parte, existe un bloque dedicado a la óptica geométrica, otro a la física contemporánea y, finalmente, uno a los fenómenos ondulatorios. Este es el bloque de contenidos que centrará la atención del trabajo durante el resto de su extensión.

### 1.3. Sobre la distinción entre animaciones y simulaciones computacionales

En este trabajo se considerarán **animaciones** aquellos programas destinados a ilustrar los conceptos físicos utilizando unos modelos físicos muy simples. La valía de dichos programas reside en la oportunidad de visualizar de forma animada el marco conceptual que debe estudiar el estudiante con el fin de facilitar su comprensión de éste. Los alumnos podrán interactuar con estos programas variando algunos de sus parámetros con objeto de observar sus efectos.

Por otro lado, las **simulaciones** son programas más rigurosos físicamente hablando capaces de reproducir con gran precisión fenómenos naturales de interés como la difracción por una rendija o las interferencias producidas por dos fuentes coherentes separadas una distancia fija. El aspecto diferencial respecto de las animaciones es su representación avanzada de la realidad física; el programa utilizado en este trabajo, *CST Studio Suite*, es utilizado por la industria tecnológica para estudiar los diseños de antenas, aceleradores de partículas, etc. Los alumnos tendrán acceso a los resultados en forma de vídeos o *gifs* de las simulaciones programadas por el profesor de aquellos fenómenos cuya visualización considere más enriquecedora con el fin de facilitar su comprensión de estos y, de ese modo, facilitar su aprendizaje.

# Capítulo 2

## Justificación de la propuesta

*«El futuro de los niños siempre es hoy. Mañana será tarde.»*

– Cristina Peri Rossi, *La rebelión de los niños*

Las dos primeras secciones de este capítulo presentan de forma muy resumida los principios del aprendizaje significativo a partir del constructivismo filosófico y de las competencias clave establecidas por organismos internacionales a finales del siglo XX. A continuación, se exponen algunos de los hallazgos en investigaciones educativas realizadas durante los últimos años sobre las dificultades experimentadas por los estudiantes de conceptos físicos en secundaria. Finalmente, se abordan una variedad de soluciones propuestas para mejorar la accesibilidad de los contenidos.

### 2.1. El aprendizaje significativo

El constructivismo es una corriente filosófica surgida en el siglo XX según la cual el sujeto edifica su conocimiento a partir de aquello que conoce previamente. Tal y como explica [González-Tejero and Parra, 2011], el constructivismo defiende que el conocimiento que posee cada individuo es una construcción propia surgida de la interacción entre los estímulos que recibe (lectura de un texto, atención a una conferenciante, etc.) y sus estructuras cognitivas y sociales.

[Palmero, 2010] informa sobre como Ausubel desarrolló esta teoría fijándose en los aspectos que afectaban al aprendizaje del alumno, la influencia de las características cognoscitivas y personales, qué aspectos sociales e interpersonales favorecen el proceso de aprender, la motivación y distintas formas de asimilar el conocimiento, etc. La teoría del aprendizaje significativo defiende que el nuevo conocimiento se adquiere mediante el proceso de interacción con la es-

estructura cognitiva del individuo, lo que en otras palabras podría expresarse como relacionar los nuevos conocimientos con las ideas previas que el alumno adquirió en el pasado [Palmero, 2010].

Estas ideas previas son cruciales pues dotan de significado a los nuevos conocimientos al ser adquiridos. [Moreira, 2010] defiende que esta interacción no se da con cualquier idea previa del sujeto sino con algún conocimiento especialmente relevante para la cuestión que ya formaba parte de la estructura cognoscitiva del sujeto, lo que Ausubel definió como *subsunor* o *idea-ancla*.

Tanto [Palmero, 2010] como [Moreira, 2010] coinciden en que deben existir ciertas condiciones favorables para que se dé lugar un aprendizaje significativo:

- El material del alumno debe contener información que relacione los nuevos conceptos con las ideas previas de los alumnos, tener un desarrollo lógico de la materia y estar lo más contextualizado posible.
- Predisposición favorable del alumno para desarrollar su aprendizaje, lo que se traduce en una actitud cognitiva proactiva.
- Que el alumno posea unas ideas previas adecuadas sobre las cuales se pueda construir el conocimiento.

La teoría del aprendizaje significativo que domina el panorama de nuestra ley educativa actual, LOMCE, y futura, LOMLOE, es una teoría constructivista. No sólo eso, también se considera que es la base para asegurar la formación científica de los alumnos tanto en el plano competencial como en la comprensión de los fenómenos físicos [Sahelices, 2009].

## 2.2. El desarrollo de las competencias clave

Hace ya veinticuatro años, en 1997, nació el proyecto DeSeCo (Definition and Selection of Competencies) al calor del programa PISA (Program for International Student Assessment) [Rychen and Salganik, 2003]. La función principal del proyecto DeSeCo era identificar y caracterizar las competencias educativas a partir de los fundamentos teóricos educativos y empleando un enfoque multidisciplinar.

Luego de varios simposios internacionales, se llegó al consenso entre estudiosos de que las demandas de la sociedad de la información reclaman la disposición de un pensamiento crítico y un enfoque reflexivo y holístico [Rychen and Salganik, 2003]. La labor del proyecto DeSeCo quedó plasmada en una clasificación de las competencias educativas en tres categorías:

- Usar las herramientas disponibles de forma interactiva.

- Interactuar en grupos heterogéneos.
- Actuar de manera autónoma.

España y otros países europeos optaron por un modelo propuesto por la Comisión Europea donde se combinan las competencias transversales y las áreas disciplinares para dar lugar a las competencias clave.

La [Recomendación 2006/962/CE del Parlamento Europeo](#) estaba orientada a desarrollar una educación de calidad que estuviera adaptada al contexto social y a las necesidades de un futuro que en 2021 ya es presente. Se subrayaba la necesidad de facilitar a la juventud los medios necesarios para desarrollar sus competencias clave que les ayude a afrontar distintas situaciones y dificultades a lo largo de su vida, además de servirles como base para la vida laboral y la formación continua.

La [Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación](#) introdujo las competencias básicas como elemento fundamental del currículo y la [Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa](#) modificó ligeramente su marco. Ahora se entienden como un "saber hacer" que se aplica en los diversos contextos académicos, sociales y profesionales, donde se le da igual de importancia tanto al conocimiento adquirido como al propio procedimiento de aprenderlo. Se entiende que las competencias clave son aquellas que todas las personas precisan para su realización y desarrollo personal así como para la ciudadanía activa, la inclusión social y el empleo. El profesor es el responsable de diseñar y fomentar situaciones de aprendizaje significativo donde se requiera que los alumnos resuelvan problemas, apliquen y transfieran los conocimientos adquiridos y se promueva la actitud activa de los alumnos.

El aprendizaje basado en competencias en el que también se basa la nueva [Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación](#) destaca por su transversalidad y carácter integral. Finalmente, las siete competencias clave de nuestro sistema educativo son:

- Comunicación lingüística (CL).
- Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT).
- Competencia digital (CD).
- Competencia aprender a aprender (CAA).
- Competencias sociales y cívicas (CSC).
- Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor (SIE).
- Conciencia y expresiones culturales (CEC).

## 2.3. Las dificultades y retos en el aprendizaje de la física en la educación secundaria

### 2.3.1. Investigaciones relevantes

Antes de definir una estrategia para abordar un trabajo satisfactorio de las competencias clave y el aprendizaje significativo, hay que identificar los factores identificados por algunas investigaciones científicas relevantes que dificultan la enseñanza de la física en la educación secundaria.

En primer lugar, [Amadeu and Leal, 2013] sigue un enfoque constructivista para señalar dos parámetros determinantes en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la física: las *ideas previas* sobre la ciencia y la forma en que se enseña la física. La primera categoría incluye, como se ha explicado en 2.1, una serie muy variada de estructuras cognitivas esculpidas por los entornos socioculturales de los estudiantes. Los partidarios del modelo constructivista del aprendizaje (particularmente [Driver, 1986]) otorgan una gran importancia a estas ideas porque consideran que influyen en las interpretaciones que hacen los sujetos de la información que se les hace llegar. Conviene resaltar que unos desarrollos curriculares constructivistas puestos en marcha a finales del siglo XX [van den Akker, 1997] demostraron la conveniencia de que los profesores tuvieran presentes las ideas previas de sus estudiantes de cara al planteamiento y diseño de actividades así como el desarrollo de estrategias de aprendizaje y evaluación.

Siguiendo esta línea se encuentra el trabajo [Jimoyiannis and Komis, 2001], que apunta la existencia de un sistema de creencias e intuiciones sobre los fenómenos naturales extraídos de sus experiencias cotidianas que condicionan su desempeño en las materias científicas. Otras investigaciones como [Halloun and Hestenes, 1985] o [Whitaker, 1983] identificaron las “concepciones aristotélicas” de los estudiantes adolescentes de contenidos relacionados con la cinemática; piensan, por ejemplo, que la velocidad de un cuerpo que cae es proporcional a su masa [Halloun and Hestenes, 1985]. Los docentes de física (y cualquier materia científica) deben ser conscientes de la existencia de unas intuiciones sensibles o primerizas de los adolescentes que constituyen un (doloroso) recordatorio a todos los científicos sobre la abstracción de su conocimiento. Sin embargo, una mirada histórica demuestra cómo la ciencia ha podido sobreponerse críticamente al marco pre-empírico que la dominaba antes del Renacimiento para acomodar a las nuevas generaciones de científicos en paradigmas racionalistas.

Por tanto, las concepciones o ideas previas parecen tener un efecto significativo en los procesos de enseñanza-aprendizaje que los profesores deberían tratar de contrarrestar utilizando metodologías de probada eficacia contra ellas. Un número significativo de publicaciones recogidas en [Rutten et al., 2012] han encontrado válido el uso de simulaciones computacionales para ayudar a cimentar las ideas científicas en detrimento de las previas.

El otro aspecto mencionado por el trabajo [Amadeu and Leal, 2013] tiene que ver con la didáctica de la física. Los profesores recurren habitualmente a representaciones simbólicas

como gráficas o esquemas para explicar los conceptos físicos [Ploetzner and al., 2009] no sólo mediante la palabra. La creciente disponibilidad de medios informáticos tanto en las aulas como en los hogares posibilita a los docentes incluir representaciones dinámicas de conceptos físicos dependientes del tiempo y el espacio [Ainsworth and VanLabeke, 2004] que también pueden venir acompañados de características sonoras gracias a las posibilidades multimedia. La utilización de las representaciones animadas puede desarrollar las habilidades de resolución de problemas científicos en los estudiantes [Liu et al., 2008] y, como se comentó previamente, ayuda al aprendizaje de los conceptos físicos [Rutten et al., 2012].

Otras investigaciones recogen las opiniones directas de los estudiantes de secundaria. Un estudio de caso puso en práctica una escala de valoración relativa a la dificultad para aprender conceptos físicos (conocida como DiLP-S) en los alumnos de un centro de educación secundaria [Ekici, 2016]. A partir de ella se investigaron las causas de los obstáculos, identificando tres significativas: el currículo (se habla de la disonancia entre lo que se enseña y el entorno inmediato del alumno), la fragmentación del conocimiento (las estructuras cognitivas de los estudiantes relacionadas con las materias están desconectadas entre sí y entorpecen el aprendizaje [Jimoyiannis and Komis, 2001] [Ploetzner and al., 2009]) y el carácter eminentemente teórico de su enseñanza (se trabaja mucho la competencia matemática y apenas el trabajo procedimental).

En la investigación de [Solbes et al., 2007] aparece de nuevo mencionado como problema la distancia entre la investigación y el aula, además de la falta de comprensión acerca de la importancia del desarrollo científico y la percepción en los cursos más elevados de una escasez de salidas profesionales frente a otros campos técnicos como las ingenierías. Los alumnos consideraban las materias científicas como asignaturas aburridas y sin futuro. Los autores proponen trabajar con los alumnos para que relacionen la actividad científica con su entorno social, algo correspondido por las demandas que hacen los propios estudiantes [Vilches and Furió, ] de trabajar más el enfoque CTS (por las iniciales de ciencia, tecnología y sociedad) en las asignaturas científicas.

Todas estas circunstancias afectan negativamente a la percepción de las ciencias en los alumnos. Periódicamente aparecen estudios dirigidos a medir el interés de los niños y adolescentes hacia el conocimiento científico, como [Murphy and Beggs, 2003]. Una definición de “interés” resulta problemática debido a lo esquivo que resulta describir con precisión ese tipo de sentimientos. Desde un punto de vista psicológico, el trabajo [Harackiewicz et al., 2016] reconoce que el término puede aludir a dos experiencias diferentes: por un lado, la sensación momentánea de ser cautivado por un objeto (imaginario o físico) y, por otro, los sentimientos duraderos que indican que el objeto es agradable y merece una atención mayor. De este modo, aquella persona *interesada* en un tema es capaz de obtener placer momentáneo al estudiarlo y también cuenta con una disposición anímica que favorece la continuidad de su empeño de forma prolongada en el tiempo [Hidi and Renninger, 2006] (decisivo para elementos educativos como la autorregulación [Sansone and Thoman, 2005]). Son estas dos “dimensiones” del interés lo que convierten a este factor emocional en una clave para la enseñanza de cualquier disciplina, particularmente la física.

Recientemente se publicó un trabajo [Rodríguez et al., 2019] que trató de medir el grado de interés de un grupo de estudiantes del Bachillerato científico español. Dicha investigación puso de manifiesto que la distancia entre la ciencia y el entorno de los alumnos provoca, además de un gran desconocimiento, la pérdida de interés en el estudio de asignaturas científicas. Esto trae como consecuencia una menor intención de emprender carreras científicas en el futuro inmediato. Estas observaciones concuerdan con la bajada en los números de matriculados en los grados universitarios de ciencias de las universidades españolas durante el periodo 2006-2016 [Peraíta and Pastor, 2010].

Un nivel de interés elevado por parte de los alumnos (y del profesor) es, por tanto, fundamental para conseguir una dinámica satisfactoria de los procesos de enseñanza-aprendizaje. Aunque, sin embargo, resulta esquivo precisar formas de trabajo que favorezcan inequívocamente el aumento del interés debido a la dependencia de múltiples factores ambientales y personales. No obstante, uno de los factores señalados por [Solbes et al., 2007] o libros como [Bauman, 2005] fue la sensación de distanciamiento en el aprendizaje de las ciencias frente a sus contextos más inmediatos; unos contextos que, en pleno siglo XXI, contienen imperativamente TIC.

### 2.3.2. Una discusión multidisciplinar sobre el fondo de la cuestión

Las próximas páginas incluyen una discusión que abordará el sentido histórico y pedagógico de la lección magistral como instrumento de la tradición educativa española. A continuación, a partir de unas consideraciones filosóficas, antropológicas y sociológicas, se procurará entender la naturaleza más íntima de algunos elementos problemáticos señalados por las investigaciones aludidas en la sección anterior.

#### 2.3.2.1. Origen y polémicas de la tradición educativa española

En primer lugar, se propone realizar una humilde indagación histórica con el objetivo de aclarar la procedencia de algunos de los elementos legislativos o sociales que están (o han estado hasta hace poco) presentes en la educación española. No se trata de una investigación académica propiamente dicha, tan sólo se ofrece una breve muestra de conocimientos para reflejar los rasgos generales de la evolución histórica de los elementos educativos. Por ejemplo, se persigue responder: ¿de dónde proviene la concepción de la escuela como mecanismo de transmisión de un conocimiento poseído por un maestro a unos alumnos ignorantes a través de métodos repetitivos, memorísticos? ¿Por qué se divide a los alumnos en clases? ¿Cuál fue el cometido original de hacer exámenes?

Se propone comenzar a repasar la tradición educativa en el mundo clásico griego. La península e islas helenas formaban una constelación de ciudades-estado llamadas *polis* con su propia organización política. No obstante, tal y como señala el estudio más riguroso hecho sobre la cultura griega [Jaeger, 2017], la crianza de los jóvenes se entendía en todas las *polis*

como la transmisión de unos valores y habilidades técnicas propias de la sociedad. El concepto *paideia* se utilizaba para designar al conjunto de elementos formativos que harían del individuo una persona apta para ejercer sus deberes cívicos [Jaeger, 2017], entre los que se encontraban la actividad gimnástica, la gramática, la retórica (especialmente importante en Atenas) y la filosofía (que incluía aspectos geométricos). Los alumnos de las escuelas (en griego *scolé* significaba ocio) como el Liceo o la Academia eran instruidos en dichas disciplinas con el objetivo de convertirse en ciudadanos virtuosos para la *polis*, alejados de las preocupaciones repetitivas o manuales (consideradas indignas) y centrados en la vida social [Jaeger, 2017].

Los maestros de la “virtud” también ofrecían sus enseñanzas a cambio de un precio económico [Jaeger, 2017]. Los sofistas atenienses compusieron el grupo más notorio de estos tutores particulares a quienes muchas familias acaudaladas confiaban la formación (especialmente retórica) de sus miembros más jóvenes. Entre los ejemplos cuyo eco ha persistido hasta nuestros días se encuentran Protágoras o Gorgias, a quienes Platón dedicó sendos diálogos filosóficos criticando su labor. El lector interesado puede dirigirse a las obras siguientes para ser cómplice de las polémicas de la época: *Sofista* y *Protágoras* de Platón, y *Las nubes* de Aristófanes.

Para hablar de Roma, se presenta en primer lugar este relieve encontrado en Neumagen, Alemania (Figura 2.1).



Figura 2.1: Grabado de una escuela romana. Fuente: [akg images](#).

La obra muestra a un profesor junto a tres discípulos. Un detalle importante es la actitud del alumno que se encuentra de pie y saluda porque llega al *ludus* (juego, en latín) sin ser reprendido. Nótese la ausencia del adverbio *tarde* porque en aquel sistema la escuela no estaba organizada según una división horaria. El alumno podía llegar a la institución cuando dispusiera de mejor humor para realizar una serie de tareas multidisciplinares, continuando la tradición griega, programadas por el cuerpo docente. Así, la formación se centraba en enseñar la *humanitas*, un concepto de nuevo extenso que incluía cualidades como el conocimiento de las leyes, la oratoria o la gimnasia que diferencian al hombre cultivado del bárbaro ignorante.

Ahora bien, conviene señalar claramente que no todos las personas que habitaban los territorios helenos ni romanos recibían la misma educación (muchas personas ni siquiera tenían

derecho a ello): tan sólo tenían acceso a este desarrollo las familias de clase alta o patricia. Tampoco había ninguna institución encargada de velar por la uniformidad de las enseñanzas a lo largo de los territorios unidos políticamente, por lo que sería incorrecto señalar la existencia de sistemas educativos [Jaeger, 2017].

La Edad Media, lejos de ser el periodo oscurantista revisado bajo la óptica ilustrada del siglo XVIII, alumbró el nacimiento del pensamiento científico contemporáneo a través del pensamiento de Roger Bacon y Guillermo de Occam. Es el tiempo también de la escolástica y, en consecuencia, del nacimiento de los centros de estudio donde acudían personas de todos los rincones de los reinos europeos a formarse en las artes liberales y teología: las universidades. El método escolástico estaba compuesto por tres pilares fundamentales [Éthienne Gilson, 2014]:

- *Lectio*, lectura y comentario de textos por parte de un orador a la audiencia. De ella se siguen las glosas, las sentencias y las sumas.
- *Disputatio*, discusión pública de cuestiones controvertidas.
- *Quaestio*, reorganización de los textos, comentarios y sentencias extraídas de la *lectio*.

Estos elementos son a su vez las bases de la lección magistral, la clase participativa y el seminario. Los estudiantes colaboraban diariamente entre sí para aprender de los textos, recibiendo de parte de los doctores tan sólo algunas indicaciones [Éthienne Gilson, 2014]. Sin embargo, durante este periodo la educación tan sólo se desarrolla a nivel superior, olvidándose de la primaria y la secundaria [Éthienne Gilson, 2014].

Hubo que esperar a la Reforma y a la Contrarreforma [Ángel Martín, 2010] para introducir la división horaria de las franjas matutinas, la necesidad de superar unas pruebas basadas en la demostración de la retención memorística del conocimiento (orden jesuítica), los libros de texto (Comenio, padre de la educación reformista, considera que hay que educar *en serio y en serie* [Ángel Martín, 2010]), la división en clases por edades y las lecciones pseudoparticipativas donde alguien lee y se identifica el silencio del público como respeto (orden salesiana). Estas órdenes fusionaron esos elementos reguladores con la lección magistral como herramienta pedagógica básica con la que instruir oralmente a los ignorantes para asegurar la transmisión de los conocimientos. Todo ello construye un modelo educativo panóptico: los estudiantes deben comportarse como si estuvieran bajo el escrutinio continuo de la autoridad docente, de modo similar a como un cristiano se debe comportar siguiendo el catecismo en todo momento ante la omnipresencia de Dios.

Es aquí donde se encuentra finalmente el origen de la tradición educativa española. Las dos grandes instituciones religiosas, jesuitas y salesianos, mantuvieron el control fáctico sobre la educación del grueso de la población durante cuatro siglos con la consiguiente impronta de sus métodos generación tras generación.

Así, ¿romper con la tradición supone eliminar la lección magistral? Luis Garicano, eurodiputado por el partido Ciudadanos, redactó un artículo de opinión titulado *¿El fin de la*

*lección magistral?* donde predicaba la necesidad de abolir las sesiones magistrales donde “el profesor, desde lo alto de su podio, predica a los ignorantes estudiantes cuya obligación es callar y tomar sus abominables apuntes” sobre la base de la proliferación de las TIC y sus posibilidades: disponibilidad para grabar exposiciones y reproducirlas tantas veces como se quiera, como quiera, cuando quiera, además del acceso a internet. El historiador y académico Enrique Moradiellos **criticó** duramente la conclusión de dicho artículo por considerarla simple (como se ha explicado antes, la lección magistral es tan solo una parte de nuestra tradición escolar) y ofreció una definición amplia sobre dicha cuestión que no puedo evitar reproducir a continuación:

*«En este sentido, la lección a cargo del maestro era y es un discurso hablado (nunca leído) y no improvisado (requiere trabajo previo) que, a modo de conferencia, exposición pública o disertación oral, pretendía y pretende instruir a los oyentes tanto en el plano informativo (datos y noticias) como en el plano lógico (conocimiento demostrativo). Y cabe subrayar que su sentido y función era (y postulamos: es) parte inexcusable de la educación entendida como proceso humano de enseñanza y aprendizaje de conocimientos o destrezas que siempre ha sido, por definición, una actividad transitiva (unos enseñan y otros aprenden), no conmutativa (ambos papeles están diferenciados), informada (exige materia transmisible y asimilable) y sujeta a normas y procedimientos (porque es un fenómeno intelectual –teórico– tanto como operacional –pragmático–).»*

Al final, un conjunto de estudios científicos a los que me referiré posteriormente han encontrado que la enseñanza de la física en educación secundaria puede mejorar en términos de aprendizaje significativo cuando se complementa la lección magistral con la utilización de elementos derivados de las TIC como las animaciones o simulaciones cuidadosamente escogidas. Por lo tanto, puesto que el conocimiento obtenido a partir de los principios del método científico [Wagensberg, 2014] permite aproximarse de la manera más segura al conocimiento de la realidad, he decidido tomar este enfoque en mi propuesta didáctica.

### **2.3.2.2. La brecha sociocultural de las enseñanzas científicas**

Creo que al hablar de la distancia percibida por los alumnos entre los contenidos de física y la realidad cotidiana, más allá de soluciones como una atribución a la falta de perspicacia en su juicio, hay que acudir a la raíz emocional del problema si se busca comprenderlo y minimizarlo. El antropólogo Alberto Cardín reflexionó en su texto *¿Magia, ciencia o religión?* incluido en *Movimientos religiosos modernos* [Cardín, 1982] acerca de cómo los ritmos desacompañados de la investigación científica (demasiado abstracta y especializada como para que la sociedad lea tome conciencia de sus descubrimientos), el desarrollo técnico (dirigido por empresas atrapadas en sus cálculos sectoriales y sin capacidad de prever sus consecuencias sociales) y las estructuras de la sociedad (producto de las interacciones y relaciones afectivas entre los individuos) producían la confusión y la falta de perspectivas en Occidente. Aunque algunas de sus observaciones puedan estar desactualizadas casi cuarenta años después, algo lógico, también resulta razonable suponer que las tensiones señaladas por el asturiano no hayan desaparecido ante la persistencia de los tres elementos aludidos (ciencia, tecnología y sociedad).

Así, para Cardín, la ciencia resultaba disfuncional con relación a su tiempo (repito, años ochenta del siglo XX) porque la concepción ilustrada de la ciencia como una ideología crítica de la sociedad, una ideología transmisible gracias a la difusión pedagógica, la raíz de la brecha entre la ciencia y la sociedad. Es un tema amplísimo situado fuera de los límites de este trabajo, si bien me gustaría señalar que la extirpación del alma racionalista es una solución muy incómoda para los científicos, pues supone acercarse a la tesis de la ciencia como el *mito dominante* contemporáneo que está «abocada a establecer una metafísica dogmática y a la construcción de mecanismos de defensa que hacen que esta metafísica se encuentre a salvo de refutación por parte de una investigación experimental» [Feyerabend, 1976].

Todo esto no debe enturbiar uno de los avisos fundamentales que transmite Cardín en su libro [Cardín, 1982]: la *brecha* entre las conciencias sociales y la investigación científica desemboca en un conjunto miedos y temores que son aprovechados por todo aquel sistema ideológico capaz de proveer de un relato atractivo y confortante al que un método racionalista no puede aspirar. Se incluirían en este conjunto las sectas y las pseudociencias.

La falta de cultura científica básica puede ser uno de los principales catalizadores de los miedos e inseguridades de las personas (primero menores y adolescentes, luego adultos y responsables legales). La pandemia del COVID-19 ha lanzado al primer plano mediático las conspiraciones y el menosprecio al procedimiento científico, una realidad que no es novedosa pero sí quizás más atractiva en su nueva forma digital (máxima difusión de la ideología gracias a internet). En este sentido, considero que la educación secundaria debe proveer a todos los estudiantes de unas habilidades mínimas que les permitan desenvolverse en la actual sociedad de la información para evitar caer en las trampas detectadas por Cardín.

Así, parece claro que los docentes científicos en los institutos deberían proveer a los alumnos de un contexto dócil (en términos de familiaridad sociocultural) para maximizar las posibilidades educativas de los procesos de enseñanza-aprendizaje. Para caracterizar dichos contextos próximos a la sociedad contemporánea, se deberá recurrir (aquí, sucintamente) a la obra de dos analistas reconocidos: Z. Bauman y M. Castells.

El polaco reflexionó sobre los retos de la educación en la “modernidad líquida” en su obra [Bauman, 2005] hasta concluir, al igual que otros autores previos como [Morin, 1999], que los sistemas educativos de países como España son incapaces de responder a las necesidades de una sociedad *en tránsito* donde los saberes se vuelven percederos rápidamente (la obsolescencia del conocimiento). Consecuentemente, Bauman sugirió adaptar los procesos de enseñanza-aprendizaje al nuevo paradigma social, diseñando un modelo de enseñanza destinado a promover el aprendizaje autónomo (donde entran factores como la autorregulación) y el manejo de los distintos medios técnicos accesibles por los alumnos [Bauman, 2005].

¿Qué es más propio de nuestros entornos contemporáneos que las tecnologías de la información y la comunicación (TIC)? Castells, discípulo de Alain Touraine, señaló en su obra [Castells, 2010] el cambio de paradigma de las sociedades occidentales desde la industrialización del siglo XIX hacia la denominada como “sociedad de la información”. El investigador acuñó este término ante la preponderancia alcanzada por el intercambio de informaciones en nuestro

mundo. Conviene aclarar una obviedad: por supuesto que el autor es consciente de que a lo largo de toda la Historia se han producido intercambios de información continuamente, pero la gran diferencia para Castells reside en que éstos no tuvieron el volumen bruto de datos ni la disponibilidad para la práctica totalidad de los individuos que poseen los actuales [Castells, 2010]. Tampoco la velocidad actual de transmisión de la información es comparable a la época previa, siendo esta muy inferior a la que opera hoy en la mayoría de Occidente gracias a los medios tecnológicos basados en la fibra óptica o las ondas electromagnéticas.

El acceso masivo a las tecnologías de la información ha llegado al punto de convertir su uso en una parte integral de la vida para muchas personas. Según el INE, en España había en 2019 al menos un ordenador en más de noventa y un hogares de cada cien, y casi la totalidad de estos disponen de acceso a internet mediante banda ancha [INE, 2019]. También las aulas de nuestra comunidad están mejor dotadas tecnológicamente, por lo que tanto los hogares de los españoles como los institutos contienen un buen número de instrumentos producto de la investigación científica de los cuales puede no comprenderse sus principios de funcionamiento a menos que se cuente con un experto. La escuela debería, pues, encargarse de formar personas capaces de desenvolverse en este contexto de actualización y creciente tecnificación [Valdmann et al., 2012].

## 2.4. El uso de animaciones y simulaciones para facilitar el acceso a la comprensión de la física

A continuación, se presentan los efectos del trabajo con animaciones o simulaciones computacionales observados por los estudios de los últimos quince años. Estos trabajos demostraron que la utilización de dichos recursos siguiendo unas líneas didácticas concretas ha resultado ser beneficiosa para los procesos de enseñanza-aprendizaje de la física.

### 2.4.1. Principales factores educativos hallados por las investigaciones

Un número generoso de investigaciones concernientes al uso de simulaciones o animaciones informáticas (el trabajo presente explica la diferencia entre ambas en 1.3) en el aula han indagado en el potencial educativo de estos recursos. A continuación, se discuten los aspectos más significativos que dichos trabajos permiten extraer sobre la aplicación de las simulaciones en la educación.

En primer lugar, cabe destacar que la utilización de entornos virtuales de aprendizaje (EVA) o de recursos informáticos como las animaciones no implica por sí sola una mejora necesaria en el aprendizaje de los estudiantes [Sarabandoa et al., 2014] [Amadeu and Leal, 2013] [Marshall and Young, 2006] [Clark, 1994]. A pesar de la publicación de muchos trabajos donde se encuentran mejoras en los procesos de enseñanza-aprendizaje frente a la lección

expositiva [Amadeu and Leal, 2013] [Dervić et al., 2018] [Sarabandoa et al., 2014] [Spodniaková, 2015] [Jimoyiannis and Komis, 2001] [Millán, 2005] [Falloon, 2019] [Binek et al., 2018], hay investigaciones realizadas sobre alumnos de secundaria como [Winn et al., 2006] donde no han hallado ventajas en el uso de ordenadores frente a la metodología tradicional, y otras [Marshall and Young, 2006] [Ploetzner and al., 2009] [Trundle and Bell, 2010] donde se encontró que incluso empeoraban los resultados académicos. Sería un error, por tanto, caer en la simplicidad de pensar que gracias al uso de las simulaciones o animaciones se acabaría con la problemática de este trabajo.

Una pregunta natural surge de las conclusiones de estos artículos: ¿cómo es posible que la utilización de simulaciones o animaciones produzca resultados tan dispares en los procesos de enseñanza-aprendizaje? Podría deberse a las diferencias entre los programas utilizados, al contexto de los distintos países donde se realizaron los estudios o a factores externos significativos que no se hubiesen tenido en cuenta. Sin embargo, pienso que estas divergencias se deben a la pedagogía utilizada en las aulas, que determina en última instancia la eficacia de estos recursos. Otros autores han llegado a esta misma conclusión [Osborne and Dillon, 2010] [Waight and Abd-El-Khalick, 2007] analizando los resultados negativos de algunas investigaciones referidas a la cuestión.

Los efectos de las animaciones y simulaciones computacionales en la enseñanza de las ciencias (en particular, la física) pueden verse como el resultado de una interacción entre varias partes: el programa informático, los conceptos científicos implicados, los estudiantes y el profesor [Rutten et al., 2012]. El rol del profesor sale reforzado de este hallazgo, pues se necesitan docentes con las habilidades y los conocimientos científicos necesarios para poner controlador la idoneidad de las simulaciones y asistir a los alumnos en su aprendizaje [Osborne and Dillon, 2010].

La utilización de las simulaciones o animaciones en clase de física abre nuevos horizontes en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Estos instrumentos ofrecen una gran variedad de oportunidades para modelar procesos y conceptos físicos, de tal manera que conecten las ideas previas de los estudiantes y los contenidos novedosos. A partir de la investigación y la puesta en marcha de programas piloto durante los últimos quince años se puede decir que las simulaciones o animaciones posibilitan a los estudiantes [Jimoyiannis and Komis, 2001]:

- Desarrollar su comprensión sobre los fenómenos físicos mediante el planteamiento de hipótesis y la comprobación de sus ideas, acercándolos al proceder científico (de acuerdo con [Sarabandoa et al., 2014]).
- Manipular en tiempo real parámetros que les permitan identificar las relaciones entre los conceptos, las variables y los fenómenos a partir del análisis cualitativo o de los datos (de acuerdo con [Amadeu and Leal, 2013]).
- Emplear una variedad de representaciones matemáticas útiles para mejorar su entendimiento de los conceptos.
- Visualizar de manera dinámica e interactiva los modelos científicos de la naturaleza (de

acuerdo con [Amadeu and Leal, 2013]).

- Investigar fenómenos no realizables en los laboratorios de los institutos debido a factores como el precio del equipamiento necesario, la celeridad de la observación, la dificultad o peligrosidad de la experiencia (de acuerdo con [Spodniaková, 2015]).

Pero hay más. La autorregulación del aprendizaje es considerada desde hace unas décadas como un aspecto clave en el rendimiento de los estudiantes [Zimmerman, 2000] [Sanmartí and Jorbá, 1995]. Este proceso comporta una serie de fases en las que la planificación, ejecución y autoevaluación de las tareas orientan el aprendizaje del estudiante y lo llevan a reflexionar sobre su nivel de aprendizaje. Aquel estudiante que trabaje la autorregulación de su aprendizaje podrá identificar y describir sus propios errores para corregirlos a su ritmo [Zamora and Ardura, 2014]. Varias investigaciones corroboran la efectividad de trabajar la autorregulación del aprendizaje utilizando animaciones [Millán, 2005] [Jimoyiannis and Komis, 2001] [Spodniaková, 2015].

También hay que resaltar otros aspectos registrados por las investigaciones que destacan el poder estimulante de las simulaciones. Su interactividad hace que los estudiantes se involucren activamente en las sesiones de trabajo, preocupándose por entender los conceptos físicos y el fenómeno descrito [Binek et al., 2018] [Millán, 2005] [Spodniaková, 2015], lo que les permite ser más predictivos; les ayudan a identificar sus propias concepciones previas y a construir un aprendizaje constructivista mediante su superación (frente a la metodología exclusivamente tradicional que las perpetúa [Jimoyiannis and Komis, 2001]; [Spodniaková, 2015]); reducen el tiempo necesario para aprender los conceptos frente a la mera exposición [Spodniaková, 2015]; hacen que los alumnos tomen actitudes investigadoras de forma natural [Millán, 2005]; permiten ritmos de trabajo personales, lo que ayuda a adaptar el aprendizaje a un alumnado con capacidades cognitivas diversas [Millán, 2005] [Jimoyiannis and Komis, 2001] [Amadeu and Leal, 2013], favoreciendo la inclusividad.

### 2.4.2. ¿Cómo introducirlas en el aula?

Con el objetivo de maximizar el impacto positivo de las animaciones y simulaciones computacionales en los procesos de enseñanza-aprendizaje, uno debe buscar en qué condiciones su utilización reporta mayores beneficios entre los estudiantes. Estas condiciones no tienen que ver, en principio, con ningún bloque de contenidos específico, todos son aptos por igual, sino con otras circunstancias que se indicarán a continuación.

El papel del profesor ha sido puesto en cuestión últimamente por algunos sectores de la sociedad. Sin embargo, yo no creo que haya motivos para catalogar a esta corriente como “amenaza” contra la profesión. De hecho, las investigaciones que han trabajado en el instituto con simulaciones han puesto de manifiesto la importancia de su figura de parte de los alumnos. Estos reclaman compatibilizar su trabajo con las explicaciones del docente [Millán, 2005], especialmente si se tratan conceptos muy abstractos o novedosos [Sarabandoa et al., 2014],

para entender mejor los conceptos a partir del análisis de estas simulaciones.

Relacionado con esto, el estudio [Dervić et al., 2018] trató de establecer las diferencias entre la utilización de las simulaciones en los entornos educativos centrados en la figura del profesor y aquellos centrados en la actividad de los alumnos. De sus resultados se puede concluir que la utilización de estos elementos como apoyo a las explicaciones a la hora de enseñar nuevos conceptos (las ondas en Bachiller según la [ORDEN EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León](#)), aunque los mismos autores sugieren que una transición progresiva entre ambos paradigmas a lo largo de un curso académico para terminar potenciando la iniciativa y la capacidad de resolución de problemas de los estudiantes [Dervić et al., 2018].

A la hora de trabajar las animaciones y simulaciones en el aula, el profesor puede dudar sobre la conveniencia de fragmentar a la clase en grupos buscando el aprendizaje cooperativo o continuar con la dinámica homogénea de la lección. [Stephens and Clement, 2015] advierte sobre los factores más importantes a considerar independientemente de la elección para no perturbar el éxito de la propuesta: dedicar un tiempo razonable a explicar los conceptos físicos más importantes y a las dudas de los estudiantes y la utilización ejemplificadora de la actividad por parte del profesor.

Por último, los recursos de este tipo escogidos para trabajar en los institutos deben ser claros en su presentación y sus explicaciones, procurando no conducir a equívocos ni dar pie a extraer falsas conclusiones [Millán, 2005], como también se espera que el profesor sea capaz de explicar a sus alumnos sus elementos. También se recomienda utilizar elementos que les ayuden a perfeccionar su entendimiento en algunos conceptos interdisciplinarios (como las representaciones gráficas en el plano) [Spodniaková, 2015]. [Zou, 2000] resumió los aspectos que debería tener una animación o simulación educativa para trabajarla adecuadamente con sus alumnos:

- Ayuden a los alumnos a centrarse en los rasgos de cada problema.
- Dirijan a los alumnos a hacer predicciones e inferencias.
- Constituyan un puente entre la experiencia cotidiana y los conceptos abstractos.
- Tengan una carga de trabajo proporcional.

## 2.5. ¿Por qué ondas? Una explicación personal

Uno de los mayores agujeros que le encuentro al currículo de física en la educación secundaria es su arrinconamiento de los fenómenos ondulatorios. Puedo entender que exista una razón de tipo matemático detrás de esto, las funciones armónicas no se estudian hasta el Bachillerato, pero la encuentro una razón francamente insuficiente como para relegar el estudio

elemental de las ondas hasta el último curso de la susodicha modalidad de educación posobligatoria. No puedo aceptarlo en base a mi experiencia con los modelos atómicos durante mis prácticas en la ESO; explicar “modelos atómicos” (así de genérico viene estipulado en el BOE/BOCYL) a esas edades y esperar que lo entiendan sería como dar a leer en la asignatura Valores Cívicos *Zur Genealogie der Moral* (La genealogía de la moral) de Friedrich Nietzsche y sentarse a esperar un debate entre Slavoj Žižek y Jordan Peterson.

En efecto, en la Introducción 1 puede observarse cómo los fenómenos ondulatorios tan sólo aparecen listados en el segundo curso de Bachillerato dentro de una asignatura optativa exclusiva del ámbito científico. Eso significa que, salvo excepciones que escapan al control de este trabajo, el alumno que alcanza el curso de antesala a la universidad no reconoce el sonido como onda longitudinal de presión, los batidos o las propiedades de las ondas estacionarias; puede que haya oído hablar de la polarización debido a los filtros disponibles en el mercado que “oscurecen” la visión, que se haya leído en algún lugar cómo parece quebrarse un lapicero al meterlo en un vaso de agua o que haya visto como en el coche para escuchar un canal de radio se mueve una ruleta con la que se busca una frecuencia. Y todo esto será magia para el alumno.

Cabe recordar que esto no fue siempre así. La investigación española [Millán, 2005] conducida en ese año bajo el paraguas de la LOGSE se realizó en el cuarto curso de ESO y allí se incluía un temario relacionado con ondas para que los alumnos que terminasen la educación obligatoria tuvieran unas nociones mínimas sobre estos fenómenos.

Por supuesto que el objetivo de la propuesta no puede ser un curso profundo sobre ondas y la tecnología derivada que ha tomado el mundo. Sin embargo, mediante la contextualización digital se buscará acercar los contenidos relacionados con fenómenos ondulatorios pertenecientes al currículo oficial a los alumnos de la forma más pedagógica y rigurosa para que, por vez primera en sus vidas estudiantiles, puedan entender acerca de la naturaleza de los fenómenos que les rodean desde los estanques hasta sus teléfonos móviles.

# Capítulo 3

## Objetivos de la propuesta

«Educar no es llenar, sino encender.»

– Paulo Freire, *La educación en la ciudad*

Basado en el capítulo anterior, los objetivos de la propuesta didáctica se pueden dividir entre *generales* y *específicos*. Los primeros tienen relación con los logros más genéricos o transversales definidos en la legislación actual para el Bachillerato. Los objetivos específicos están relacionados con los logros propios de esta actividad enmarcada en el Bloque 4: Ondas de la asignatura Física en segundo curso de Bachillerato.

### 3.1. Objetivos generales

Primero, los objetivos generales basados en los de la [ORDEN EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León](#)):

- 1.- Adquirir y poder utilizar con autonomía conocimientos básicos de la física, así como las estrategias empleadas en su construcción.
- 2.- Comprender los principales conceptos y teorías, su vinculación a problemas de interés y su articulación en cuerpos coherentes de conocimientos.
- 3.- Familiarizarse con el diseño y realización de experimentos físicos, utilizando el instrumental básico de laboratorio, de acuerdo con las normas de seguridad de las instalaciones.
- 4.- Expresar mensajes científicos orales y escritos con propiedad, así como interpretar diagramas, gráficas, tablas, expresiones matemáticas y otros modelos de representación.

- 5.- Utilizar de manera habitual las tecnologías de la información y la comunicación para realizar simulaciones, tratar datos y extraer y utilizar información de diferentes fuentes, evaluar su contenido, fundamentar los trabajos y adoptar decisiones.
- 6.- Aplicar los conocimientos físicos pertinentes a la resolución de problemas de la vida cotidiana.
- 7.- Comprender las complejas interacciones actuales de la Física con la tecnología, la sociedad y el ambiente, valorando la necesidad de trabajar para lograr un futuro sostenible y satisfactorio para el conjunto de la humanidad.
- 8.- Comprender que el desarrollo de la física supone un proceso complejo y dinámico, que ha realizado grandes aportaciones a la evolución cultural de la humanidad.
- 9.- Reconocer los principales retos actuales a los que se enfrenta la investigación en física.

### 3.2. Objetivos específicos

En segundo lugar, los objetivos específicos diseñados a efectos de esta propuesta son:

- 1.- Describir las características de los movimientos vibratorios periódicos e identificar las magnitudes características de un movimiento armónico simple.
- 2.- Expresar la ecuación de una onda indicando el significado físico de sus parámetros característicos y saber representarla gráficamente.
- 3.- Comprender las ondas como un medio de transporte de energía pero no de masa y conocer las magnitudes que caracterizan un movimiento ondulatorio.
- 4.- Comprender, describir y aplicar los conceptos de reflexión y refracción de una onda y explicarlos a partir del principio de Huygens..
- 5.- Explicar el fenómeno de interferencia, tanto constructiva como destructiva y aplicarlo a la resolución de problemas.
- 6.- Conocer y explicar qué son las ondas sonoras, así como las magnitudes que definen un sonido y lo diferencian de otros sonidos.
- 7.- Comprender el efecto Doppler clásico y su manifestación en fenómenos cotidianos.
- 8.- Aprender a manejar animaciones y simulaciones computacionales con fines educativos, un contexto del siglo XXI.
- 9.- Valorar los medios digitales como facilitadores de los procesos de enseñanza-aprendizaje cuando se utilizan siguiendo las conclusiones de investigaciones científicas.
- 10.- Permitir a los alumnos relacionar contenidos científicos, tecnológicos y cotidianos para romper con la concepción parcelaria del saber y generar una visión unitaria del mismo.

# Capítulo 4

## Propuesta didáctica

«De noche el reloj que late es el corazón del tiempo. »

– Idea Vilariño, *Nocturnos*

En este capítulo se concreta la propuesta didáctica orientada a la mejora de los procesos de enseñanza-aprendizaje de los fenómenos ondulatorios en Bachillerato. Primeramente se introducirá de manera general el entorno al que va dirigida la propuesta, repasando las características educativas del segundo curso de Bachillerato en la legislación vigente a la redacción de este trabajo. Luego, se definirá la metodología de trabajo y se describirán los aspectos más significativos tanto de las animaciones de *Geogebra* como de las simulaciones electromagnéticas de *CST Studio Suite* que conforman los materiales creados exclusivamente para esta intervención. Por último, se incluirán unos apartados relacionados con la evaluación de los estudiantes y de la misma propuesta.

### 4.1. Contexto académico y metodología

#### 4.1.1. Marco curricular y computacional de la propuesta

##### 4.1.1.1. Contenidos

Los contenidos físicos sobre los que se basa esta propuesta son aquellos pertenecientes al marco curricular detallado en el el [Real Decreto 1105/2014](#), de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato y la [ORDEN EDU/363/2015](#), de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León.

El bloque seleccionado para esta propuesta es el Bloque 4: Ondas. En todas las animaciones y simulaciones que se presentan a continuación se trabaja con aquellos contenidos marcados por la legislación que se creen más relevantes en relación a las características de dicha propuesta. La relación de contenidos es la siguiente:

- El movimiento ondulatorio.
- Clasificación de las ondas y magnitudes que caracterizan a una onda.
- Ondas mecánicas transversales en una cuerda.
- Ecuación de propagación de la perturbación.
- Ecuación de las ondas armónicas unidimensionales. Ecuación de ondas. Doble periodicidad de la ecuación de ondas: respecto del tiempo y de la posición.
- Ondas longitudinales.
- Fenómenos ondulatorios: Principio de Huygens.
- Reflexión y refracción.
- Difracción y polarización.
- Composición de movimientos ondulatorios: interferencias.
- Ondas estacionarias.
- Efecto Doppler.
- Ondas electromagnéticas.

#### 4.1.1.2. Competencias

Para la configuración la propuesta se han tenido en cuenta seis de las siete competencias básicas definidas en la ley educativa vigente (LOMCE). A continuación se detalla cómo o cuándo se trabajarán dichas competencias clave durante las actividades propuestas.

**Comunicación lingüística (CL).** Los alumnos deberán responder por escrito a las preguntas relacionadas con las animaciones interactivas y dejarán su opinión sobre ellas en un cuestionario anónimo (estas y otras cuestiones serán especificadas posteriormente). Deberán utilizar un lenguaje científico, o sea, preciso y riguroso, para construir sus respuestas. Este rasgo no debería ser exclusivo de esta actividad sino un trabajo constante durante el curso ante la proximidad de la EBAU y la posible entrada en el mundo universitario.

**Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT).** Evidentemente, el desarrollo de esta competencia es predominante durante toda la asignatura

dada su naturaleza científica. Los estudiantes reforzarán su comprensión matemática sobre las funciones armónicas y construirán nuevo conocimiento relacionado con los fenómenos ondulatorios que podrán relacionar con algunas aplicaciones tecnológicas cotidianas o con situaciones próximas a sus contextos sociales.

**Competencia digital (CD).** Los materiales de trabajo desarrollados para esta actividad, animaciones y simulaciones, son accesibles exclusivamente mediante un dispositivo electrónico. Los estudiantes deberían contar preferentemente con una buena conexión a internet de modo que pudieran descargarse los materiales en sus ordenadores personales o trabajar con ellos remotamente. *Geogebra* distribuye una aplicación de escritorio para Linux/Windows/Mac y otra para dispositivos móviles (o tabletas), si bien es recomendable poseer de un ordenador con teclado y ratón para trabajar.

**Competencia aprender a aprender (CAA).** El enfoque constructivista de la propuesta fuerza a los alumnos a partir de algunas nociones o intuiciones previas que puedan tener sobre las ondas y edificar, mediante su trabajo autónomo, unas nuevas estructuras cognitivas que den acomodo a los conceptos de fenómenos ondulatorios.

**Competencias sociales y cívicas (CSC).** Aunque el enfoque de la propuesta esté dirigido a una evaluación individual de los estudiantes, el docente no debería prohibir ni coartar la ayuda entre compañeros para la comprensión de los conceptos novedosos sobre ondas. La colaboración efectiva entre los estudiantes contribuye a generar las buenas dinámicas de grupo siempre deseables en un aula.

**Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor (SIE).** No hay que menospreciar el reto que supone para los estudiantes enfrentarse a unos contenidos totalmente novedosos en su trayectoria escolar. Por esto deberán mostrar sentido de iniciativa para tomar la nueva materia y generar conocimiento significativo a partir de su trabajo.

#### 4.1.1.3. Geogebra-Animaciones

*Geogebra* fue creado por el estudiante de máster Markus Hohenwarter [[Hohenwarter, 2004](#)], [[Hohenwarter, 2002](#)] en 2002. En sus propias palabras, [[Hohenwarter, 2002](#)], se trata de un programa informático de geometría interactiva dirigido a la enseñanza secundaria. A pesar de que originalmente partía de la vocación matemática de su creador, las actualizaciones sucesivas han incrementado sus posibilidades de trabajo y lo han acercado a la didáctica de otras ciencias como la física. El otro aspecto que ha facilitado la expansión del programa hasta el punto de crear comunidades educativas virtuales de gran calado es su distribución gratuita (licencia GPL). La versión 5.0.518.0 fue utilizada para desarrollar las animaciones de este trabajo.

Las actividades desarrolladas con *Geogebra* son consideradas como **animaciones interactivas** por el autor de este trabajo, tal y como se explicó en (1.3).

#### 4.1.1.4. CST Studio Suite-Simulaciones

*CST Studio Suite* es una herramienta informática de simulación electromagnética desarrollada y distribuida por la empresa *Dassault Systèmes* que se encarga de resolver las ecuaciones de Maxwell en unos dominios de simulación cuyos componentes materiales y sus condiciones de contorno son proporcionadas por el usuario [Staras et al., 2012] [Merillas, 2018] [Vera, 2019]. *CST Studio Suite* incluye una herramienta de diseño ayudado por ordenador (CAD) que permite al usuario preparar de manera sencilla los dominios de simulación. La técnica de integración utilizada para las simulaciones fue un método de elementos finitos (FEM) en el dominio de la frecuencia que incorpora el paquete informático [Merillas, 2018] [Vera, 2019]. La versión de la herramienta utilizada corresponde a *CST Studio: Student Version*, de distribución gratuita.

Las actividades desarrolladas con *CST Studio Suite* son consideradas como **simulaciones** por el autor de este trabajo tal y como se explicó en 1.3. Hasta donde se ha podido conocer, esta es la primera propuesta didáctica de la educación secundaria española que incluye simulaciones hechas con una herramienta de estas características.

#### 4.1.1.5. Requisitos previos

Existen algunos condicionantes que se deberían tener en cuenta a la hora de intentar poner en marcha la propuesta. Debido a que la intención de las actividades es mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje de la física utilizando medios digitales, podrían existir algunas limitaciones cuya solución debería ser abordada para maximizar las posibilidades de éxito de la propuesta.

La necesidad de las TIC para esta propuesta es evidente. Las aulas donde se pretenda llevar a cabo deberían poseer de un ordenador, cañón de proyección y pantalla (no necesariamente interactiva) para la explicación de los conceptos utilizando las simulaciones de *CST Studio*. Aunque desde la Junta de Castilla y León se ha trabajado en los últimos años por mejorar la dotación informática de los institutos públicos, aun quedan centros donde no existe una integración total de estas tecnologías en las aulas, pudiendo entorpecer el desarrollo de la propuesta. Resultaría fundamental que todos los alumnos dispusieran de acceso a un ordenador personal en su hogar donde trabajar las animaciones interactivas, algo que afortunadamente hoy (2021) es altamente probable [INE, 2019].

Otra posible dificultad se hallaría en los alumnos discapacitados; aquellos con ceguera o sordera parcial tendrían dificultades para trabajar al menos una de las animaciones interactivas presentes en la propuesta. Aun así, *Geogebra* ha demostrado ser una herramienta accesible para alumnos con ceguera parcial utilizando unas opciones especiales de visualización, como revela un estudio reciente de la Unión Europea [Fitzpatrick et al., 2018].

### 4.1.2. Metodología

Facilitar la comprensión de unos conceptos físicos novedosos para los alumnos a través de la contextualización digital requiere de un método de trabajo adecuado para asegurar unos resultados positivos. A partir del análisis y la discusión de los trabajos de investigación mencionados en la Justificación y de los objetivos definidos para esta propuesta, se ha elegido trabajar los contenidos y las competencias escogidos a través de la combinación de clases magistrales acompañadas de los resultados de las simulaciones y el trabajo individual con los programas interactivos.

Llevada al aula, el docente trabajaría con los alumnos en unas clases teóricas los conceptos fundamentales utilizando las matemáticas adecuadas y las simulaciones de *CST Studio Suite*. Con ellas se podrían ilustrar de forma nítida y rigurosa algunos de los contenidos básicos más importantes de los fenómenos ondulatorios a nivel de segundo de Bachillerato. Por otro lado, las animaciones interactivas de *Geogebra* serían la base del trabajo personal de cada alumno, como se detalla en el apartado de Evaluación, aunque el docente también podría utilizarlas en clase para ilustrar los conceptos o el funcionamiento.

Los estudiantes podrán, de este modo, adquirir una serie de contenidos y desarrollar unas competencias educativas combinando la tradición escolar con la práctica de actividades basadas en un enfoque constructivista que les permitirán entender algunos fenómenos físicos de su vida cotidiana y volverse más autónomos.

## 4.2. Descripción de los recursos

### 4.2.1. Geogebra

Este apartado contiene las descripciones de las animaciones realizadas con *Geogebra* basadas en los contenidos y estándares de aprendizaje recogidos en el [Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato](#) y la [ORDEN EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León](#)).

Todas ellas estarían disponibles para el alumnado de manera gratuita a través de la plataforma virtual correspondiente (por ejemplo, Microsoft Teams). Para los propósitos del máster, hay disponible un enlace en el Apéndice [A](#) para consultar los ficheros.

### 4.2.1.1. Ondas y movimiento armónico simple

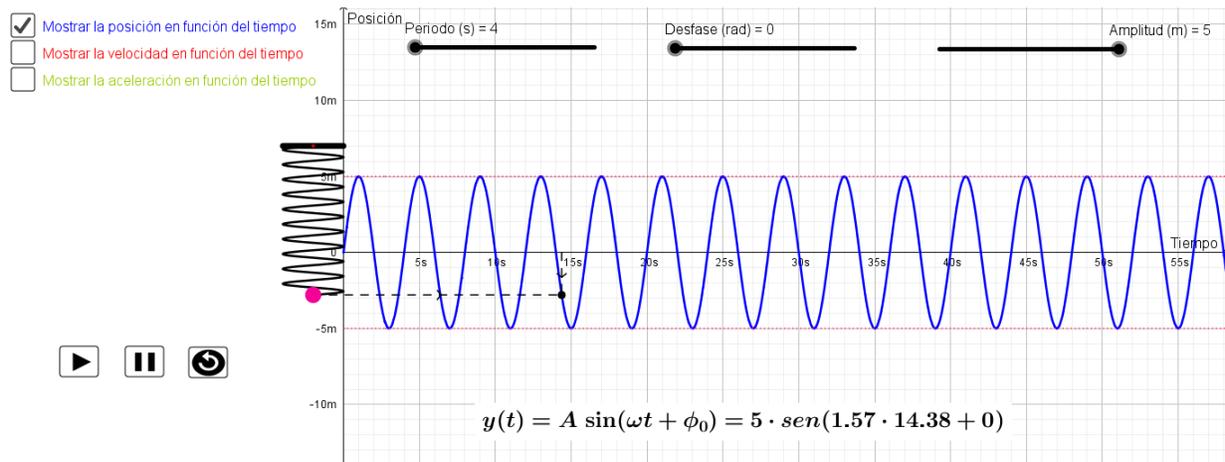


Figura 4.1: Captura de pantalla de la animación de movimiento armónico simple.

El movimiento armónico simple recibe una atención específica en el primer curso de Bachillerato, por lo que los estudiantes que alcanzan el siguiente nivel educativo conocen las ecuaciones fundamentales. No obstante, conviene recordar sus características antes de comenzar los fenómenos ondulatorios debido a la íntima relación que existe entre éstos y el movimiento armónico simple.

La animación diseñada a tal efecto (ver Figura 4.1) muestra el esquema de una masa esférica (puntual a efectos de las ecuaciones) incrustada en un muelle colgante que comienza a moverse armónicamente si se presiona el botón de arranque situado en la margen inferior izquierda. Pueden seleccionarse tres opciones de visualización diferentes que corresponden con la muestra de la gráfica y la ecuación de la posición, la velocidad o la aceleración de la masa respecto del tiempo. También se incluyen tres deslizadores en la parte superior del programa para modificar el periodo, la amplitud y el desfase del movimiento. Estas tres magnitudes están escogidas dada su relevancia en el estudio de las ondas.

### 4.2.1.2. Ondas transversales y longitudinales

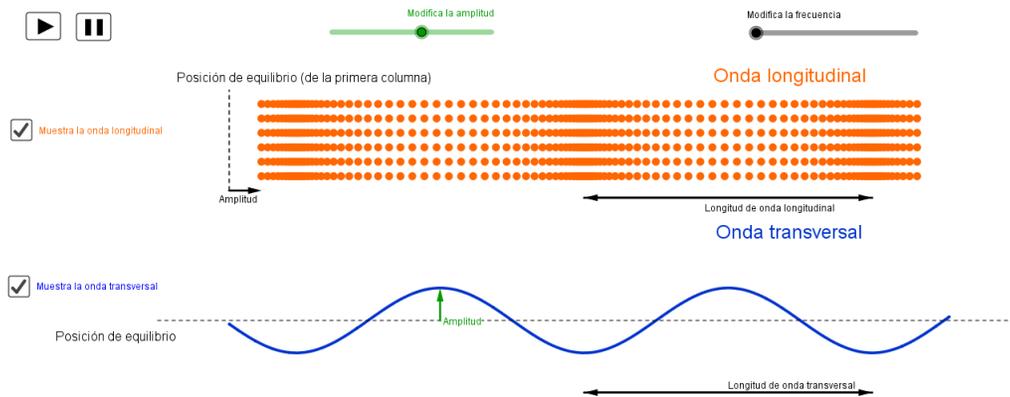


Figura 4.2: Captura de pantalla de la animación de ondas transversales y longitudinales.

La primera animación dirigida propiamente a la materia de interés se centra en mostrar la distinción entre las ondas armónicas longitudinales y las transversales.

Tal y como se puede comprobar en la Figura 4.2, en caso de que las casillas mostrativas de la izquierda estén seleccionadas aparecen en la región central de pantalla unas filas de puntos naranjados cuya función es la representación esquemática de un medio material y una línea azulada debajo de éstos. La reproducción de la animación genera una perturbación que pone en vibración los puntos siguiendo un movimiento armónico simple en la dirección horizontal y produciendo finalmente una onda longitudinal (la vibración del medio es paralela a la dirección de propagación de la onda). Alternativamente, en la línea azul se produce una onda armónica transversal (la vibración del medio es perpendicular a la dirección de propagación de la onda). Unas flechas situadas bajo estas representaciones señalan la longitud de las ondas, y unas líneas punteadas sirven para definir la amplitud de las ondas.

Esta animación también incluye algunas dosis extras de información cualitativa. Existen dos deslizadores mediante los cuales se pueden modificar tanto la amplitud como la frecuencia de las dos ondas, comprobando sus efectos en tiempo real.

### 4.2.1.3. Fundamentos de las ondas armónicas transversales

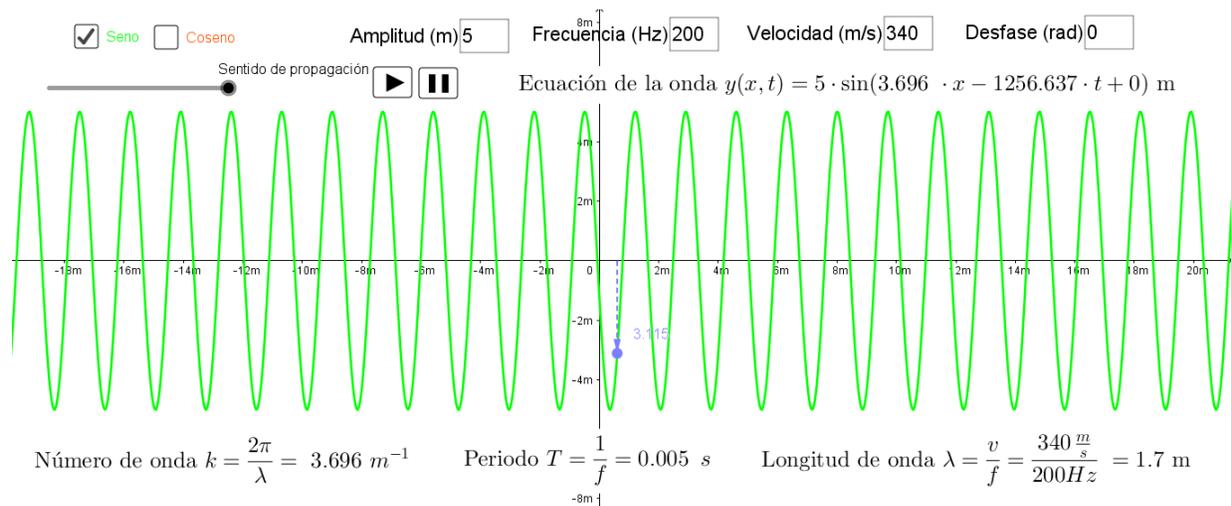


Figura 4.3: Captura de pantalla de la animación de ondas armónicas transversales.

Esta animación permite al usuario visualizar una onda armónica transversal acompañada de los valores numéricos y las expresiones algebraicas de varias de sus magnitudes fundamentales (ver Figura 4.3).

En la parte superior de la pantalla aparecen dos casillas de selección para alternar entre la descripción en senos y cosenos de la onda armónica. Junto a ellas, en la misma línea, hay unas casillas donde se pueden introducir a voluntad los valores numéricos de la amplitud, la frecuencia, la velocidad de propagación y el desfase de la onda.

Un deslizador titulado “sentido de propagación” posibilita variar éste atributo de la onda. A la derecha se puede apreciar el cambio de signo en la expresión matemática de la onda, que viene acompañada de los otros parámetros fundamentales: número de onda ( $k$ ), frecuencia angular ( $\omega$ ) y el desfase ( $\varphi_0$ ).

En la representación gráfica se destaca un punto en color violeta para insistir en el movimiento armónico simple que siguen los puntos del medio material donde se propaga la onda, sin desplazamiento a lo largo de un periodo, y demostrar así la doble periodicidad en tiempo y espacio. Bajo la onda se indican los nombres, las expresiones algebraicas y los valores numéricos *in vivo* del número de onda, el periodo y la longitud de onda.

#### 4.2.1.4. Superposición de ondas armónicas transversales

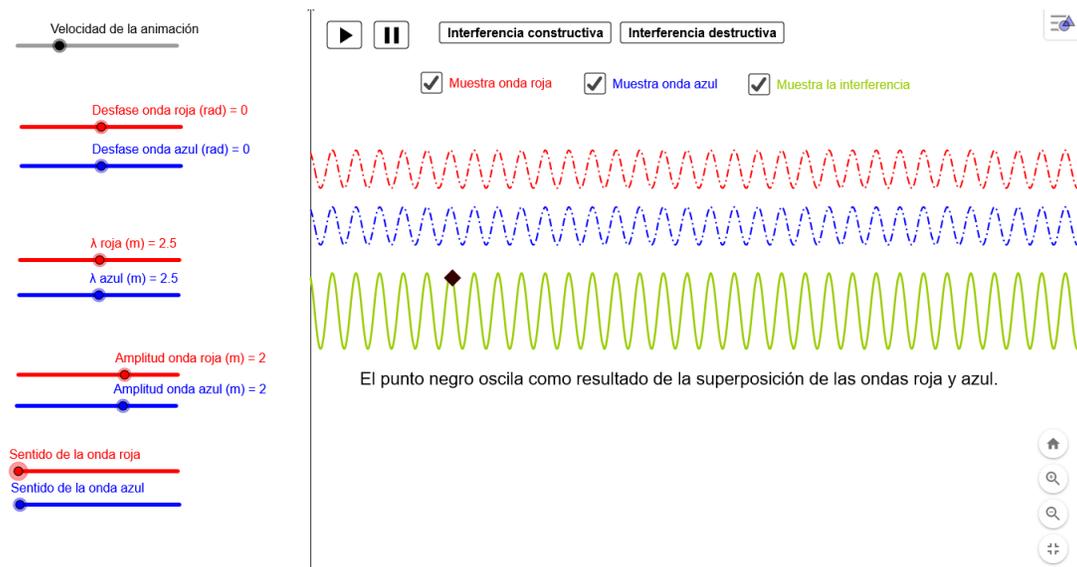


Figura 4.4: Captura de pantalla de la animación de ondas armónicas transversales.

Esta animación permite visualizar los dos fenómenos de interferencia relevantes en Física de Bachillerato, tanto la constructiva como la destructiva, y la obtención de ondas estacionarias gracias a la suma de dos ondas armónicas transversales que viajan en sentidos contrarios.

La interfaz (ver Figura 4.4) contiene dos selectores encargados de modificar los parámetros de las ondas roja y azul siguiendo unas instrucciones prefijadas de manera que la superposición muestre los fenómenos indicados que se observan en la representación inferior. Los deslizadores de la margen izquierda se verán también afectados por estos cambios en tiempo real, lo que permite al usuario reconocer, por ejemplo, la condición de interferencia destructiva entre dos ondas armónicas. .

Estos elementos son interactivos también y permiten modificar las condiciones de las ondas. Una de las posibilidades es la generación de una onda armónica estacionaria mediante el cambio de sentido en la propagación de la onda azul y haciendo que las dos ondas originales se superpongan en fase. Aun así, hay dos animaciones más centradas exclusivamente en las ondas estacionarias que se describirán más adelante.

### 4.2.1.5. Batidos

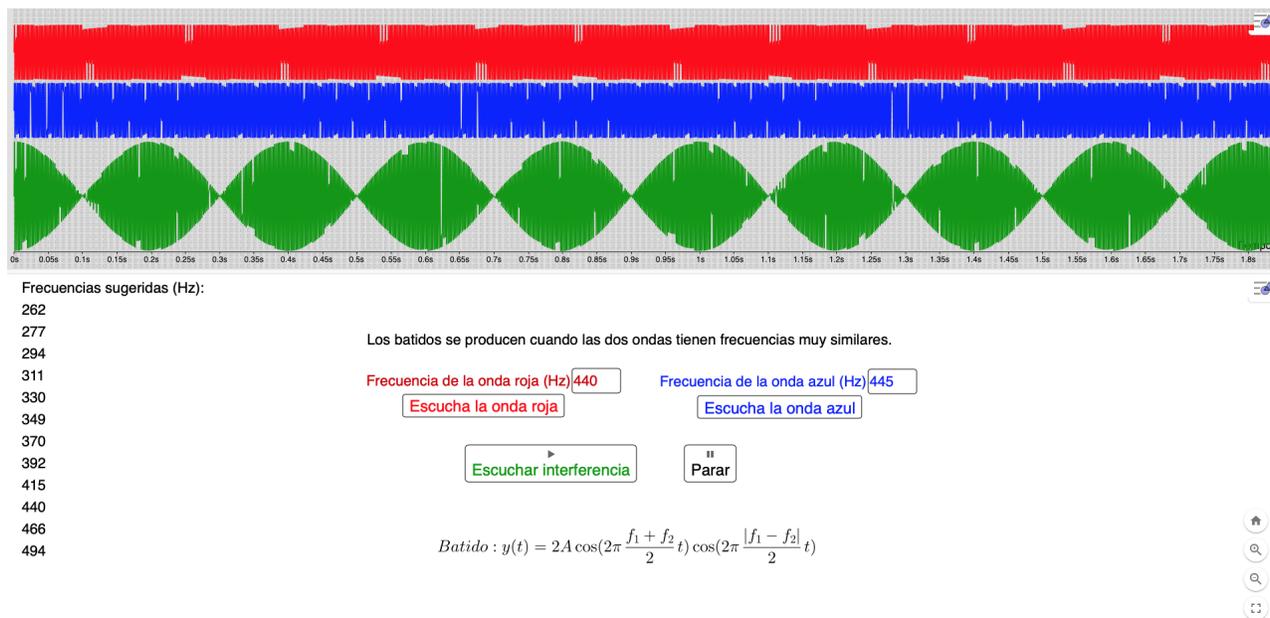


Figura 4.5: Captura de pantalla de la animación de las pulsaciones o batidos.

Esta animación está diseñada para visualizar la forma de la onda de un batido en un punto del espacio y escuchar el resultado de la superposición entre dos ondas sonoras armónicas. Viene motivada por el hecho de que los batidos son un fenómeno ondulatorio de interés musical para el afinado de instrumentos.

El fichero es capaz de ordenar a los altavoces del ordenador que generen, por un lado, los sonidos individuales cuyas frecuencias sean las escogidas libremente por el usuario y, por otro lado, la interferencia de ambos. La escucha de los batidos puede ayudar a su comprensión de los estudiantes a través de las impresiones auditivas.

Una tabla colocada en la margen izquierda de la región inferior sugiere una serie de frecuencias a escuchar que corresponden con las notas musicales de la cuarta octava (sobretonos incluidos). Asimismo, la interfaz se acompaña de la expresión matemática del batido con respecto del tiempo. Todo esto se puede comprobar en la Figura 4.5.

Es justo reconocer que los alumnos con discapacidad auditiva severa tendrían dificultades para disfrutar de esta animación. Por eso, la forma del batido debería servir, al menos, para que les ayudase a interiorizar el concepto físico.

### 4.2.1.6. Refracción

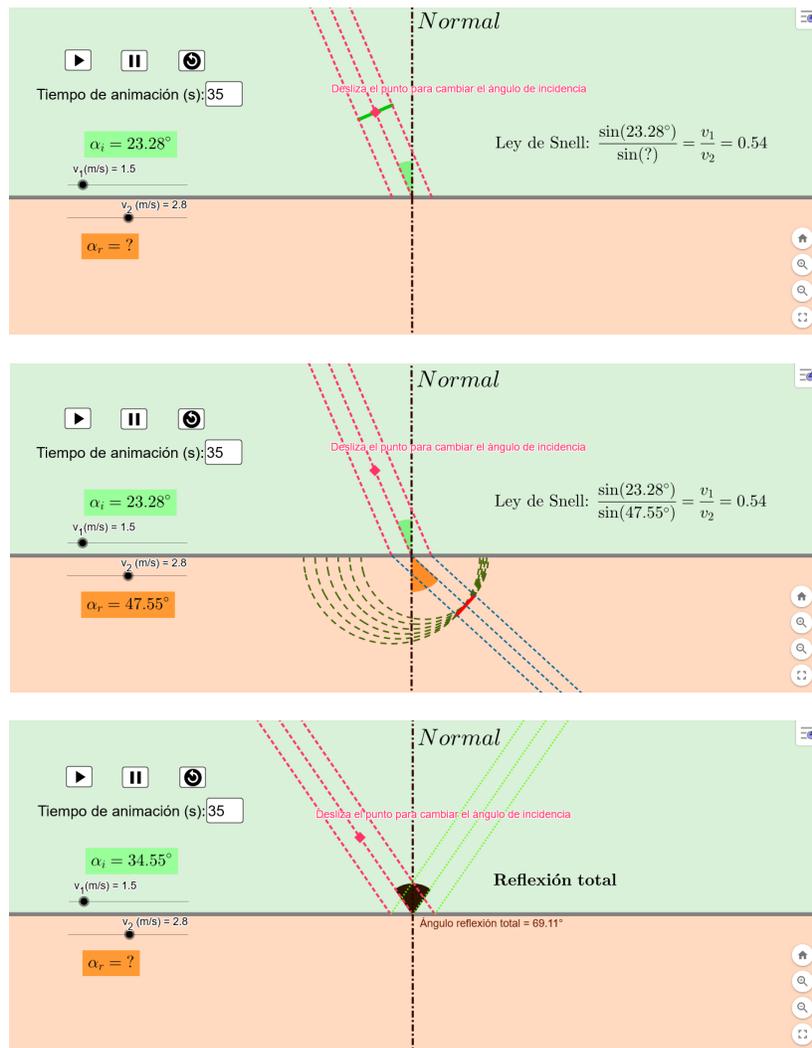


Figura 4.6: Capturas de la animación antes de iniciar la reproducción 4.6(a), durante el trayecto del frente de onda luego de refractarse 4.6(b) y para un ángulo de incidencia superior al límite 4.6(c).

Esta animación está diseñada para ayudar a la comprensión del fenómeno de la refracción utilizando el principio de Huygens.

El usuario puede manipular el ángulo de incidencia del frente de ondas deslizando el punto resaltado con respecto de la recta normal. También se pueden ajustar las velocidades de propagación del frente en los dos medios, 1 y 2, representados con distintos colores, tal y como se puede ver en las tres capturas de pantalla de la Figura 4.6.

Con la reproducción de la animación se inicia el movimiento del frente de ondas desde el medio 1 hacia el medio 2 (Figura 4.6(a)). Puesto que cada punto del frente es a su vez fuente

de ondas idénticas, utilizando el Principio de Huygens, cuando el frente de ondas alcanza la interfase se representan una serie de semicircunferencias que acaban por formar el frente refractado (Figura 4.6(b)). Los ángulos de incidencia ( $\alpha_i$ ) y refracción ( $\alpha_r$ ) de las direcciones de los dos frentes están relacionados con las velocidades de propagación en los dos medios según la ley de Snell.

$$\frac{\sin(\alpha_i)}{\sin(\alpha_r)} = \frac{v_1}{v_2} \quad (4.1)$$

Por último, indicar que esta animación también contempla la situación de ángulo límite. En caso de que la velocidad de propagación del frente en el medio 1 sea inferior a la del medio 2, denominando al primer medio como “lento” y al segundo como “rápido”, el frente de ondas sufre el fenómeno de la reflexión total a partir de un determinado valor del ángulo de incidencia llamado ángulo crítico  $\alpha_c$  (Figura 4.6(c)). El ángulo crítico se puede calcular mediante la expresión:

$$\alpha_c = \arcsin\left(\frac{v_1}{v_2}\right) \quad (4.2)$$

#### 4.2.1.7. Polarización de las ondas transversales

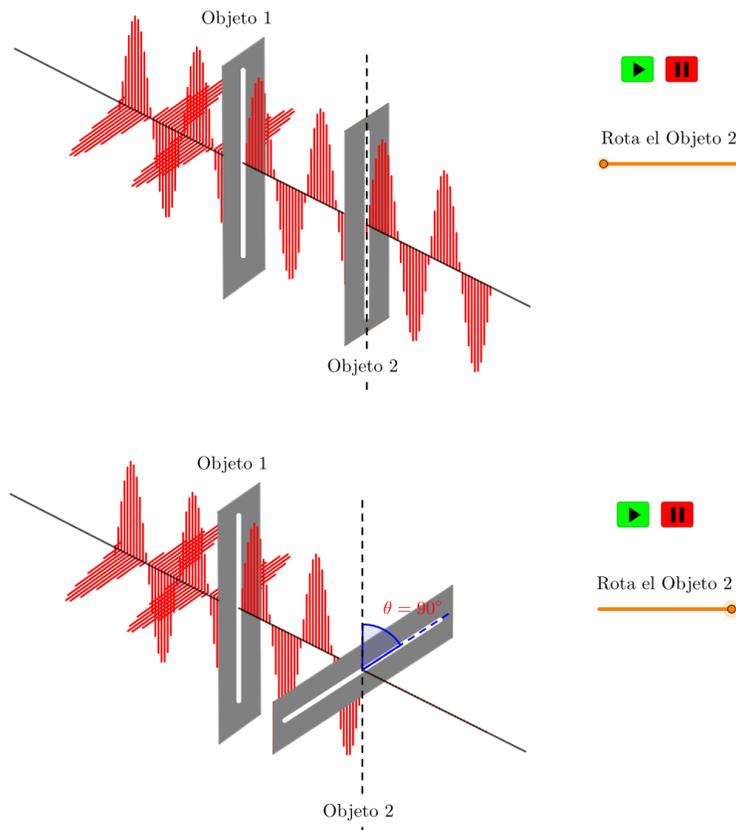


Figura 4.7: Capturas de la animación en la situación inicial 4.7(a) y en extinción 4.7(b).

Esta animación persigue facilitar la comprensión de la propiedad de las ondas transversales denominada polarización. Se trata de una adaptación y corrección de [este fichero](#) disponible en el repositorio de *Geogebra*.

La presentación de este programa muestra las dos componentes ortogonales de una onda que inciden sobre una rendija (polarizador lineal). Este instrumento termina con la propagación de la vibración perpendicular a su eje, extingue la componente de la onda original, y tan sólo deja pasar la vibración paralela a la dirección de su abertura. La existencia de un segundo polarizador ajustable permite al usuario pasar de una transmisión total de la onda transversal (Figura 4.7(a)) a la extinción completa (Figura 4.7(b)) mediante la variación del plano de polarización utilizando un deslizador.

#### 4.2.1.8. Efecto Doppler clásico

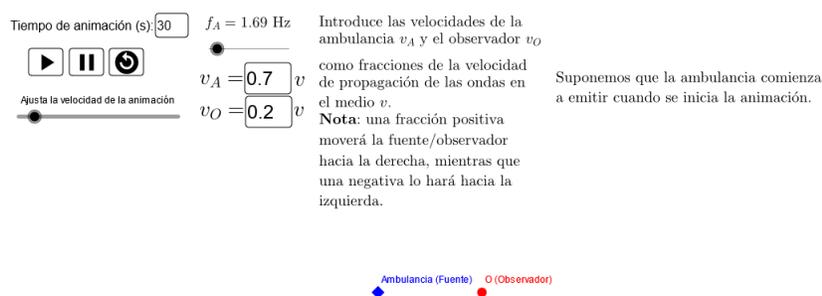


Figura 4.8: Captura de pantalla de la animación antes de la reproducción.

Esta animación está diseñada para visualizar la propagación de ondas circulares a partir de una fuente puntual y el cambio en la percepción de la frecuencia para un observador según su estado de movimiento relativo.

A pesar de que el tratamiento matemático del efecto Doppler clásico no presenta grandes dificultades, los alumnos pueden no acabar de comprender por qué este fenómeno tiene lugar o encontrar esquivo el criterio de signos. Estos son los dos obstáculos que la animación presente trata de salvar mediante la representación de los frentes de onda sonoros emitidos por una ambulancia  $A$  y recogidos por un observador  $O$ .

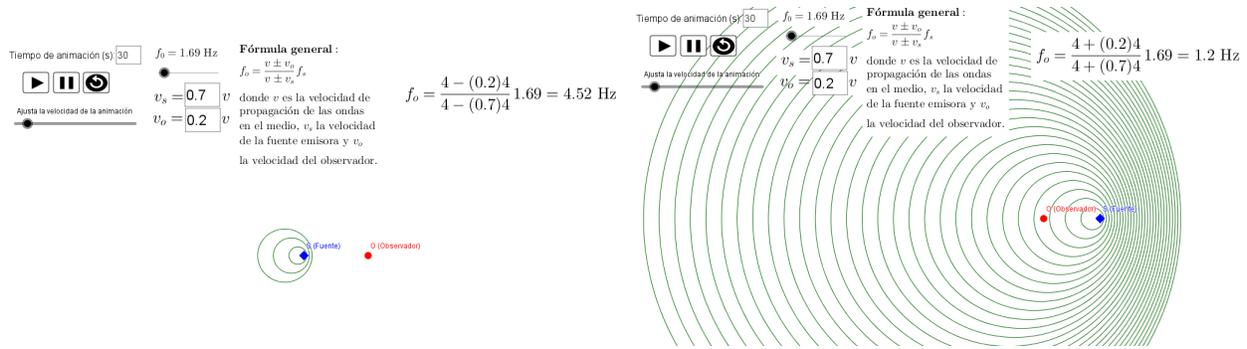


Figura 4.9: Situación antes (Figura 4.9(a)) y después (Figura 4.9(b)) del adelantamiento para  $v_A = 0,7v$  y  $v_O = 0,2v$ .

Dos casillas permiten determinar a voluntad las velocidades de  $A$  y  $O$  en función de la velocidad de propagación de las ondas en el medio (toma un valor arbitrario prefijado en el programa). De esta manera, con la emisión comenzando justo cuando se inicia la animación (ver Figura 4.8), pueden aparecer distintos escenarios en función de las condiciones de movimiento escogidas. En la parte derecha de la pantalla aparece la frecuencia percibida por  $O$ .

Sirva como ejemplo el caso  $v_A = 0,7v$  y  $v_o = 0,2v$  mostrado en la figura 4.9.

#### 4.2.1.9. Ondas estacionarias en una cuerda

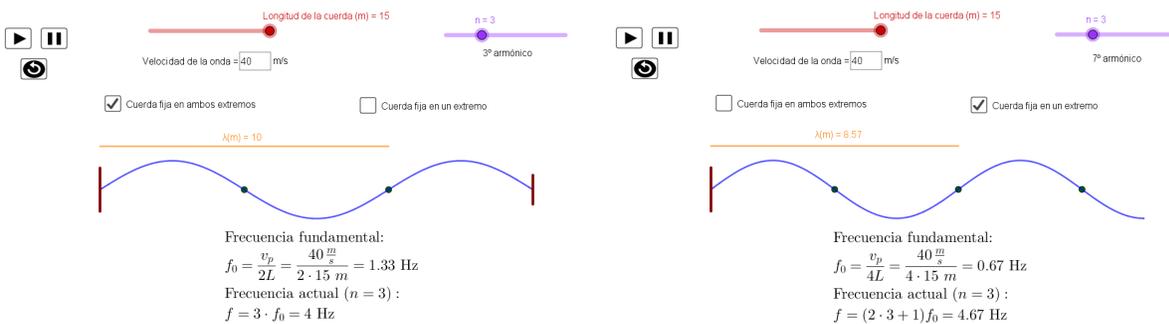


Figura 4.10: Captura de la animación en el caso de una cuerda fija por ambos extremos (Figura 4.10(a)) y suelta en uno de ellos (Figura 4.10(b)).

Las ondas estacionarias constituyen un fenómeno ampliamente estudiado debido a su importancia en la música, el transporte de señales electromagnéticas a través de una guía, los comienzos de la teoría cuántica, etc. A este respecto, se presentan dos animaciones relacionadas con esta categoría.

La primera de ellas muestra varias de las posibilidades existentes al generar ondas estacionarias en una cuerda fija en sus dos extremos o tan sólo en uno de ellos. Se permite variar la

longitud de la cuerda, la velocidad de propagación de las ondas viajeras generatrices (que no se muestran aquí pero sí aparecen en la animación 4.2.1.4) y el número entero  $n$ , íntimamente relacionado con la frecuencia de la onda estacionaria. Debajo de este último aparece el nombre del armónico o frecuencia fundamental que origina.

Con los datos anteriores se calcula y se muestran tanto la frecuencia fundamental de cada disposición de la cuerda como la frecuencia correspondiente al modo de vibración ( $n$ ) seleccionado, tal y como muestra la Figura 4.10.

#### 4.2.1.10. Ondas estacionarias en un tubo lleno de aire

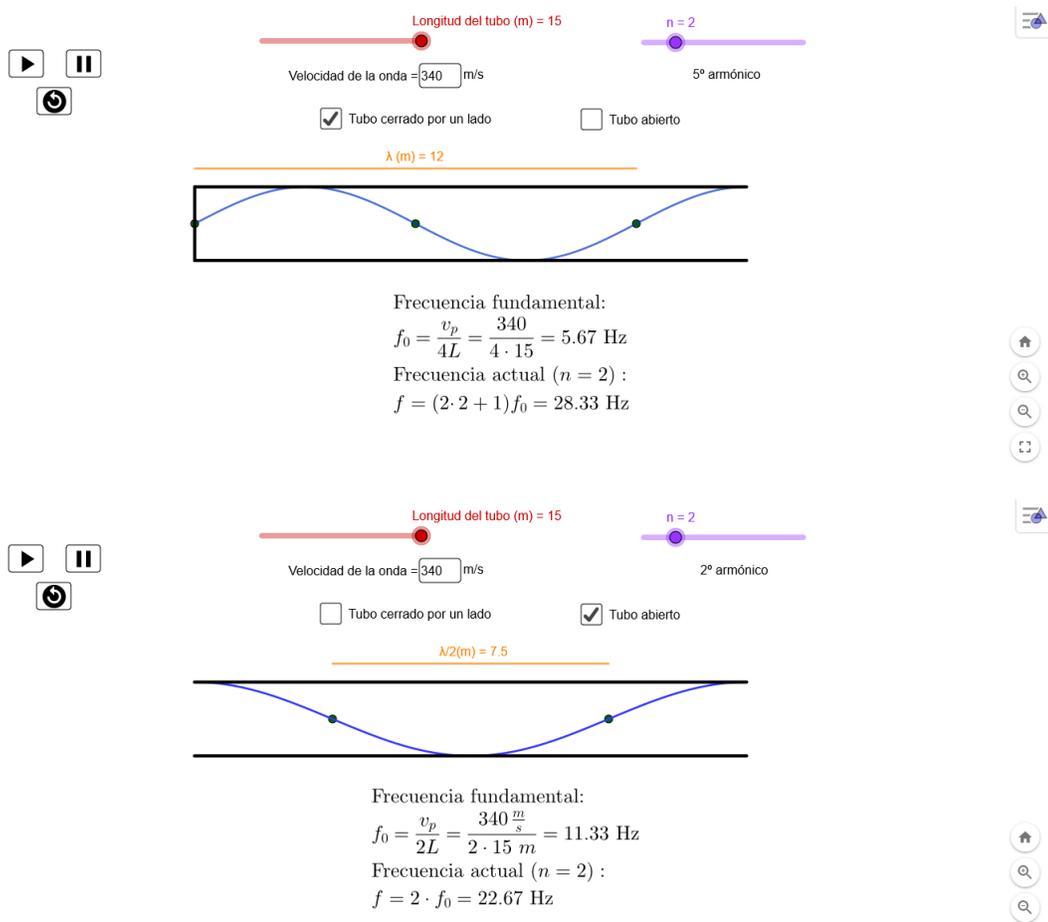


Figura 4.11: Captura de la animación en el caso de una tubo abierto por uno (Figura 4.11(a)) o ambos extremos (Figura 4.11(b)).

Esta es la segunda de las animaciones dedicadas al tema de las ondas estacionarias. En este caso, el foco de atención se lo lleva un tubo lleno de aire donde se produce el fenómeno ondulatorio.

Aquí también se pueden seleccionar dos situaciones físicas relevantes: el tubo abierto por sus dos extremos o tan sólo por uno de ellos (Figura 4.11). El programa admite también la modificación de la longitud del tubo, la velocidad de propagación de las ondas sonoras generatrices en la cuerda (tampoco se muestran aquí para no dificultar la visualización de la onda estacionaria) y el número entero  $n$ , íntimamente relacionado con la frecuencia de la onda estacionaria. Debajo de este último aparece el nombre del armónico o frecuencia fundamental que origina.

Con los datos anteriores se calcula y se muestran tanto la frecuencia fundamental de cada disposición de la cuerda como la frecuencia correspondiente al modo de vibración ( $n$ ) seleccionado.

#### 4.2.1.11. Ondas electromagnéticas

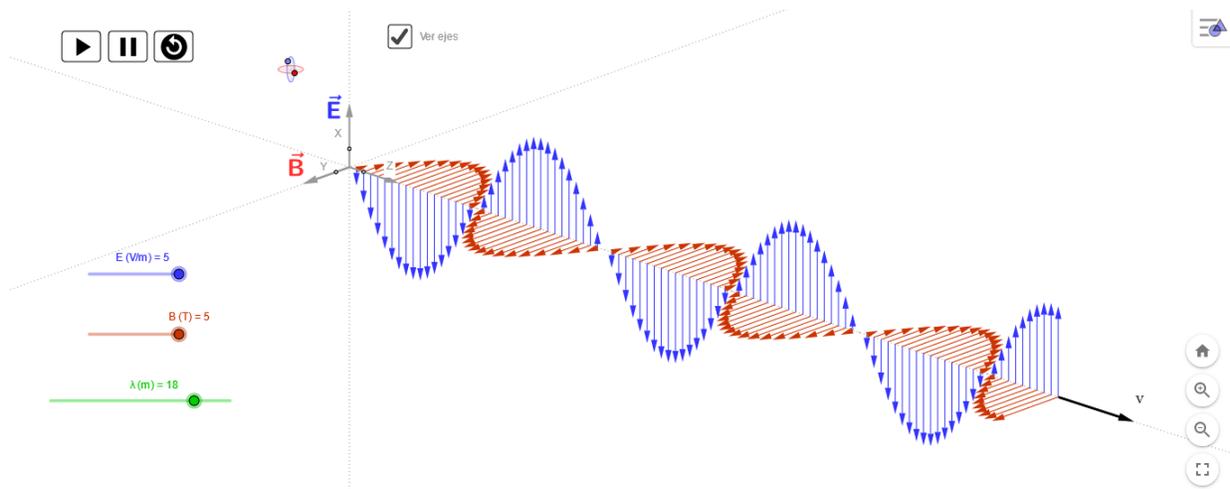


Figura 4.12: Captura de pantalla de la onda electromagnética animada.

La última animación contiene la representación de una onda electromagnética simple formada por un campo eléctrico y uno magnético dispuestos ortogonalmente (Figura 4.12).

Gracias a esta representación se pueden observar nítidamente los vectores correspondientes al campo eléctrico y al campo magnético y apreciar su disposición espacial. Mediante la animación resulta posible estudiar la propagación de los campos y, en consecuencia, de la onda electromagnética.

### 4.2.2. CST Studio Suite

Este apartado contiene las descripciones de las simulaciones realizadas con *CST Studio Suite* basadas en los contenidos y estándares de aprendizaje recogidos en el [Real Decreto](#)

1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato y la ORDEN EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León).

Todas ellas estarían disponibles para el alumnado de manera gratuita a través de la plataforma virtual correspondiente (por ejemplo, Microsoft Teams). Para los propósitos del máster, hay disponible un enlace en el Apéndice A para consultar los ficheros.

#### 4.2.2.1. Onda plana

Esta simulación recoge el fenómeno de cambio de medio de propagación de una onda plana electromagnética en incidencia normal. La Figura 4.13 contiene una captura de su visualización. El dominio de simulación está formado por dos materiales de permitividades relativas diferentes,  $\epsilon_{r0} = 1$  y  $\epsilon_{r1} = 3$ , donde se propaga una onda electromagnética plana desde el medio de menor permitividad hacia el de mayor. El estudiante puede observar cómo afecta el cambio de material a las características de la onda, por ejemplo su longitud de onda, y cómo se genera una onda estacionaria debido a la interferencia de la onda viajera y la reflejada en la interfaz.

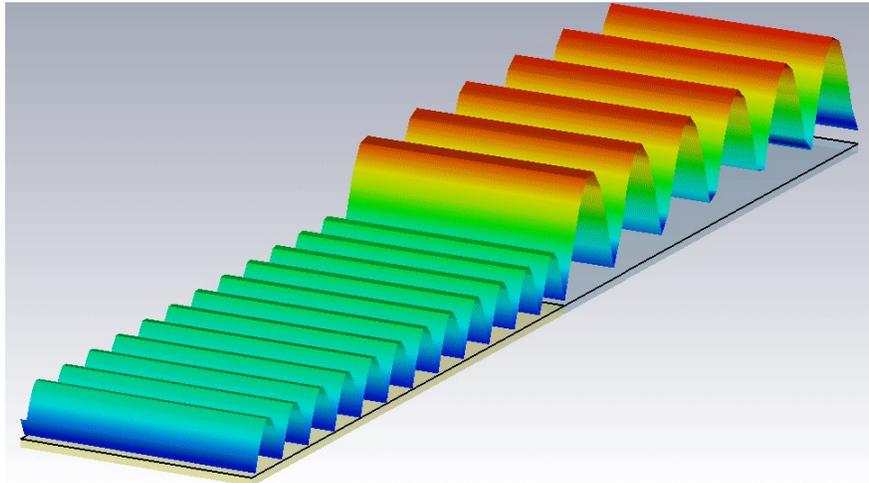


Figura 4.13: Captura de pantalla del campo eléctrico en el dominio de simulación. Los colores más cálidos indican valores mayores del campo eléctrico.

Se ha escogido la representación del campo eléctrico por tener, dadas las condiciones de simulación, la apariencia más reconocible por un estudiante de segundo de Bachillerato.

#### 4.2.2.2. Difracción

Libros de texto utilizados en Bachillerato como [Cabrerizo et al., 2016] incluyen esquemas ilustrativos sobre el fenómeno de la difracción con los que se pretende transmitir la idea de que las ondas no reaccionan de manera idéntica al encontrarse con obstáculos de distintas formas o tamaños. Aquí se busca reconstruir de manera más fidedigna dichos fenómenos para que los estudiantes puedan tener una visión cualitativa más rigurosa que les ayude a comprender la realidad física. Por otro lado, estas simulaciones también permiten introducir a los alumnos una representación posiblemente menos familiar para ellos como son los contornos.

En consecuencia, se incluyen las representaciones de la difracción de una onda plana por una abertura de anchura  $d$  mayor que su longitud de onda  $\lambda < d$ , por una abertura similar a su longitud de onda  $\lambda \simeq d$  y por una abertura menor que su longitud de onda  $\lambda > d$ . Las tres situaciones muestran cómo el mismo fenómeno tiene distintas consecuencias en función del obstáculo u obstáculos que se encuentre la onda en su propagación. La Figura 4.14 recoge las tres situaciones tal y como son presentadas.

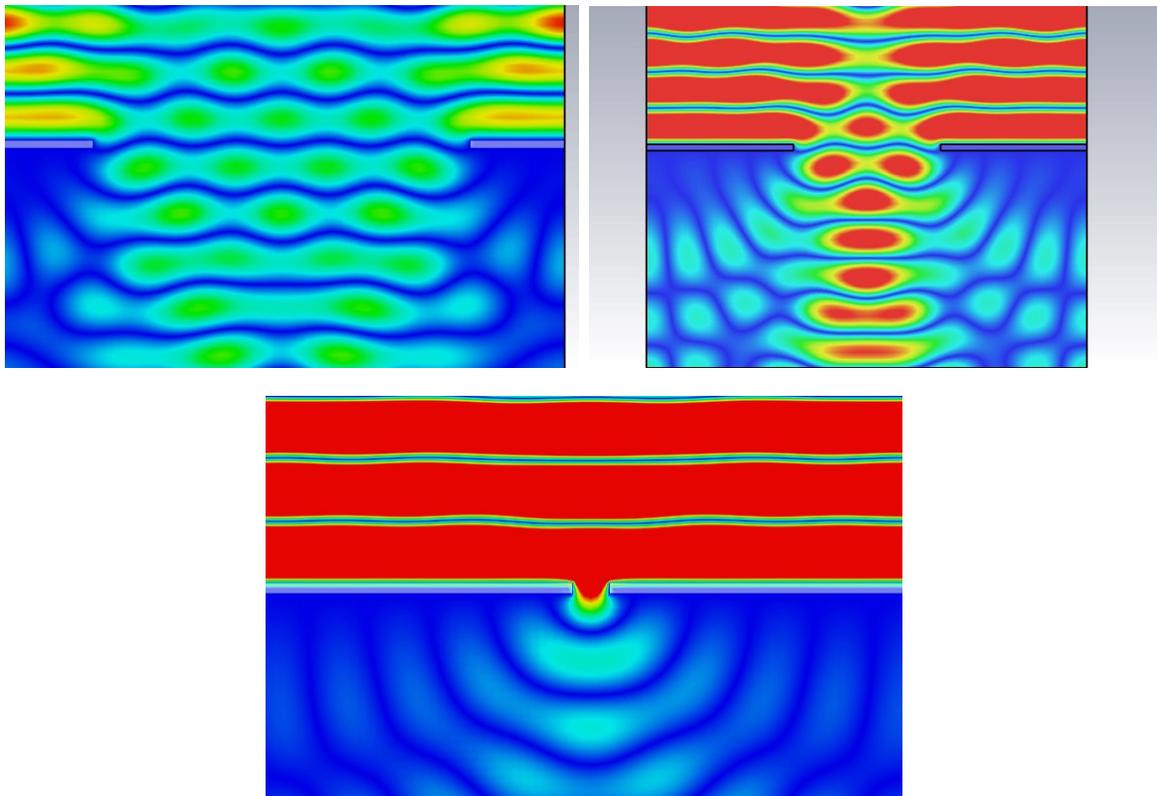


Figura 4.14: Captura de pantalla del contorno del campo eléctrico en el dominio de simulación en los casos  $\lambda < d$  (Figura 4.14(a)),  $\lambda \simeq d$  (Figura 4.14(b)) y  $\lambda > d$  (Figura 4.14(c)). Los colores más cálidos indican valores mayores del campo eléctrico.

### 4.2.2.3. Interferencias

Los fenómenos de interferencias han sido abordados con *Geogebra*, concretamente en 4.2.1.4 y 4.2.1.5. Sin embargo, ninguna de esas animaciones mostraba la distribución espacial de la interferencia de dos fuentes coherentes. Por lo tanto, las simulaciones realizadas sobre este tema buscan reforzar la comprensión del fenómeno mostrando dichas figuras.

Se han utilizando de nuevo representaciones de contorno para mostrar las distribuciones espaciales. En primer lugar, la Figura 4.15 contiene los casos de dos fuentes de ondas planas puntuales y coherentes separadas una distancia arbitraria. El parámetro variado entre los experimentos fue el desfase  $\varphi$  relativo entre las fuentes (se recuerda que la coherencia sólo se pierde al modificarlo durante la emisión de ondas), con lo que se pueden observar distribuciones de máximos y mínimos de intensidad diferentes.

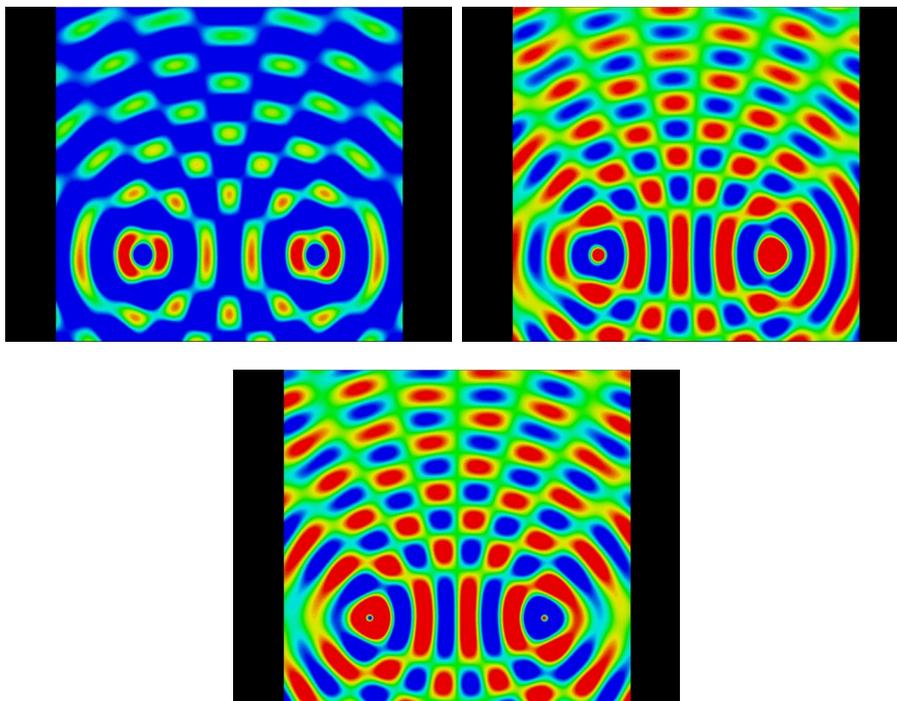


Figura 4.15: Captura de pantalla del contorno del campo eléctrico en los casos  $\varphi = 0$  rad (Figura 4.15(a)),  $\varphi = \frac{\pi}{2}$  rad (Figura 4.15(b)) y  $\varphi = \pi$  rad (Figura 4.15(c)) de interferencia de dos fuentes coherentes. Los colores más cálidos indican valores mayores del campo eléctrico.

También se incluye una simulación de uno de los experimentos más intrigantes y carismáticos de la física: la doble rendija. La Figura 4.16 muestra una captura de la representación animada mediante la cual los estudiantes podrán descubrir uno de los fenómenos de interferencia de gran interés y relevancia histórica.

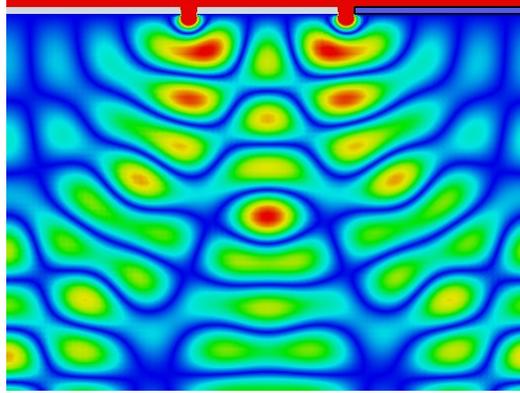


Figura 4.16: Captura de pantalla del campo eléctrico en el dominio de simulación de la doble rendija. Los colores más cálidos indican valores mayores del campo eléctrico.

#### 4.2.2.4. Refracción

En último lugar, esta simulación dirige un haz de onda plana desde el vacío ( $\epsilon_r = 1$ ) hacia un medio material de permitividad relativa  $\epsilon_r = 3$  con objeto de comprobar cómo la refracción de la onda transmitida, complementando lo visto en 4.2.1.6. La onda plana se propaga por la guía rectangular en su modo fundamental  $TE_{1,0}$ . Para conseguir dirigir el haz de forma más precisa, se utilizó una sencilla antena de bocina. Este experimento también permite visualizar cómo la refracción no sucede de forma aislada sino que también existe una componente reflejada por la intercara, como puede visualizarse en la Figura 4.17.

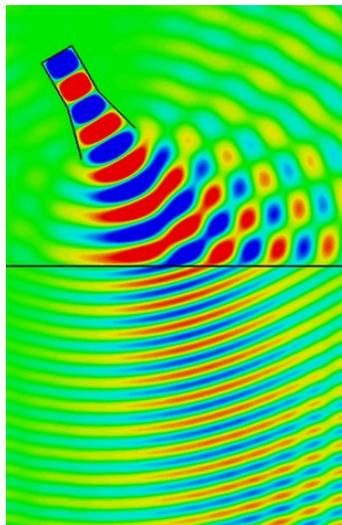


Figura 4.17: Captura de pantalla del campo eléctrico en el dominio de simulación de la refracción. Los colores más cálidos indican valores mayores del campo eléctrico.

### 4.3. Evaluación del alumnado

Esta propuesta didáctica debe incluirse en un curso lectivo con una programación didáctica de Física de segundo de Bachillerato previamente definida. Por lo tanto, el docente deberá ser consciente en todo momento de esta ligadura para adaptar la propuesta convenientemente a sus métodos evaluadores.

No obstante, aunque la hipotética programación careciese de una mención específica, esta propuesta considera fundamental que la evaluación de los alumnos se realizara mediante la combinación de una prueba escrita y un informe donde se recogieran las respuestas a unas preguntas sobre ondas y fenómenos ondulatorios. El primer instrumento debería, a juicio del autor, incluir algunos ejercicios matemáticos que trabajasen los contenidos básicos incluidos en 4.1.1.1 junto con alguna pregunta de tipo conceptual. El segundo instrumento evaluador consistiría en una compilación de las respuestas a una serie de preguntas (no más de cuatro) relativas al trabajo individual con los programas de *Geogebra*. Con esta iniciativa se pretende involucrar a los estudiantes en el uso de las animaciones y simulaciones como complementos mientras desarrollan la autorregulación de su aprendizaje.

A continuación, se incluye una sugerencia de preguntas relacionadas con los contenidos y materiales de esta propuesta didáctica a las que el estudiante debería responder en un informe **razonadamente**.

#### Ondas transversales y longitudinales

- 1.- ¿En qué modifica las representaciones variar la amplitud? ¿Y la frecuencia?
- 2.- ¿Podría indicarse la longitud de onda en el caso longitudinal utilizando otras referencias? ¿Y en la onda transversal?

#### Fundamentos de las ondas transversales

- 1.- ¿En qué se diferencian las representaciones en seno y coseno?
- 2.- ¿El cambio en el sentido de propagación modifica el número de onda o el periodo? ¿Qué cambia?
- 3.- Fíjate en el punto violeta. ¿Qué tipo de movimiento describe?
- 4.- ¿Hay alguna referencia visual que muestre la doble periodicidad de la onda armónica en espacio-tiempo?

## Superposición de ondas armónicas transversales

- 1.- Aunque se representen las ondas roja y azul por separado, ¿qué debe ocurrir para que se produzca la interferencia?
- 2.- ¿Se pueden encontrar situaciones de batido en la animación? Justifícalo y demuéstalo con una captura de pantalla.
- 3.- ¿Se pueden encontrar situaciones de onda estacionaria en la animación? Justifícalo y demuéstalo con una captura de pantalla.
- 4.- ¿Puedes pasar de una interferencia destructiva a una constructiva modificando algún parámetro?

## Batidos

- 1.- Las frecuencias mostradas a la izquierda, ¿qué representan?
- 2.- ¿A partir de qué diferencia (aproximada) de frecuencias escuchas los batidos con mayor claridad? (*Pregunta sin efecto para los alumnos sordos.*)

## Refracción

- 1.- Calcula el ángulo límite para las siguientes situaciones y compruébalo (adjunta capturas de pantalla para demostrarlo):  $v_1 = 1,5$  y  $v_2 = 2$ ;  $v_1 = 1,5$  y  $v_2 = 2,5$ ;  $v_1 = 1,5$  y  $v_2 = 3$ ;  $v_1 = 1,5$  y  $v_2 = 3$ .
- 2.- ¿Qué ocurre si  $v_1 = v_2$ ?
- 3.- ¿Qué representan los semicírculos verdes a trazos que aparecen durante la animación?

## Polarización de las ondas transversales

- 1.- En base a lo que observas en la animación, ¿qué representan los dos objetos numerados?
- 2.- ¿Puedes conocer la orientación del Objeto 1 con tan sólo observar la posición del Objeto 2?

## Efecto Doppler clásico

- 1.- ¿Qué ocurre cuando  $v_A = v$  y  $v_O = 0,5v$ ?

- 2.- ¿Guardan algún tipo de relación las dos situaciones siguientes:  $v_A = 0,7v$  y  $v_O = -0,3v$  y  $v_A = -0,3v$  y  $v_O = -0,7c$ ?
- 3.- Registra al menos cuatro situaciones diferentes adjuntando capturas de pantalla.
- 4.- ¿Hay alguna situación en la que el observador no escuche el sonido de la ambulancia?

## Ondas estacionarias en una cuerda

- 1.- ¿Se nombran igual los armónicos con el mismo  $n$  para las dos situaciones?
- 2.- ¿Cómo se forma la onda estacionaria que aparece?
- 3.- ¿Se pueden conseguir las mismas frecuencias para los modos en ambas situaciones?
- 4.- ¿Qué representan los puntos verdosos?

## Ondas estacionarias en un tubo lleno de aire

- 1.- ¿Qué representa la línea azul?
- 2.- Las ondas acústicas del tubo, ¿son longitudinales o transversales?

## Ondas electromagnéticas

- 1.- ¿Qué ángulo forman los vectores  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$ ?
- 2.- ¿Qué significa el vector  $\vec{v}$ ?

Considerando las preguntas anteriores, y teniendo en mente los contenidos y competencias recogidos en 4.1.1.1 y 4.1.1.2, se ha desarrollado una rúbrica que guiaría el nivel de logro de los estudiantes en la propuesta digital. La Figura 4.18 contempla cuatro niveles de desempeño numerados de 1 a 4 para dos aspectos como son la redacción y el contenido de las respuestas a las preguntas en el informe. A cada nivel se le otorga una proporción del 25 % de la calificación máxima posible, por lo que el alumno que consiga un sobresaliente obtendrá la evaluación máxima definida para cada apartado.

Indicadores	1/Suspenseo	2/Aprobado	3/Notable	4/Sobresaliente	Punt. máx.	Competencias
Redacción 40%	El lenguaje empleado es vulgar, poco técnico y difícil de comprender, con muchas faltas de ortografía.	El lenguaje empleado es adecuado pero incluye fragmentos de difícil comprensión y faltas de ortografía	El lenguaje es adecuado y comprensible. Alguna falta de ortografía.	El lenguaje incluye vocabulario específico, estructuras sintácticas adecuadas y comprensibles. Ausencia de faltas de ortografía.	4	CL, CMCT, CD, CAA, SIE
Contenido 60%	Los razonamientos científicos no están bien contruidos y/o no aluden a las cuestiones planteadas	Los razonamientos y reflexiones demuestran una comprensión básica de la materia, si bien no se explica correctamente.	Los razonamientos y reflexiones demuestran una comprensión profunda de algunos aspectos de la materia.	Los razonamientos y reflexiones demuestran una comprensión profunda de toda la materia.	6	

Figura 4.18: Rúbrica de la propuesta. Elaboración propia.

## 4.4. Evaluación de la propuesta

En primer lugar, se ha realizado un análisis DAFO (Debilidades-Amenazas-Fortalezas-Oportunidades, ver Figura 4.19) con el objetivo de establecer aquellos factores que rodean a la posible la implementación de la propuesta diseñada y pueden jugar un rol importante de cara al éxito de ésta.

Naturalmente, podrían existir factores adicionales propios del contexto educativo y social específico donde se intente llevar a cabo la propuesta cuya consideración podría ser necesaria. Por lo tanto, antes de llevarla a la práctica, el docente debería ajustar su plan docente a las dinámicas y el ambiente educativo que presentase el grupo para potenciar las oportunidades y fortalezas mientras rebaja el efecto de las debilidades y amenazas de la propuesta

FACTORES INTERNOS	
FACTORES POSITIVOS	<p><b>Fortalezas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Instituto abierto a incorporar nuevas metodologías para ayudar a sus alumnos.</li> <li>➤ Utilización de las TIC para ensanchar las vías del aprendizaje.</li> <li>➤ Disponibilidad de recursos tecnológicos del siglo XXI.</li> <li>➤ Formación continua de los profesores-investigadores.</li> <li>➤ Alumnos desarrollan un aprendizaje más autónomo.</li> </ul>
	<p><b>Debilidades:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Inexperiencia en la utilización de TIC como vías del aprendizaje.</li> <li>➤ Calendarios apremiantes, especialmente en segundo de Bachillerato.</li> <li>➤ Alumnos no familiarizados con esta metodología lo toman como una sobrecarga de trabajo.</li> </ul>
FACTORES NEGATIVOS	<p><b>Oportunidades:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Alumnado ilusionado, responsable y proactivo.</li> <li>➤ Utilización de la metodología para otros contenidos de Física.</li> <li>➤ Ambiente educativo de carácter innovador, con actitud positiva y ganas de mejorar.</li> <li>➤ Impulso por parte de las administraciones educativas para promover nuevas mejoras de los procesos de enseñanza-aprendizaje.</li> </ul>
	<p><b>Amenazas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Contenidos curriculares novedosos (ondas por primera vez en segundo de Bachillerato).</li> <li>➤ Dependencia de la actitud de los alumnos (y de los padres).</li> </ul>
FACTORES EXTERNOS	

Figura 4.19: Análisis DAFO de la propuesta. Elaboración propia.

La segunda característica para valorar el efecto de la propuesta es una encuesta de satisfacción dirigida a los estudiantes. A través de un cuestionario se pretende conocer el impacto real de la propuesta en el aprendizaje de los estudiantes. Este apartado resulta vital para poder perfeccionar el uso de simulaciones y animaciones interactivas en intervenciones futuras, de manera que el análisis de las respuestas proporcionadas por los estudiantes permita al docente identificar los aspectos que requieran mayor atención y actuar en consecuencia para continuar mejorando de los procesos de enseñanza-aprendizaje de la física.

La Figura 4.20 incluye el modelo de cuestionario diseñado para dicho fin, basado en una propuesta similar de [Arkarazo, 2015]. Esta ficha incluye un total de diez ítems evaluables por los alumnos en una escala del 1 al 5, siendo 1 “Nada” y 5 “Mucho”, dos preguntas de respuesta abierta y una mixta. De esta forma, los estudiantes anónimos expresarían su nivel de conformidad con la propuesta.

<b>ENCUESTA DE SATISFACCIÓN</b>					
<b>Grupo:</b>	<b>Fecha:</b>	<b>Puntuación:</b>			
<b>Ítems por valorar:</b>	1: Nada; 2: Algo; 3: Suficiente; 4: Bastante; 5: Mucho;				
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
La propuesta me ha resultado interesante.					
La nueva metodología ha aumentado mi motivación por la física.					
Ha facilitado mi aprendizaje de nuevos conceptos.					
Además de ampliar conocimientos, he desarrollado capacidades procedimentales y actitudes que podrían serme útiles en el futuro.					
He aprendido a generar conocimientos de manera autónoma.					
Esta propuesta me ha ayudado a conocer nuevos espacios de aprendizaje.					
La carga de trabajo con el ordenador era justa.					
Me he encontrado más cómodo utilizando los medios digitales que los analógicos.					
Me he distraído más utilizando los medios digitales que los analógicos.					
Me gustaría continuar con esta metodología en clases de Física.					
Me gustaría que se aplicara esta metodología en otras asignaturas.					
¿Cuáles?					
Aspectos positivos:					
Aspectos negativos:					

Figura 4.20: Encuesta de satisfacción de la propuesta. Elaboración propia.

# Capítulo 5

## Conclusiones y nuevos horizontes

*«No te creas el único autor de historias de este mundo. Antes o después alguien, más mentiroso que Baudolino, la contará.»*

– Umberto Eco, *Baudolino*

### 5.1. Recapitulación

Los procesos de enseñanza-aprendizaje de la física en la educación secundaria son complejos debido a una combinación de factores, entre los que se encuentran la abstracción de los conceptos científicos, las estructuras cognitivas de los alumnos generadas por la experiencia cotidiana o por afinidad ideológica, la falta de apelación a su entorno y la creencia social de que las ciencias tienen un rango de empleabilidad mucho más reducido que otros campos.

La lección magistral ha sido la práctica docente más extendida, casi exclusivamente, en la educación española durante los últimos siglos debido a un buen número de razones históricas, religiosas y políticas. A pesar de ello, las investigaciones científicas demuestran que este método se muestra incapaz por sí solo de sobreponerse a los retos educativos de una sociedad inundada por la información debido a la expansión inopinada de las TIC. Aunque este trabajo se desmarca de las intenciones que profesan algunas corrientes de pensamiento que abogan, incluso, por su eliminación, sí reconoce la necesidad de complementar las enseñanzas tradicionales mediante unos complementos digitales. Tal y como han encontrado algunas investigaciones educativas, la introducción de las animaciones y simulaciones computacionales puede contribuir significativamente a mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias naturales, en particular la física, en aquellas ocasiones que complementan las explicaciones del profesor. Se ha demostrado que estos elementos informáticos favorecen el desarrollo de la autorregulación del aprendizaje, ayudan a acabar con las preconcepciones y facilitan el

acceso a la comprensión de los conceptos físicos gracias a las herramientas de visualización animada e interactividad.

Esta propuesta se centró en el Bloque 4: Ondas del currículo oficial de la Junta de Castilla y León para la asignatura Física de segundo curso de Bachillerato. El estudio de las ondas y los fenómenos ondulatorios constituye una de las partes más importantes de la física de todas las épocas debido a la presencia de fenómenos ondulatorios en todas las escalas naturales, como la superficie del agua de un estanque, la piel de un tambor e incluso las porciones de materia más diminutas que conocemos de nuestro universo (las partículas fundamentales). No se debe olvidar que la tecnología basada en el aprovechamiento controlado y no lesivo de las ondas electromagnéticas juega un papel crucial en nuestra sociedad, ya que permite la difusión de información mediante señales de radio o televisión a cualquier punto del planeta.

A pesar de la importancia de las ondas en nuestra sociedad y de su presencia continua en las vidas de los estudiantes de educación secundaria, en la comunidad autónoma castellanoleonesa los contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje asociados a su tratamiento científico quedan relegados actualmente (LOMCE) al segundo curso de Bachillerato, salvo que fuese posible realizar alguna experiencia en Laboratorio de ciencias. Esta limitación vuelve imprescindible diseñar una propuesta didáctica capaz de transmitir los conceptos físicos más importantes de la manera más significativa posible a los estudiantes. Por significativo se entiende que los estudiantes sean capaces de relacionar las ideas científicas con su entorno más próximo y conocer unos modelos sencillos para explicar fenómenos o tecnologías con los que se encuentran.

La propuesta persigue, en consecuencia, lograr un aprendizaje significativo en los alumnos trabajando no sólo los contenidos científicos sino también seis de las siete competencias básicas curriculares, por lo que desarrolla múltiples dimensiones del aprendizaje. La metodología escogida supone una combinación de las lecciones magistrales y la utilización de simulaciones y animaciones interactivas; *CST Studio Suite* se utilizó para obtener unos *gifs* donde se representan de manera fidedigna fenómenos como la difracción a través de una rendija, la interferencia de dos fuentes coherentes o la propagación de una onda electromagnética plana a través de dos medios con índices de refracción diferentes; *Geogebra* permitió diseñar unos programas mediante los cuales animar los modelos matemáticos de las ondas en segundo de Bachillerato y dotarlos de un componente interactivo que los vuelva más atractivos. Las animaciones posibilitan asimismo un trabajo autónomo que será tomado en cuenta como parte de la evaluación del desempeño estudiantil en la propuesta. Para conocer el impacto en los alumnos de la metodología escogida, se propone realizar una encuesta de satisfacción para conocer las opiniones de manera anónima e identificar los aspectos de la propuesta que puedan requerir de alguna modificación para experiencias subsiguientes.

A pesar de la existencia de otras propuestas similares para otras ramas del conocimiento, este es el primer trabajo que propone un tratamiento basado en la combinación de elementos tradicionales y simulaciones computacionales para los contenidos relacionados con las ondas en la educación secundaria en Castilla y León (y el único de España en utilizar *CST Studio Suite*).

## 5.2. Futuro

Este trabajo concluye lanzando una serie de ideas juzgadas como interesantes para futuros desarrollos didácticos en la física.

El paso siguiente hacia la “virtualización” de la escuela puede llegar a través de los entornos diseñados con motores gráficos. Los laboratorios virtuales representan, en el caso de las ciencias naturales, una posibilidad cada vez más accesible de simular experimentos dentro de un entorno inmersivo similar a un videojuego, abriendo la puerta a la verdadera *gamificación* educativa. El trabajo [Potkonjak et al., 2016] incluye un compendio de iniciativas piloto que se han desarrollado en Europa recientemente, si bien este campo progresa velozmente y cada año aparecen nuevas innovaciones. Pudiera ser, además, que la pandemia del SARS-CoV-2 acelere la implantación de programas curriculares basados en esta metodología.

La escuela puede ser un espacio de convivencia y trabajo durante toda la jornada, desde las horas lectivas de la mañana hasta las actividades de la tarde. ¿Se puede apostar por actividades basadas en contextos científicos en horarios menos habituales? Un conjunto de experiencias [Chan et al., 2020] revelaron que la participación de alumnos de secundaria en programas relacionados con las siglas STEM (ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas) no sólo mejoraron sus resultados académicos en dichas disciplinas sino que incrementaron su interés en proseguir la etapa académica superior en grados universitarios de esa índole. Actualmente, existen iniciativas como *Estalmat* encargadas de fomentar el desarrollo matemático de los estudiantes de ESO interesados en matemáticas (participan regularmente en Canguros y Olimpiadas Matemáticas, con buenos resultados), si bien podría resultar interesante crear una iniciativa para extender su alcance para tratar de acercar los otros contextos STEM a los adolescentes.

Uno de los peores tragedias que puede producir nuestro sistema educativo debido a su estructura es la compartimentación del conocimiento de los alumnos. El autor de este texto fue testigo de varios alumnos en sus prácticas de instituto cuya concepción parcelaria del conocimiento emergía continuamente. Por ejemplo, uno se quejó abiertamente al profesor de Física y Química por utilizar el Teorema de Pitágoras; “que eso es de Matemáticas y aquí no toca” fueron sus palabras textuales. Apostar por una integración más flexible de los saberes sería, a juicio del autor, deseable, si bien requiere de una planificación extremadamente concienzuda para alcanzar una coordinación plena entre los profesores de los distintos ámbitos.

También se deberían explorar formas de combinar la enseñanza de la física con aspectos emocionales o de expresión personal ante la creciente valoración de su importancia en el aprendizaje. Y, ¿qué mejor medio para hacerlo que el teatro? Existen algunas propuestas de campos como la filosofía [Cubero, 2020] donde la expresión dramática se presenta como una herramienta capaz de trabajar capacidades intelectuales, físicas, emocionales y sociales. Las experiencias vitales del autor de este trabajo dan buena cuenta de ello. En física y ciencias naturales, aunque existe algún trabajo publicado [Carpinetti et al., 2011], queda mucho por explorar, y explotar. Una posibilidad podría ser trabajar conjuntamente los fundamentos del

método científico y las capacidades enumeradas anteriormente utilizando fragmentos de *La vida de Galileo* (Bertol Brecht), advirtiéndole convenientemente a los alumnos sobre algunas manipulaciones en las que incurre el maestro alemán con fines artísticos. Experiencias como esta donde se mezclan aspectos culturales, políticos y científicos resultan indudablemente enriquecedoras para cualquier estudiante y, además, pueden ayudar a destruir la concepción parcelaria del saber.

# Apéndice A

## Materiales informáticos

Los *gifs* y programas de *Geogebra* mencionados a lo largo de la descripción de la propuesta se pueden encontrar pinchando [aquí](#).

# Bibliografía

- [Ainsworth and VanLabeke, 2004] Ainsworth, S. and VanLabeke, N. (2004). Multiple forms of dynamic representation. *Learning and Instruction*, 14(3):241–255. Dynamic Visualisations and Learning.
- [Amadeu and Leal, 2013] Amadeu, R. and Leal, J. P. (2013). Ventajas del uso de simulaciones por ordenador en el aprendizaje de la física. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(3):177–188.
- [Arkarazo, 2015] Arkarazo, G. A. (2015). *Enseñanza del movimiento ondulatorio en Bachillerato: una aproximación mediante el aprendizaje basado en problemas (Trabajo Fin de Máster)*. Universidad Internacional de la Rioja.
- [Bauman, 2005] Bauman, Z. (2005). *Los retos de la educación en la modernidad líquida*. Gedisa, Barcelona.
- [Binek et al., 2018] Binek, S., Kimla, D., Jarosz, J., and Sty, K. (2018). Using computer simulation to aid the interactive learning of physics in secondary education. *Physics Education*, 53(5):109–116.
- [Cabrerizo et al., 2016] Cabrerizo, D. M. A., Bozal, J. L. A., and Pérez, J. B. (2016). *Física 2<sup>o</sup> Bachillerato*. Editex, Madrid.
- [Cardín, 1982] Cardín, A. (1982). *Movimientos religiosos modernos*. Salvat, Barcelona.
- [Carpineti et al., 2011] Carpineti, M., Cavinato, M., Giliberti, M., Ludwig, N., and Perini, L. (2011). Theatre to motivate the study of physics. *Journal of Science Communication*, 10(1).
- [Castells, 2010] Castells, M. (2010). *The Rise of the Network Society (Second Edition)*. Wiley-Blackwell, New York.
- [Chan et al., 2020] Chan, H.-Y., Choi, H., Hailu, M. F., Whitford, M., and Duplechain De-Rouen, S. (2020). Participation in structured stem-focused out-of-school time programs in secondary school: Linkage to postsecondary stem aspiration and major. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(8):1250–1280.
- [Clark, 1994] Clark, R. (1994). Media will never influence learning. *Educational Technology Research and Development*, 42:21–29.

- [Cubero, 2020] Cubero, A. B. (2020). *Ver, sentir, hacer, pensar-El uso de la expresión dramática en la enseñanza de la filosofía (Trabajo Fin de Máster)*. Universidad de Valladolid.
- [Dervić et al., 2018] Dervić, D., Glamočić, D. S., Gazibegović-Busuladžić, A., and Mešić, V. (2018). Teaching physics with simulations: Teacher-centered versus student-centered approaches. *Journal of Baltic Science Education*, 17(2):288–299.
- [Driver, 1986] Driver, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2):3–15.
- [Ekici, 2016] Ekici, E. (2016). Understanding high school students’ difficulties in learning physics. *Journal of Education and Practice*, 7(7):95–107.
- [Falloon, 2019] Falloon, G. (2019). Using simulations to teach young students science concepts: An experiential learning theoretical analysis. *Computers and Education*, 135:138–159.
- [Feyerabend, 1976] Feyerabend, P. (1976). *Cómo ser un buen empirista. Defensa de la tolerancia en cuestiones epistemológicas*. Universidad de Valencia (Traducción de D. Ribes y M. R. de Madaira), Departamento de Lógica y Filosofía de la Ciencia.
- [Fitzpatrick et al., 2018] Fitzpatrick, D., Murray, S., van Leendert, A., Brzostek-Pawłowska, J., and Rubin, M. (2018). *A comparative Analysis of ICT Tools and the Mathematical Education of Blind and Visually Impaired people in Ireland, Poland, the Netherlands, and Neighbouring Countries*.
- [González-Tejero and Parra, 2011] González-Tejero, J. S. and Parra, R. M. P. (2011). El constructivismo hoy: enfoques constructivistas en educación. *REDIE. Revista Electrónica de Investigación Educativa*.
- [Halloun and Hestenes, 1985] Halloun, I. and Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Physics*, 53:1056–1065.
- [Harackiewicz et al., 2016] Harackiewicz, J. M., Smith, J. L., and Priniski, S. J. (2016). Interest matters: The importance of promoting interest in education. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 3(2):220–227.
- [Hidi and Renninger, 2006] Hidi, S. and Renninger, K. A. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational Psychologist*, 41(2):111–127.
- [Hohenwarter, 2002] Hohenwarter, M. (2002). *Ein Softwaresystem für dynamische Geometrie und Algebra der Ebene (Trabajo Fin de Máster)*. Universität Salzburg.
- [Hohenwarter, 2004] Hohenwarter, M. (2004). Combination of dynamic geometry, algebra and calculus. *Proceedings of Computer Algebra and Dynamic Geometry Systems in Mathematics Teaching 2004. Pecs, Hungary: CADGME*.
- [INE, 2019] INE (2019). Encuesta sobre equipamiento y uso de tecnologías de información y comunicación en los hogares.

- [Jaeger, 2017] Jaeger, W. W. (2017). *Paideia: los ideales de la cultura griega*. Fondo de Cultura Económica de España, Madrid.
- [Jimoyiannis and Komis, 2001] Jimoyiannis, A. and Komis, V. (2001). Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion. *Computers and Education*, 36:183–204.
- [Liu et al., 2008] Liu, H.-C., Andre, T., and Greenbowe, T. (2008). The impact of learner's prior knowledge on their use of chemistry computer simulations: A case study. *Journal of Science Education and Technology*, 17(5):466–482.
- [Marshall and Young, 2006] Marshall, J. A. and Young, E. S. (2006). Preservice teachers' theory development in physical and simulated environments. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(9):907–937.
- [Merillas, 2018] Merillas, M. (2018). *Estudio de una estructura metamaterial mediante simulación numérica: resonadores SRRs (Trabajo Fin de Grado)*. Universidad de Valladolid.
- [Millán, 2005] Millán, M. C. (2005). Una experiencia de utilización de simulaciones informáticas en la enseñanza secundaria. *Educatio Siglo XXI*, 23:141–170.
- [Moreira, 2010] Moreira, M. A. (2010). ¿al final, qué es el aprendizaje significativo? *Revista Currículum*, 25:29–56.
- [Morin, 1999] Morin, E. (1999). *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. Santillana, Madrid.
- [Murphy and Beggs, 2003] Murphy, C. and Beggs, J. (2003). Children's perceptions of school science. *School Science Review*, 84:109–116.
- [Ángel Martín, 2010] Ángel Martín, M. (2010). Implicaciones educativas de la reforma y contrarreforma en la europa del renacimiento. *Cauriensa*, 5:215–236.
- [Osborne and Dillon, 2010] Osborne, J. and Dillon, J. (2010). *Good Practice in Science Teaching. What Research has to Say (Second Edition)*. Open University Press, New York.
- [Palmero, 2010] Palmero, M. L. R. (2010). La teoría del aprendizaje significativo: una revisión aplicable a la escuela actual. *Revista Electrónica d'Investigació i Innovació Educativa i Socioeducativa*, 3(1):29–50.
- [Peraita and Pastor, 2010] Peraita, C. and Pastor, J. M. (2010). *La contribución socioeconómica del sistema universitario español*. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.
- [Ploetzner and al., 2009] Ploetzner, R. and al. (2009). Students' difficulties in learning from dynamic visualisations and how they may be overcome. *Computers in Human Behavior*, 25:56–65.
- [Potkonjak et al., 2016] Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M., and Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Computers and Education*, 95:309–327.

- [Rodríguez et al., 2019] Rodríguez, J. M. M., Serrano, M. J. H., and González, S. S. (2019). El interés por el conocimiento científico de los estudiantes de secundaria en españa. *Educação e Sociedade*, 40.
- [Rutten et al., 2012] Rutten, N., van Joolingen, W. R., and van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers and Education*, 58(1):136–153.
- [Rychen and Salganik, 2003] Rychen, D. and Salganik, L. (2003). Highlights from the oecd project definition and selection competencies: Theoretical and conceptual foundations (de-seco).
- [Sahelices, 2009] Sahelices, M. C. C. (2009). ¿qué aprendizaje promueve el desarrollo de competencias? una mirada desde el aprendizaje significativo. *Revista Currículum*, 22:11–34.
- [Sanmartí and Jorbá, 1995] Sanmartí, N. and Jorbá, J. (1995). Autorregulación de los procesos de aprendizaje y construcción de conocimientos. *Alambique*, 4:59–77.
- [Sansone and Thoman, 2005] Sansone, C. and Thoman, D. B. (2005). Interest as the missing motivator in self-regulation. *European Psychologist*, 10(3):175–186.
- [Sarabandoa et al., 2014] Sarabandoa, C., Cravino, J. P., and Soares, A. A. (2014). Contribution of a computer simulation to students’ learning of the physics concepts of weight and mass. *Procedia Technology*, 13:112–121.
- [Solbes et al., 2007] Solbes, J., Montserrat, R., and Furió, C. (2007). El desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 21:91–117.
- [Spodniaková, 2015] Spodniaková, M. (2015). Computer simulations and their influence on students’ understanding of oscillatory motion. *Informatics in Education*, 14(2):279–289.
- [Staras et al., 2012] Staras, S., Martavicius, R., Skudutis, J., Urbanavicius, V., and Daskevicius, V. (2012). *Wide-Band Slow-Wave Systems: Simulations and Applications*. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- [Stephens and Clement, 2015] Stephens, A. L. and Clement, J. J. (2015). Use of physics simulations in whole class and small group settings: Comparative case studies. *Computers and Education*, 86:137–156.
- [Éthienne Gilson, 2014] Éthienne Gilson (2014). *La Filosofía en la Edad Media*. Gredos, Madrid, España.
- [Trundle and Bell, 2010] Trundle, K. C. and Bell, R. L. (2010). The use of a computer simulation to promote conceptual change: A quasi-experimental study. *Computers and Education*, 54(4):1078–1088.
- [Valdmann et al., 2012] Valdmann, A., Holbrook, J., and Rannikmäe, M. (2012). Evaluating the teaching impact of a prior, context-based, professional development programme. *Science Education International*, 23:116–185.

- [van den Akker, 1997] van den Akker, J. (1997). *The science curriculum: between ideals and outcomes*. Kluwer.
- [Vera, 2019] Vera, C. J. E. (2019). *Estudio de una estructura metamaterial quirral mediante una simulación numérica (Trabajo Fin de Grado)*. Universidad de Valladolid.
- [Vilches and Furió, ] Vilches, A. and Furió, C. Ciencia, tecnología, sociedad: Implicaciones en la educación científica para el siglo xxi.
- [Wagensberg, 2014] Wagensberg, J. (2014). On the existence and uniqueness of the scientific method. *Biol Theory*, 9:331–346.
- [Waight and Abd-El-Khalick, 2007] Waight, N. and Abd-El-Khalick, F. (2007). The impact of technology on the enactment of “inquiry” in a technology enthusiast’s sixth grade science classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(1):154–182.
- [Whitaker, 1983] Whitaker, R. (1983). Aristotle is not dead: student understanding of trajectory motion. *American Journal of Physics*, 51:352–357.
- [Winn et al., 2006] Winn, W., Stahr, F., Sarason, C., Fruland, R., Oppenheimer, P., and Lee, Y.-L. (2006). Learning oceanography from a computer simulation compared with direct experience at sea. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(1):25–42.
- [Zamora and Ardura, 2014] Zamora, A. and Ardura, D. (2014). ¿en qué medida utilizan los estudiantes de física de bachillerato sus propios errores para aprender? una experiencia de autorregulación en el aula de secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(2):253–268.
- [Zimmerman, 2000] Zimmerman, B. (2000). *Attainment of self-regulation: A social cognitive perspective*. Academic Press.
- [Zou, 2000] Zou, B. (2000). *The use of multiple representations and visualizations in student learning of introductory physics: an example from work and energy (PhD)*. The Ohio State University.