



UNIVERSIDAD  
**COMPLUTENSE**  
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2023/2024

Nº de proyecto: 77

Título del proyecto: Aprendizaje por proyectos en Mecánica Clásica  
en el grado en Física.

Nombre del responsable del proyecto:  
Luis Manuel González Romero

Centro: Facultad de Ciencias Físicas

Departamento: Física Teórica

## **1. Objetivos del proyecto**

El objetivo principal del proyecto es el desarrollo de los materiales adecuados para la implementación de un aprendizaje parcial mediante proyectos en la asignatura de Mecánica Clásica del grado en Física/ doble grado en Física y Matemáticas, utilizando proyectos de simulación de problemas mecánicos mediante el lenguaje Python (Jupyter-notebook). El proyecto intenta así paliar la falta de motivación en el proceso de aprendizaje de las asignaturas que venimos detectando entre algunos estudiantes. Lo que pretende el proyecto es fomentar que los estudiantes se involucren de manera más activa en el proceso de aprendizaje, para conseguir los objetivos que detallamos a continuación.

### **Objetivos**

- Mayor motivación de los alumnos.
- Fomentar el aprendizaje independiente.
- Fomentar el trabajo en grupo.
- Fomentar las habilidades de comunicación de los estudiantes.
- Introducir a los estudiantes a la simulación numérica en física y a los lenguajes de programación (Python). Aumentar la empleabilidad de los alumnos.
- Adquirir una comprensión más profunda de los conceptos de la asignatura de Mecánica Clásica.
- Aumentar la coordinación entre los distintos grupos de la asignatura y con el resto de asignaturas.

### **Problemas que resuelve**

- Falta de motivación de los alumnos.
- Falta de iniciativa para el aprendizaje independiente.
- Falta de experiencias de simulación numérica en problemas realistas en física (más concretamente, en mecánica).

En concreto, se proponían los siguientes objetivos:

- 1- Desarrollar una breve introducción a la programación en Python para la física.
- 2- Elaborar las guías de varios proyectos de diferentes temas de Mecánica Clásica.
- 3- Llevar a cabo una experiencia piloto con los estudiantes que participan en el proyecto.

## 2. Objetivos alcanzados.

Se han alcanzado los siguientes objetivos inicialmente propuestos:

1. **Desarrollar una breve introducción a la Programación en Python para la física**
  - **Resultado:** se creó un fichero Jupyter notebook (intro.ipynb) que incluye:
    - Programación básica.
    - Control de flujo de programas.
    - Listas y arrays.
    - Definición de funciones.
    - Visualización y gráficos.
  - Todos los estudiantes completaron exitosamente esta introducción, mostrando una buena comprensión de los conceptos básicos de Python aplicados a la física.
2. **Elaborar las guías de varios proyectos de diferentes temas de Mecánica Clásica**
  - **Resultado:** se elaboraron guías para proyectos en diversos temas, incluyendo:
    - Caos clásico.
    - Movimiento en sistemas no inerciales.
  - Estas guías proporcionaron una estructura clara y los recursos necesarios para que los estudiantes pudieran desarrollar los proyectos de manera autónoma y en equipo.
3. **Llevar a cabo una experiencia piloto con los estudiantes que participan en el proyecto**
  - **Resultado:** se llevó a cabo una experiencia piloto en la que los estudiantes desarrollaron proyectos sobre caos clásico y sistemas no inerciales. Bajo la supervisión de los profesores que participaron en el proyecto, los estudiantes lograron:
    - Elaborar proyectos completos que sirven como ejemplo para futuros cursos.
    - Mejorar significativamente su motivación y capacidad para trabajar de manera independiente y en grupo.

## Evaluación de los Estudiantes Participantes

Los estudiantes que participaron en la experiencia piloto manifestaron que esta experiencia ha fomentado en ellos:

- **Mayor motivación**
  - La metodología del aprendizaje basado en proyectos aumentó su interés y compromiso con la asignatura.
- **Aprendizaje más independiente**
  - Las guías y recursos les permitieron explorar y aprender de manera más autónoma.
- **Mejora de las capacidades de simulación numérica en física y aprendizaje de lenguajes de programación modernos (Python)**
  - Los estudiantes adquirieron habilidades prácticas en programación y simulación aplicadas a problemas realistas de mecánica clásica.
- **Comprensión más profunda de los conceptos de la asignatura de Mecánica Clásica**

- La aplicación práctica de los conceptos teóricos en el desarrollo de los distintos proyectos mejoró notablemente su comprensión de la asignatura y les ayudó a asimilar las ideas fundamentales de la misma.

### **3. Metodología empleada en el proyecto.**

La metodología utilizada en este proyecto es el "aprendizaje basado en proyectos" (PBL, por sus siglas en inglés). El aprendizaje basado en proyectos es un método que utiliza problemas como punto de partida para la adquisición e integración de nuevos conocimientos. Es una estrategia educativa en la cual los estudiantes se enfrentan a problemas realistas y buscan soluciones viables. Las características fundamentales del PBL son las siguientes:

- Los estudiantes deben enfrentarse a un problema planteado dentro de un marco realista, que resulte retador y atractivo para ellos. Este problema debe ser lo suficientemente complejo como para requerir trabajo en grupo para su resolución. Además, debe ser lo suficientemente abierto para que los alumnos necesiten fijar y definir los objetivos del mismo. Parte de los conocimientos necesarios para resolver el problema deben obtenerse durante el proceso de su resolución.
- Los alumnos trabajan en pequeños grupos. La complejidad del problema debe ser tal que obligue a los miembros del grupo a repartir las diferentes tareas para progresar en su resolución y asegurar que el trabajo sea eficiente.

### **4. Recursos humanos.**

Este proyecto ha contado con la colaboración activa de un grupo de profesores y de estudiantes.

Los profesores que han participado cuenta con una amplia experiencia en la asignatura de Mecánica Clásica, que están impartiendo actualmente o han impartido durante muchos años.

#### **Profesores:**

- Luis Manuel González Romero (responsable del proyecto, Profesor del Departamento de Física Teórica).
- Artemio González López. (Catedrático del Departamento de Física Teórica)
- Enrique Alfonso Macia Barber (Catedrático del Departamento de Materiales)
- (Falleció durante este curso).
- Diego Rubiera García. (Profesor Ayudante Doctor del Departamento de Física Teórica)

#### **Estudiantes:**

- Santiago Herráez Centellas (estudiante en la Facultad de Ciencias Físicas)
- Martín Zapata Ferguson (estudiante en la Facultad de Ciencias Físicas)

Todos ellos participaran activamente en el desarrollo de los objetivos del proyecto. Más concretamente:

- Luis Manuel González Romero y Artemio González López: desarrollo de la introducción a Python.

- Luis Manuel González Romero, Artemio González López, Enrique Alfonso Macia Barber y Diego Rubiera García: desarrollo de guías de proyectos.
- Santiago Herráez Centellas y Martín Zapata Ferguson: desarrollo de experiencia piloto y de proyectos ejemplo supervisados por los profesores del proyecto.
- Todos los profesores y alumnos miembros del proyecto participaron en los análisis de los resultados y en las reuniones de coordinación del proyecto.

Lamentablemente, durante el desarrollo del proyecto se produjo el fallecimiento de nuestro compañero y amigo Enrique Alfonso Maciá Barber.

## **5. Desarrollo de actividades.**

En una primera fase, se desarrolló una introducción a la programación en Python aplicada a la física, utilizando ejemplos de la mecánica clásica. Se elaboraron guías de proyectos sobre diversos temas de mecánica clásica, diseñadas para facilitar la comprensión de conceptos esenciales. De estas guías, seleccionamos dos proyectos para una experiencia piloto con los estudiantes, centrados en los temas que despertaron mayor interés entre ellos:

- Péndulo de Foucault y sistemas no inerciales
- Caos clásico

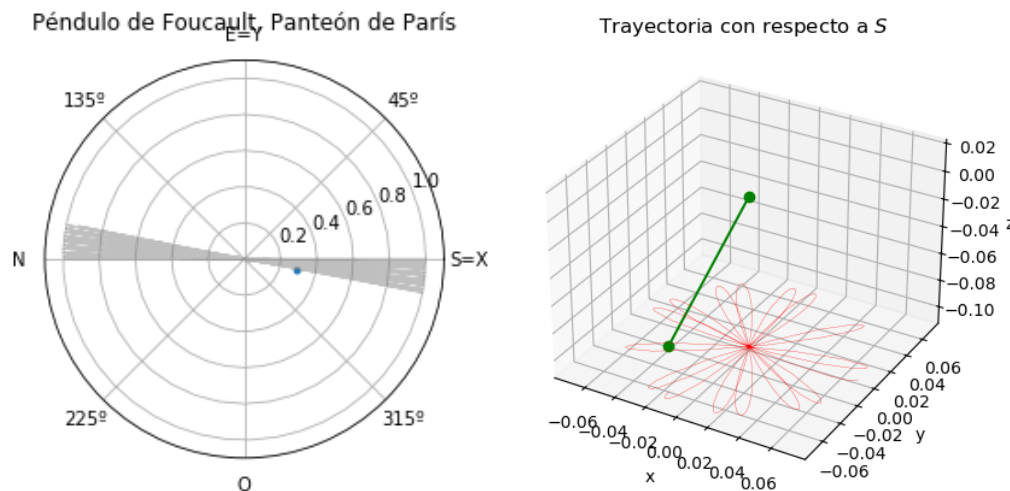
Los profesores elaboraron una guía detallada para cada proyecto. En una reunión inicial, se explicaron los problemas a abordar y se aclararon las dudas de los estudiantes. Con este material, los estudiantes comenzaron a trabajar en los proyectos. Se realizaron reuniones periódicas para supervisar el avance, resolver dudas y reorientar los proyectos si era necesario.

Como resultado, se obtuvieron proyectos ejemplo que pueden servir de referencia para futuros estudiantes. Además, se llevaron a cabo reuniones de equipo donde los estudiantes compartieron sus experiencias y discutieron los aspectos más interesantes del proyecto. También se propusieron métodos de evaluación para valorar el trabajo realizado.

Más concretamente, en el proyecto sobre el péndulo de Foucault, se desarrollaron programas y animaciones que mostraban el giro del plano de oscilación del péndulo debido al movimiento de rotación de la Tierra alrededor de su eje. Para visualizar este efecto en diferentes hemisferios, se presentaron resultados para el péndulo situado en el Panteón de París y otro en Buenos Aires.

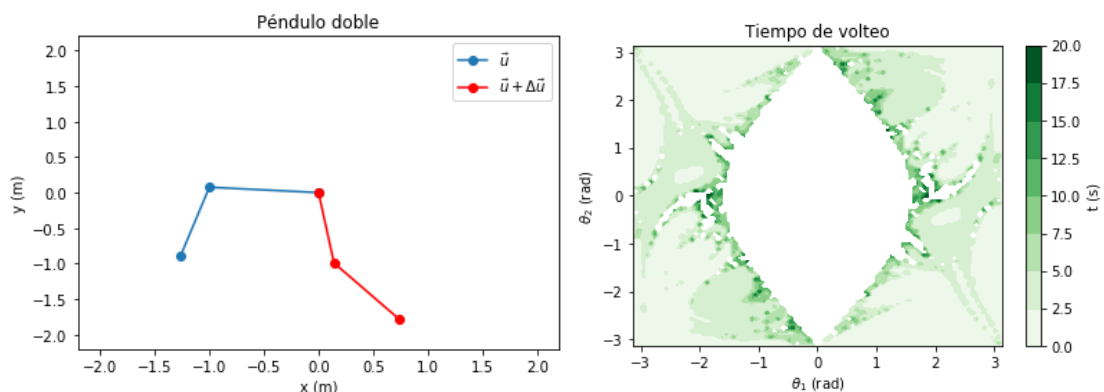
Otro proyecto destacado fue el denominado "El péndulo de Foucault al alcance de nuestras manos". Para presentar este tema, se utilizó un modelo "de juguete" que muestra características similares al original y puede por tanto ser fácilmente implementado como un experimento de cátedra. En efecto, este modelo combina un péndulo ordinario (mucho más práctico y de menor tamaño) con una plataforma rotatoria, lo que permite controlar fácilmente la frecuencia de giro del sistema no inercial. En el proyecto se propone la integración exacta de las ecuaciones del movimiento en términos de funciones elípticas de Jacobi, con el fin de realizar una animación tridimensional del movimiento del péndulo. También se explica cómo integrar numéricamente las ecuaciones del movimiento en su versión hamiltoniana, y se propone

comparar la solución numérica con la exacta obtenida a partir de la formulación lagrangiana.



Izquierda: fotograma de la animación del péndulo de Foucault situado en el panteón de París. Derecha: último fotograma de la animación del movimiento de un péndulo ordinario visto por un observador situado en una plataforma que gira con velocidad angular constante alrededor de la vertical.

En el proyecto sobre caos clásico se estudió el movimiento de un péndulo doble, compuesto por dos péndulos simples enlazados, como una introducción sencilla al análisis del caos en sistemas dinámicos. Se desarrollaron tanto la formulación lagrangiana como la hamiltoniana y se creó un programa para integrar las ecuaciones del movimiento. Además, se realizó una representación gráfica de dicha solución que permitía observar la dependencia del movimiento respecto de las condiciones iniciales, una de las características principales de los fenómenos caóticos en la mecánica clásica. Se calcularon además los exponentes de Lyapunov del sistema para diferentes condiciones iniciales, obteniéndose así la característica imagen fractal que se muestra en la figura a pie de página (derecha).



Izquierda: último fotograma de la animación en que se comparan dos soluciones de las ecuaciones del movimiento de un péndulo doble cuyas condiciones iniciales difieren ligeramente. Derecha: imagen fractal obtenida representando el tiempo de volteo en función de las dos amplitudes de oscilación de un péndulo doble

## 6. Anexos

El material generado en el desarrollo del proyecto (introducción a Python, guías de los proyectos y ejemplos de su ejecución) se ha depositado en el repositorio Docta Complutense.