



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación
Convocatoria 2024/2025
Proyecto nº 91

Diseño y producción de vídeos para la comprensión de las ondas estacionarias en
varias dimensiones

Responsable del Proyecto: Emilio Nogales Díaz
Facultad de Ciencias Físicas
Departamento de Física de Materiales

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

El avance de la tecnología durante las últimas décadas está permitiendo crear y difundir material didáctico a un público cada vez más amplio y disperso geográficamente, con presupuestos cada vez más modestos. Por otra parte, el alumnado es cada vez más proclive a buscar en Internet información complementaria a la recibida en las clases, la bibliografía recomendada y/o el material de apoyo aportado por sus docentes. Buena parte de dicha información buscada en Internet es de carácter audiovisual, dada la capacidad de sintetizar y mostrar de manera muy completa, y desde varios ángulos, aspectos concretos de las materias. Entre la enorme cantidad de vídeos que se pueden encontrar en la web acerca de casi cualquier disciplina, existen diferencias notables tanto en la calidad y veracidad de la información que aportan como en su montaje. Desde vídeos caseros con escaso trabajo de guion y montaje hasta vídeos de gran complejidad técnica y excelente factura en todas sus facetas. Estos últimos, sin embargo, no suelen ser de contenido técnico, sino documentales y obras de divulgación, de gran valor para lo que están pensados, pero que se quedan cortos en los aspectos técnicos a la hora de utilizarlos como material de apoyo en las asignaturas.

Los miembros de este proyecto consideramos muy importante que los docentes, y el personal en general, de la UCM creamos contenido audiovisual de calidad en todos sus aspectos al que se pueda acceder libremente, para que tanto nuestros estudiantes como los de otras instituciones puedan beneficiarse de él. Cada vez es más accesible económicamente crear material de excelente factura técnica gracias a la tecnología, si lo desarrollan personas con la formación necesaria, con experiencia y buenos conocimientos sobre el tema.

El objetivo global del presente proyecto es la comunicación de uno de los conceptos y herramientas transversales de mayor relevancia en la Física – las ondas estacionarias – por medios audiovisuales de calidad, creando varios vídeos que sumen una duración total de aproximadamente 30 minutos. Se plantea hacer públicos los vídeos resultantes a través de las plataformas para que no sólo los estudiantes de la Universidad Complutense puedan acceder a ellos, sino cualquier persona del mundo.

La consecución se puede desglosar en varios objetivos concretos:

- Objetivo 1) Selección, diseño y montaje de los experimentos más relevantes y visualmente atractivos para observar ondas en 1, 2 y 3 dimensiones.
- Objetivo 2) Creación de un guion que hilvane de manera óptima dichos experimentos y la teoría y desarrollo matemático que los explican. Se valorará crear los vídeos tanto en español como en inglés.
- Objetivo 3) Grabación de los vídeos de los experimentos con los medios disponibles en la Facultad de Ciencias de la Información y en la Facultad de Ciencias Físicas, con cámaras, iluminación, platós de grabación,... que permitan llegar a la mencionada calidad audiovisual.
- Objetivo 4) Creación de animaciones 3D de los sistemas físicos analizados en los experimentos mediante Blender, uno de los programas de referencia incluso en el ámbito profesional para la creación de imágenes y animaciones, que tiene la ventaja de ser gratuito y multiplataforma (Windows, macOS y Linux).
- Objetivo 5) Creación de una banda sonora musical original a la altura de la calidad del proyecto, del material audiovisual.
- Objetivo 6) Montaje final a partir de todo el material desarrollado en los puntos 3), 4) y 5). Se elegirá la mejor opción entre crear un único vídeo que integre todo junto o crear varios vídeos (cápsulas) que se entrelazarán entre sí cuando se hagan públicos.

Al trabajar equipos de estudiantes y profesorado pertenecientes a dos áreas de conocimiento diversas, como la Física y las Ciencias de la información, se espera alcanzar sinergias muy estimulantes que permitan a todas las personas implicadas conocer los procesos de funcionamiento de ambas áreas. Los estudiantes de Ciencias Físicas entenderán cómo se diseña, guioniza, graba y monta un vídeo, y los estudiantes de Ciencias de la Información entenderán, a su vez, cómo se elaboran experimentos científicos en toda su secuenciación. Audiovisual (especialmente el formato documental) y ciencia son dos disciplinas que se han dado la mano desde que nació el cine y con este proyecto seguimos explorando las posibilidades que nos brinda esta interdisciplinariedad.

2. Objetivos alcanzados

Los 6 objetivos que se propusieron previstos se han cumplido en su totalidad, tal como se planificó inicialmente y se indicó en la Memoria de Solicitud. Pasamos a detallar sus aspectos más significativos.

- Objetivo 1) Selección, diseño y montaje de los experimentos más relevantes y visualmente atractivos para observar ondas en 1, 2 y 3 dimensiones.

Tras un periodo de discusión entre varios de los miembros del proyecto en la que se hizo una lista de posibles experimentos y se valoraron sus pros y contras teniendo en cuenta varios aspectos, se seleccionaron cinco de ellos. El primero de ellos es el de las resonancias en cuerdas, donde se aprecian claramente sus armónicos, que son estados estacionarios en 1 dimensión y que es la manera más directa de introducir el tema de los vídeos, por su relativa sencillez de realización y facilidad de visualización e interpretación. Además, se puede discutir con este experimento el análisis de Fourier, una herramienta conceptual y matemática de enorme relevancia en matemáticas, física y las demás ramas de la ciencia. El segundo es el de resonancias de ondas electromagnéticas en un cable coaxial. Está muy relacionado con los armónicos en cuerdas, a pesar de tratarse de ondas de naturaleza diferente. El tercero es el de la placa de Chladni, que también permite una fácil visualización del fenómeno de estados estacionarios, en este caso en 2 dimensiones. El cuarto es el tubo de Kundt, que tiene mayor complejidad y permite obtener resonancias en 3 dimensiones. Por último, se eligió el experimento de emisión de luz de gases ionizados, incluyendo su análisis espectral, para extender la idea de estados de ondas estacionarias en 3 dimensiones a un fenómeno no relacionado con la física clásica (mecánica y electromagnetismo), sino con la física cuántica.

- Objetivo 2) Creación de un guion.

Una vez seleccionados los experimentos se escribió el guion en el que se detallaban el texto que se iría narrando a lo largo de los vídeos, así como los diferentes tipos de imágenes/grabaciones que se deberían utilizar. Se desarrolló en español e inglés. En el guion queda plasmado que deberían grabarse los experimentos, además de crearse animaciones 3D con el software libre Blender, así como utilizar vídeos que no requieren el pago por su uso de bancos de imágenes y vídeos (pixabay, por ejemplo). Durante el desarrollo del guion también quedó claro que lo ideal era crear varios vídeos: el principal, más largo, en el que se mostraran todos los experimentos y se explicara en una clave más divulgativa sus aspectos clave, y otros tres más cortos describiendo aspectos más técnicos de tres de los experimentos (armónicos en cuerdas, placa de Chladni, tubo de Kundt).

- Objetivo 3) Grabación de los vídeos de los experimentos.

Una vez finalizado el guion se extrajeron las partes que debían ser grabadas experimentalmente. Se necesitó plantear más de 30 escenas basadas en rodaje de experimentos. Para la grabación de los vídeos, tras un análisis realizado por el equipo de la Fac. CC. Información en varias salas de esa facultad y de la de CC. Físicas, se seleccionó el Laboratorio de Mecánica Enrique Maciá de la Facultad de Ciencias Físicas. Las grabaciones de los diferentes experimentos se llevaron a cabo con éxito en varias sesiones a lo largo de diciembre de 2024 y enero de 2025, combinando el trabajo de los miembros del equipo de la Fac. CC. Información y varios de los miembros del equipo de la Fac. CC. Físicas. Se trabajó mucho para que la iluminación, planos, etc. fueran profesionales. Las grabaciones se llevaron a cabo de manera que un narrador

aparece junto a los experimentos, explicándolos. Se grabaron tanto en español como en inglés.

- Objetivo 4) Creación de animaciones 3D mediante Blender.

Una vez finalizado el guion se extrajeron las partes que debían ser creadas mediante animaciones 3D y el equipo encargado de hacerlas (Fac. CC. Físicas) fue desarrollándolas. Se necesitaron más de 30 escenas creadas mediante animaciones 3D para poder apoyar y complementar visualmente algunos aspectos que con los vídeos experimentales (objetivo 3) no era posible. El equipo se aseguró de que hubiera una coherencia visual entre todos los vídeos creados por animación, así como de que tuvieran un acabado de gran calidad. Esta actividad se llevó a cabo entre enero y junio de 2025, dada la complejidad de los vídeos a crear.

- Objetivo 5) Creación de la banda sonora musical original.

Para la creación de la música se ha contado con el músico profesional Pablo Gutiérrez Calvo, quien ha creado varias piezas musicales originales y de muy alta calidad para estos vídeos. Lo realizó en las últimas fases, cuando ya se le pudo proporcionar una versión casi finalizada del vídeo de manera que pudiera orientar la banda sonora específicamente a algunas escenas.

- Objetivo 6) Montaje final de los vídeos.

Con todo el material desarrollado en los objetivos anteriores se llevó a cabo el montaje por parte del equipo de la Fac. CC. Información, con colaboración del equipo de Fac. CC. Físicas. Dada la complejidad de este trabajo y con el fin de conseguir un acabado de alta calidad, dicho montaje se llevó a cabo durante varios meses (marzo-septiembre de 2025) para los vídeos en español. El resultado final se puede ver en el canal creado para tal fin, llamado Física Univ. Complutense Innova-Docencia Proy. 91, en el que se ha creado una lista de reproducción titulada Estados estacionarios: de los armónicos en cuerdas a los orbitales atómicos, en la que se pueden ver los siguientes vídeos:

- Vídeo principal: Estados estacionarios: de los armónicos en cuerdas a los orbitales atómicos
<https://www.youtube.com/watch?v=IVnh1kEb7hI&t=405s>
- 1er vídeo secundario: Ondas estacionarias 1D: armónicos en cuerdas
<https://www.youtube.com/watch?v=bX-dt8Sy5m8>
- 2º vídeo secundario: Ondas estacionarias 2D: placa de Chladni
<https://www.youtube.com/watch?v=mjNWNdyFxyk>
- 3er vídeo secundario: Ondas estacionarias 3D: tubo de Kundt
<https://www.youtube.com/watch?v=91vNdaG-aT0>

Los vídeos en inglés no se han podido terminar en este momento, pero se espera poder subirlos a la plataforma (Youtube) en los próximos meses.

Por último, cabe mencionar que las sinergias creadas durante el presente proyecto han sido muy estimulantes, permitiendo a las personas implicadas conocer varios procesos de funcionamiento de ambas áreas.

3. Metodología empleada en el proyecto

La metodología ha estado orientada en todo momento a obtener material audiovisual de calidad en cada una de las siguientes facetas: imagen, iluminación, sonido, montaje y guion. Se ha buscado crear vídeos que conjuguen los discursos oral, técnico escrito (matemático), visual y sonoro (sonido de los experimentos, banda sonora musical) de forma óptima. Todo ello es necesario para que sea más atractivo y que de esa manera sea asimilada más fácilmente la información, es decir, que el aprendizaje de quien utilice el material creado sea óptimo.

El método tiene como pilar fundamental la creación de un guion que combine varios aspectos: que ofrezca información con una base sólida, explicada con total coherencia y lo más autocontenida posible; que esté adecuadamente orientada a un público específico (último año de bachillerato y primeros cursos de un grado en ciencias, especialmente CC. Físicas), pero también sea de interés más general, con un tono entre didáctico y divulgativo; que sea impactante, que active la emoción del espectador/estudiante. Dicho estímulo, según demuestran los estudios de neurociencia, es básico para activar el aprendizaje activo.

Dicho guion sirvió además de guía para definir los siguientes pasos: grabación de los experimentos, creación de las animaciones 3D, composición de la banda sonora y montaje final.

Para el montaje final se ha usado software profesional, habitual en la producción de vídeo. En concreto se ha utilizado AVID junto a otros software de apoyo, como Canva (grafismo) y Audacity (locuciones). La edición se ha realizado en coordinación con el equipo de la Facultad de Ciencias Físicas, para garantizar durante el proceso que los contenidos editados mantengan siempre el rigor científico necesario.

Durante el desarrollo del proyecto se ha puesto mucha atención al hecho de que los estudiantes que forman parte del equipo - de Grado y Doctorado - adquirieran competencias y conocimientos. Todos los involucrados en el proyecto han contribuido con esfuerzo y dedicación: los estudiantes de la Videofactoría de Fac. CC. Información han estado presentes y realizado partes de las grabaciones orientadas a un proyecto concreto, los experimentos instalados por doctorandos y personal de la Fac. CC. Físicas; los doctorandos de la Fac. CC. Físicas involucrados en la creación de imágenes y vídeos de animación 3D sobre sistemas físicos reales han aplicado extensamente, de nuevo aplicándolos a un proyecto concreto, los conocimientos que fueron adquiriendo en las dos actividades formativas de la Escuela de Doctorado sobre el uso de Blender en el ámbito científico.

Al finalizar el proyecto se ha creado un canal en Youtube, llamado Física Univ. Complutense Innova-Docencia Proy. 91, en el que se ha creado una lista de reproducción titulada Estados estacionarios: de los armónicos en cuerdas a los orbitales atómicos en la que están los cuatro vídeos (el principal y los tres secundarios).

4. Recursos humanos

Todas las tareas han recaído exclusivamente en los organizadores de la actividad, no ha sido necesario contar con la participación de personal ajeno a la propuesta. Los componentes del equipo han sido cuatro profesores (Emilio Nogales, Daniel Aparicio, Francisco Domínguez-Adame, Pedro Hidalgo), cuatro estudiantes de doctorado (Paula Pérez, Dunkan Martínez, Jorge Estrada, Daniel Carrasco), dos técnicos PTGAS (Carlos Romero y Luis Miguel Serrano) y siete estudiantes pertenecientes a la Videofactoría (Samuel Arguedas, Mónica Barroso, Cristhian A. Paredes, Yini Wu, Luis Carlos Ríos, Itziar García, Chenoa Aguilar). Además, se ha contado con una persona que no es miembro de la UCM, Pablo Gutiérrez Calvo, que estaba en la propuesta de proyecto y se ha hecho cargo de la banda sonora original.

Daniel Aparicio, junto a los estudiantes de la Videofactoría llevaron a cabo las grabaciones de los vídeos experimentales, que fueron instalados por Daniel Carrasco, Carlos Romero, Luis Miguel Serrano y Emilio Nogales. Por otra parte, Francisco Domínguez-Adame, junto a Dunkan Martínez, Jorge Estrada y Paula Pérez, llevaron a cabo las animaciones con Blender. La edición y montaje de los vídeos finales corrió a cargo de Daniel Aparicio y los estudiantes de la Videofactoría, con la ayuda de Emilio Nogales para el encaje de los contenidos sobre física. El guion fue desarrollado por Emilio Nogales con la ayuda de Francisco Domínguez-Adame y Daniel Aparicio. La música original fue desarrollada por Pablo Gutiérrez Calvo.

5. Desarrollo de las actividades

El desarrollo del proyecto se ha llevado a cabo en varias fases, en las que se han ido cubriendo los diferentes objetivos planteados.

En primer lugar, para desarrollar el primer objetivo, se ha llevado a cabo un estudio en el que se han elegido los experimentos idóneos para mostrar ondas estacionarias en 1, 2 y 3 dimensiones. Ya se habían elegido varios que de hecho ya estaban preparados con anterioridad: los armónicos en una cuerda oscilante, la placa de Chladni, el tubo de Kundt y la luminiscencia de gases. El de la cuerda oscilante estaba ya presente en el Laboratorio de Mecánica y Ondas de la Fac. CC. Físicas, incluyendo el análisis de Fourier (también utilizado en el vídeo creado en este proyecto). Los de la placa de Chladni y tubo de Kundt fueron instalados por Emilio Nogales y Pablo Gutiérrez para mostrarlos en la charla La música de la física (impartida en la Semana de la Ciencia de Madrid, en el ciclo Gijón con Ciencia y en VII Encuentro sobre transversalidad de la Univ. de Málaga) y en particular, para el tubo de Kundt fue muy importante la ayuda de Luis Miguel Serrano. El de luminiscencia de gases con una bobina de Tesla fue instalado por Carlos Romero en el laboratorio de Física de Materiales de la Fac. CC. Físicas. A ellos se añadió posteriormente otro experimento de gran interés: Resonancias electromagnéticas en cable coaxial, presente en el Laboratorio de Electricidad y Magnetismo de la Fac. CC. Físicas.

Una vez seleccionados los experimentos que ilustrarían los aspectos esenciales de los estados estacionarios, se procedió a completar el objetivo número 2, es decir, desarrollar un guion que aunara dos aspectos fundamentales 1) una comunicación de los conceptos efectiva, pensada en formatos apropiados para consumir en multiplataforma (Internet, Redes Sociales, etc.) 2) la máxima calidad y rigurosidad científica y docente, incluyendo la teoría y los desarrollos matemáticos necesarios para entender lo mostrado y llegar a las conclusiones generales acerca de los estados estacionarios. Con el fin de que hubiera un buen equilibrio entre esos dos aspectos, se desarrolló el guion entre los profesores de la Fac. CC de la Información y de la Fac. CC. Físicas. Antes de crearlo se decidió desarrollar un vídeo donde se mostraran todos los experimentos y otros vídeos más cortos en los que se trataran por separado los desarrollos matemáticos más extensamente. Además, se decidió escribirlo tanto en español como en inglés, dado que la creación del vídeo en ambas lenguas puede redundar en que el público beneficiado por el material sea más amplio.

Tras la creación del guion, comenzó la fase de creación en paralelo del material de vídeo, (1) grabando los experimentos y (2) creando las animaciones 3D. Para el primero de estos dos objetivos se ha contado con los medios, conocimientos y profesionalidad de los miembros de La Videofactoría de la Fac. CC. de la Información que han estado involucrados en este proyecto. Los medios incluyeron iluminación, sonido y medios de grabación. Además, también se ha contado con medios disponibles en la Fac. CC. Físicas, así como con el Técnico del Laboratorio de Medios Audiovisuales de la Facultad, Luis Miguel Serrano, responsable de este material y el técnico de laboratorio del Dpto. Física de Materiales, Carlos Romero, quien tiene muy amplia experiencia en montaje de experimentos con fines docentes. En particular, el lugar escogido por sus características idóneas para realizar las grabaciones de los experimentos ha sido finalmente el Laboratorio de Mecánica Enrique Maciá. Todo ello ha permitido conseguir material audiovisual de calidad.

En paralelo, se han creado animaciones 3D que recrean detalles de los sistemas físicos analizados en los experimentos y han permitido desarrollar las explicaciones de forma más eficaz y con mayor valor visual. Gracias al uso del programa gratuito Blender, que permite llegar a calidad profesional gracias a su enorme versatilidad, el equipo del proyecto ha podido conseguir una excelente factura técnica. Los doctorandos y los docentes del equipo de trabajo que pertenecen a la Fac. CC. Físicas poseían ya

experiencia con este programa de animación, tras organizar y/o asistir a los dos cursos de Visualización científica con Blender impartidos en dicha facultad.

Con el objetivo de que el resultado del proyecto sea atractivo y tenga calidad en todas sus facetas, vimos necesario incluir música original y que estuviese adaptada, integrada en los vídeos para acompañar las explicaciones y las visualizaciones en 3D. Para ello, planteamos crear una banda sonora musical/ambiental original que esté a la altura de la calidad del proyecto, incluyendo en el equipo a un músico, intérprete, compositor y docente de sobrada experiencia y demostrada calidad en proyectos similares, que no forma parte de la UCM: Pablo Gutiérrez Calvo. A partir del material de vídeo obtenido en un primer montaje, con las escenas ya con duración inalterada prácticamente, creó música adaptada al comienzo y final del vídeo principal que le da un valor añadido. Por otra parte, se han utilizado también otras músicas de uso libre, indicando explícitamente sus créditos, para las escenas que aparecen en la zona intermedia del vídeo principal y en los secundarios.

Con todo este material descrito en los párrafos previos los miembros del equipo pertenecientes a la Facultad de Ciencias de la Información han llevado a cabo el montaje durante los últimos meses del proyecto. Para ello se ha utilizado software profesional, habitual en la producción de vídeo, como AVID, Canva y Audacity. Para la edición el equipo de la Facultad de Ciencias Físicas también ha asistido en ciertos momentos con el fin de ayudar a que los contenidos, ensamblaje de audios en OFF y vídeo, etc. mantengan la coherencia necesaria.

Por último, una vez creados los cuatro vídeos en español se ha creado un canal de Youtube que incluye una lista de reproducción que los incluye. Se ha intentado crear con esmero el entorno de dicho canal para hacerlo atractivo, incluyendo la imagen del canal, el banner, y las miniaturas de los vídeos, todos ellos obtenidos a partir de imágenes originales creadas por este equipo para los vídeos. En los Anexos, al final de este documento, se muestran las miniaturas creadas para los cuatro vídeos.

También se han cuidado las descripciones de cada uno de los vídeos intentando que aparezcan las palabras clave adecuadas para que sea sugerido por la plataforma a quien busque vídeos relacionados con los temas aquí desarrollados.

Por ejemplo, para el vídeo principal hemos indicado lo siguiente:

Ondas estacionarias. Estados estacionarios. Armónicos en cuerdas. Modos normales. Análisis de Fourier. Placa de Chladni. Tubo de Kundt. Orbitales atómicos. Espectros luz atómicos. Física. Bachillerato. Universidad

Un recorrido por diversos fenómenos que ilustran la enorme relevancia que tiene el concepto de onda estacionaria en Física. Se muestran y explican varios experimentos, acompañados por animaciones creadas con Blender, en los que se pueden observar ondas estacionarias de diferente naturaleza en 1D, 2D y 3D.

Para más detalles técnicos sobre tres de los experimentos, recomendamos visitar los tres vídeos secundarios:

Vídeo secundario 1: Ondas estacionarias 1D: Armónicos en cuerdas
<https://www.youtube.com/watch?v=bX-dt8Sy5m8>

Vídeo secundario 2: Ondas estacionarias 2D: Placa de Chladni
<https://www.youtube.com/watch?v=mjNWNdyFxyk>

Vídeo secundario 3: Ondas estacionarias 3D: Tubo de Kundt
<https://www.youtube.com/watch?v=91vNdaG-aT0>

Por último, nos hemos planteado diferentes maneras para divulgar los contenidos, de forma que sea aprovechado por la mayor cantidad posible de estudiantes, profesorado y público en general. Entre las alternativas que barajamos están la de anunciarlo en la web de la Facultad de Ciencias Físicas de la UCM, el envío a los profesores de los institutos de enseñanza media que dependen de la UCM a través del coordinador de selectividad del área de Física, anunciarlo en el boletín de la Real Sociedad Española de Física y enviar un artículo acerca de esta experiencia a la Revista Española de Física, ya que ésta es leída por profesorado de institutos y universidades, además de investigadores.

6. Anexos

ANEXO I. Miniatura para el vídeo principal



ANEXO II. Miniatura para el 1^{er} vídeo secundario



ANEXO III. Miniatura para el 2º vídeo secundario



ANEXO IV. Miniatura para el 3º vídeo secundario

