



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Arquitectura de Computadores y Automática
<b>Título:</b>	Implementación de Problemas NP en computadores cuánticos basados en átomos neutros
<b>Title:</b>	Implementation of NP problems in quantum computers based on neutral atoms
<b>Tutor/es:</b>	Alberto A. del Barrio y Guillermo Botella
<b>E-mail tutor/es:</b>	abarriog@ucm.es, gbotella@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	3
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

El objetivo de este TFG es la implementación de problemas NP que puedan modelarse mediante Hamiltonianos de Ising [1], usando para ello computadores cuánticos basados en átomos neutros. Dichos modelos han aumentado su repercusión en los últimos años gracias al gran desarrollo de los computadores cuánticos. Por medio de este tipo de computación, es posible resolver problemas de optimización basados en Hamiltonianos de Ising de forma eficiente. Por ejemplo, problemas de particionado de grafos, el problema de las N-reinas o problemas cuya formulación se basa en ILP (Integer Linear Programming), pueden modelarse como Hamiltonianos de Ising. En el presente proyecto se implementarían algunos de estos problemas en computadores cuánticos basados en átomos neutros y se probarían al menos en simulación local y/o en la nube.

## **Metodología:**

1. Estudio de problemas NP que se modelan con Hamiltonianos de Ising.
2. Estudio de entornos de programación de computadores cuánticos basados en átomos neutros.
3. Programación de algoritmos y simulación local con pocos qubits.
4. Simulación en la nube con mayor número de qubits.

## **Bibliografía:**

- [1] Lucas A (2014) Ising formulations of many NP problems. Front. Physics 2:5. doi: 10.3389/fphy.2014.00005
- [2] <https://github.com/pasqal-io>
- [3] <https://github.com/QuEraComputing/>



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Arquitectura de Computadores y Automática
<b>Título:</b>	Navegación coordinada en sistemas multiagente
<b>Title:</b>	Coordinated navigation in multiagent systems
<b>Tutor/es:</b>	Lía García Pérez, Juan Jiménez
<b>E-mail tutor/es:</b>	liagar05@ucm.es, juan.jimenez@fis.ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	4
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es introducirse al estudio de los sistemas dinámicos multiagente y su aplicación en el control distribuido de enjambres. Entre otras muchas aplicaciones, estos sistemas se pueden emplear para coordinar robots en tareas como la vigilancia, el patrullaje cooperativo o la exploración de entornos complejos.

La propuesta se centra en confeccionar e implementar algoritmos fundamentales (ver bibliografía) de coordinación multiagente para este tipo de tareas, con énfasis en la navegación segura. En concreto, se desarrollarán estrategias que garanticen el evitado de obstáculos, tanto fijos como móviles, así como la prevención de colisiones entre los propios agentes. Este componente es esencial en escenarios donde múltiples robots interactúan en entornos compartidos, posiblemente dinámicos o parcialmente conocidos.

Se hará especial hincapié en el análisis de las propiedades matemáticas que respaldan los algoritmos: estabilidad, convergencia, y robustez frente a perturbaciones. Las decisiones de diseño incluirán la elección de la topología del grafo de interacción del enjambre, la naturaleza de la información local que deben compartir los agentes, la dinámica del sistema, y la forma de incorporar mecanismos de repulsión o evitado a nivel de interacción.

En cuanto al enfoque técnico, el TFG se apoya en dos pilares:

- Teoría de grafos (basada principalmente en álgebra lineal), que describe las interacciones locales entre los agentes.
- Ecuaciones diferenciales, dado que los agentes presentan dinámica continua y evolucionan en el tiempo a partir de decisiones locales basadas en los estados relativos de sus vecinos en el grafo.

La navegación segura se modelará mediante la incorporación de campos de potenciales, barreras dinámicas, o técnicas de control distribuido inspiradas en control predictivo y métodos de Lyapunov.

Este trabajo combina conceptos abordados en la asignatura Sistemas dinámicos y realimentación de cuarto curso del Grado en Física o el doble Grado en Física y Matemáticas, aunque no es requisito haberla cursado para optar al TFG.

Se empleará Python y/o MATLAB para el desarrollo de simulaciones y validaciones numéricas.

## Metodología:

1. Estudio, guiado por los supervisores, de la bibliografía en algoritmos para el control distribuido de enjambres.
2. Modelado matemático de la aplicación/problema, y selección de un algoritmo para su adaptación a medida conforme a la aplicación seleccionada.
3. Análisis de resultados y validación de garantías matemáticas en la solución proporcionada por el algoritmo.

## Bibliografía:

- [1] W Yao, HG de Marina, Z Sun, M Cao. Distributed coordinated path following using guiding vector fields . Proceedings IEEE International conference on Robotics and Automation (ICRA) 2021. <https://arxiv.org/abs/2103.12372>
- [2] W. Yao, B. Lin, and M. Cao, Integrated path following and collision avoidance using a composite vector field, in 2019 IEEE 58th Conference on Decision and Control (CDC), IEEE, 2019, pp. 250–255.
- [3] W. Yao, B. Lin, B. D. O. Anderson, and M. Cao, Guiding vector fields for following occluded paths, IEEE Transactions on Automatic Control (TAC), vol. 67, no. 8, 2022.
- [4] HG de Marina. Maneuvering and robustness issues in undirected displacement-consensus-based formation control. IEEE Transactions on Automatic Control, 2021. <https://arxiv.org/abs/2008.03544>
- [5] HG de Marina, J Jiménez, W Yao. Leaderless collective motions in affine formation control. Conference on Decision and Control (CDC) 2021. <https://arxiv.org/abs/2104.03412>
- [6] Nagahara, M., Azuma, S. I., & Ahn, H. S. (2024). Control of Multi-agent Systems.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Arquitectura de Computadores y Automática
<b>Título:</b>	Análisis y simulación de técnicas de mitigación de la basura espacial
<b>Title:</b>	Analysis and Simulation of Space Debris Mitigation Techniques
<b>Tutor/es:</b>	Segundo Esteban San Román
<b>E-mail tutor/es:</b>	sesteban@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	2
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

La basura espacial —satélites inactivos, etapas de cohetes, fragmentos de misiones y otros restos generados por actividades humanas en el espacio— representa un desafío crítico para la sostenibilidad de las operaciones en órbitas terrestres. Este Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo principal analizar, desde una perspectiva física, las estrategias más relevantes para mitigar esta amenaza, incorporando un estudio del estado del arte, fundamentos dinámicos y simulaciones computacionales.

Se debe analizar el estado del arte sobre la gestión de la basura espacial, abarcando las principales investigaciones, tecnologías, y misiones de demostración llevadas a cabo por agencias espaciales como la NASA, la ESA y JAXA. Se revisarán iniciativas como RemoveDEBRIS, ClearSpace-1 o el uso experimental de láseres terrestres para desorbitar objetos. Este apartado permitirá identificar las líneas actuales de desarrollo, sus limitaciones y el grado de madurez tecnológica alcanzado por las diferentes soluciones propuestas.

Se abordará una caracterización física de los residuos orbitales, analizando su distribución, comportamiento dinámico y riesgos de colisión. Se incluirá una revisión de la mecánica orbital relevante (leyes de Newton, elementos orbitales, efecto Kessler, etc.) y se clasificarán las técnicas de mitigación en dos grupos: estrategias pasivas (órbitas cementerio, mecanismos de autodesorbitado, diseño sostenible de satélites) y activas (captura con redes, arpones, brazos robóticos, láseres, remolcadores orbitales).

La parte práctica del proyecto consistirá en la simulación computacional de maniobras de mitigación orbital en Matlab o Python. Se modelarán escenarios realistas de desorbitado o interceptación de basura espacial. Se analizarán parámetros como consumo de energía, delta-v requerido, tiempos de operación y eficiencia según el tipo de residuo y su órbita.

El trabajo pretende ofrecer una visión integradora entre la teoría física, la tecnología espacial y la simulación numérica, con el fin de que el alumno contribuya de forma cuantitativa y crítica, preparándolo para trabajar en empresas del sector espacial.

## **Metodología:**

Primero, se realizará una revisión bibliográfica exhaustiva para analizar el estado actual del problema de la basura espacial y las tecnologías disponibles para su mitigación.

Luego, se abordarán los fundamentos físicos y la dinámica orbital que describen el comportamiento de los residuos en distintas regiones orbitales.

A continuación, se modelarán diversas técnicas activas de mitigación mediante formulaciones físicas simplificadas. Se implementarán simulaciones computacionales, para evaluar maniobras de desorbitado o captura.

Finalmente, se realizará un análisis comparativo de los resultados obtenidos, extrayendo conclusiones sobre la eficacia y viabilidad de las soluciones estudiadas.

El tutor dirigirá a los alumnos hacia el análisis y simulación de diferentes técnicas, en función de su formación (p.e: si es un alumno de doble grado se puede orientar hacia la optimización y si es un alumno de físicas se puede orientar hacia el control por realimentación).

## **Bibliografía:**

Baiocchi, Dave, William Welser, Rand Corporation, and National Defense Research Institute (U.S.). *Confronting Space Debris : Strategies and Warnings from Comparable Examples Including Deepwater Horizon*. Santa Monica, CA: RAND, 2010. <http://bibpurl.oclc.org/web/82941>.

Revista Online "Space Debris," 2000, Dordrecht: Springer Nature B.V.  
<https://link.springer.com/journal/11193/volumes-and-issues> (Con acceso UCM).

W. J. Larson and J. R. Wertz, "Orbit Maneuvering", in *Space Mission Analysis and Design*, 3rd ed, Space Technology Library, Microcosm Press, 1998, pp. 146-153.

Book series: Space Technology Library, ISSN:2542-8896, James R. Wertz,  
<https://www.springer.com/series/6575>

Documentación de Librerías de Matlab: Space systems.

Documentación de Librerías de Python: Poliastro, Astropy.



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Arquitectura de Computadores y Automática
<b>Título:</b>	Diseño y simulación de circuitos neuromórficos para IA con memristores
<b>Title:</b>	Design and simulation of neuromorphic circuits for AI with memristors
<b>Tutor/es:</b>	Guillermo Botella Juan
<b>E-mail tutor/es:</b>	gbotella@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	2
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

El memristor es un dispositivo no lineal cuya resistencia actual depende de la cantidad de carga eléctrica que ha fluido en el pasado, y en qué dirección. El dispositivo recuerda su historia, la llamada propiedad de no-volatilidad. Dentro del ámbito de la IA, el uso de redes neuronales convolucionales (CNNs) con memristores en lugar de la computación digital ofrece ventajas significativas en términos de eficiencia energética, densidad de almacenamiento, velocidad de procesamiento, aprendizaje en línea, similitud con sinapsis biológicas y escalabilidad. En este TFG vamos a aprovechar las propiedades descritas anteriormente para realizar pruebas de conceptos sencillas, pero novedosas que aproveche la computación analógica en el ámbito de la IA, específicamente las CNNs. Se podrá trabajar bien con placas experimentales, con simuladores analógicos o con lenguajes (Python o similar).

### Metodología:

- 1- Se realizará una revisión bibliográfica de modelos de memristores y de redes neuronales.
- 2- Se caracterizarán memristores reales comerciales.
- 3- Diseño y simulación de una red neuronal basada en memristores y de la circuitería auxiliar.
- 4- Estudio de la influencia de la variabilidad de los dispositivos sobre las prestaciones finales del circuito.
- 5- Prueba de conceptos de la implementación de varias CNNs con estímulos y datasets validados por la comunidad científica.

Nota: dependiendo del interés del alumno/a se podrá estudiar también memristores cuánticos para IA.

### Bibliografía:

- H. Jin *et al.*, "ReHy: A ReRAM-Based Digital/Analog Hybrid PIM Architecture for Accelerating CNN Training," in *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 33, no. 11, pp. 2872-2884, 1 Nov. 2022, doi: 10.1109/TPDS.2021.3138087.
- Anteneh Gebregiorgis *et al.* 2022. A Survey on Memory-centric Computer Architectures. *J. Emerg. Technol. Comput. Syst.* 18, 4, Article 79 (October 2022), 50 pages. <https://doi.org/10.1145/3544974>
- Hu, X. *et al.* (2022). Quantized and adaptive memristor based CNN (QA-mCNN) for image processing. *Science China Information Sciences*, 65(1), 119104.
- <https://knowm.org/memristors/> .
- arXiv:2306.11678 "Design and simulation of memristor based Neural Networks" UCM-UGR 2023



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS



GRADO EN FÍSICA curso 2025-26

## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Arquitectura de Computadores y Automática
<b>Título:</b>	Desarrollo de proyectos de IoT que implementen ML/IA en sistemas empotrados
<b>Title:</b>	Development of IoT Projects Implementing ML/AI in Embedded Systems
<b>Tutor/es:</b>	Guillermo Botella Juan
<b>E-mail tutor/es:</b>	gbotella@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	2
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

Desarrollar dispositivos IoT que integren capacidades de Machine LML/AI mediante placas empotradas como ESP32. La integración de ML/AI en dispositivos IoT, se presta a rango muy amplio de aplicaciones, desde automatización del hogar y asistencia sanitaria personalizada hasta optimización de procesos industriales y gestión de recursos en ciudades inteligentes. Se propone un proyecto que use placas como el ESP32, y se buscará una implementación eficiente que tenga un equilibrio eficiente entre costo, consumo energético y capacidad de procesamiento, esencial para la implementación a gran escala de soluciones IoT inteligentes. Se enfocará el proyecto dependiendo del perfil de origen de el/los estudiante(s).

### Metodología:

- 1- Se realizará una revisión bibliográfica de placas para IoT haciendo especial uso en la familia ESP32. También realizarán una revisión de entornos de programación y sensores.
- 2- Se estudiará la comunicación de sensores, la integración de bibliotecas como LittleFS, LVGL. Medidas de seguridad, integración, etc...
- 3- Se estudiará también técnicas de ML/AI para sistemas empotrados, y se construirán casos de usos sencillos como ejemplos.
- 4- Se desarrollará el proyecto final de acuerdo a los puntos anteriores y el caso de uso elegido. Se caracterizará el desarrollo realizado de acuerdo a varias métricas de calidad.
- 5- Se harán pruebas de conceptos en escenarios reales.

### Bibliografía:

Developing IoT Projects with ESP32: Automate your home or business with inexpensive Wi-Fi devices. 2024. Vedat Ozan. PACKT  
<https://circuitdigest.com/esp32-projects>  
<https://www.tensorflow.org/lite/microcontrollers?hl=es-419>



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Arquitectura de Computadores y Automática
<b>Título:</b>	Diseño de un Controlador Predictivo para Sistemas de Óptica Adaptativa
<b>Title:</b>	Design of a Predictive Controller for Adaptive Optics Systems
<b>Tutor/es:</b>	María Tomás Rodríguez
<b>E-mail tutor/es:</b>	mtomas05@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación directa

### Objetivos:

El objetivo general de este proyecto es diseñar un controlador predictivo que mejore el rendimiento de un sistema de óptica adaptativa (AO), frecuentemente utilizado en telescopios. Se busca compensar las aberraciones ópticas provocadas por la atmósfera o vibraciones mecánicas mediante técnicas avanzadas de control.

Como objetivos más concretos:

- El/la estudiante desarrollará un sistema simplificado de óptica adaptativa en espacio de estados y evaluará diferentes estrategias de control predictivo.
- Estimar y caracterizar el ruido de medición a partir de datos simulados o reales
- Comparar el rendimiento del controlador predictivo con un controlador clásico
- Analizar el efecto de vibraciones mecánicas o turbulencia atmosférica en la calidad de imagen (Strehl ratio).

El proyecto incluye simulaciones en MATLAB para validar el comportamiento, estabilidad y robustez del sistema.

## **Metodología:**

- Revisión bibliográfica sobre sistemas de control aplicados a telescopios.
- Modelado dinámico de un sistema simplificado de seguimiento o estabilización.
- Implementación en MATLAB / Simulink de controladores básicos.
- Desarrollo de técnicas avanzadas de control
- Simulación de distintos escenarios con perturbaciones.
- Análisis del rendimiento: estabilidad, respuesta temporal, sensibilidad al ruido.
- Elaboración de conclusiones

## **Bibliografía:**

1. Marquis, L. et al. First on-sky tests of LQG control for a 10m-class telescope: prelude on the Gran Telescopio Canarias adaptive optics system, Proc. SPIE 13097, Adaptive Optics Systems IX, 130977Y (27 August 2024); <https://doi.org/10.1117/12.3020099>
2. Anderson, B. & Moore, J. (1990). Optimal Filtering. Prentice-Hall.
3. Simon, D. (2006). Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches. Wiley.
4. Basden, A. et al. (2010). Durham adaptive optics real-time controller, Applied Optics, 49(32), 6354 -6363.
5. Conan, R. and Correia, C., Object-oriented Matlab adaptive optics toolbox, in Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 9148, 91486C (2014).
6. Galland, N. et al. Auto-tuned AO control for all: design and simulation of an unsupervised LQG regulator in ORP project, in COAT2023 (Mar. 2023).



# FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2025-26



## Ficha de Trabajo de Fin de Grado

<b>Departamento:</b>	Arquitectura de Computadores y Automática
<b>Título:</b>	Linealización de Plataformas Semisumergibles de Aerogeneradores Flotantes
<b>Title:</b>	Linearization of Semisubmersible Floating Wind Turbine Platforms
<b>Tutor/es:</b>	Matilde Santos, Payam Aboutalebi
<b>E-mail tutor/es:</b>	msantos@ucm.es, payamabo@ucm.es
<b>Número de plazas:</b>	1
<b>Asignación de TFG:</b>	Asignación por expediente

### Objetivos:

El objetivo principal de este proyecto es analizar, simplificar y modelar el comportamiento dinámico de turbinas eólicas marinas flotantes semisumergibles (FOWT) utilizando el marco de simulación OpenFAST.

OpenFAST es una herramienta multifísica de vanguardia desarrollada por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL) que permite la simulación en el dominio temporal de sistemas eólicos marinos. Sin embargo, su naturaleza completamente no lineal puede dar lugar a altos costos computacionales, especialmente en estudios orientados al control.

Para abordar este problema, el proyecto se centrará en generar una versión linealizada del sistema no lineal completo mediante técnicas de linealización integradas en OpenFAST. Este proceso implica la identificación de los puntos de operación en estado estacionario adecuados, la linealización de los módulos individuales y sus acoplamientos de entrada-salida, y la construcción de una representación completa en el espacio de estados del sistema eólico flotante. Se hará especial hincapié en la captura de las fuerzas hidrodinámicas representadas por el módulo HydroDyn, garantizando que la dinámica marina queda representada en el modelo lineal.

La precisión y la eficiencia del sistema linealizado se evaluarán con respecto al modelo no lineal completo mediante comparaciones cuantitativas. En última instancia, este proyecto tiene como objetivo establecer un enfoque de modelado orientado al control, computacionalmente eficiente, que contribuya al diseño de control en tiempo real y respalde el desarrollo de soluciones confiables y escalables para las tecnologías eólicas marinas de próxima generación.

## **Metodología:**

El proyecto comenzará con una revisión exhaustiva del marco de modelado de OpenFAST, con especial atención a los módulos relacionados con la dinámica marina.

Se configurará y validará un modelo no lineal inicial de una turbina eólica marina flotante semisumergible (p. ej., basada en la turbina de referencia NREL de 5 MW). Posteriormente, se identificarán los puntos de operación en estado estacionario que servirán de base para la linealización. La capacidad de linealización de todo el sistema de OpenFAST se utilizará para generar modelos de espacio de estados que capturen la dinámica aero-hidro-servoelástica acoplada de la plataforma. Estos modelos linealizados se analizarán y validarán con respecto al sistema no lineal original mediante técnicas de comparación en el dominio del tiempo.

El proyecto también explorará la dimensionalidad del modelo lineal y propondrá posibles enfoques de reducción del modelo, si es necesario.

Se pueden utilizar herramientas como MATLAB o Python para procesar las matrices de espacio de estados lineales y los estudios de respuesta del sistema. Para ayudar a los estudiantes, se prevén las siguientes acciones:

El estudiante comenzará con una revisión bibliográfica sobre la linealización de sistemas, las funcionalidades de OpenFAST y la dinámica de aerogeneradores marinos flotantes. Se facilitará documentación sobre estos temas.

Se recomendarán cursos en línea y/o videotutoriales sobre dinámica de aerogeneradores marinos.

Las reuniones periódicas y la orientación técnica de los tutores respaldarán el desarrollo del proyecto, que concluirá con un informe final y una defensa oral.

## **Bibliografía:**

1. Jonkman, J.M., Wright, A.D., Hayman, G.J. and Robertson, A.N., 2018, November. Full-system linearization for floating offshore wind turbines in OpenFAST. In International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (Vol. 51975, p. V001T01A028). American Society of Mechanical Engineers.
2. Jonkman, J.M., 2007. Dynamics modeling and loads analysis of an offshore floating wind turbine [Ph. D. thesis]. University of Colorado, Boulder, p.237.
3. Bianchi, F.D., De Battista, H. and Mantz, R.J., 2006. Wind turbine control systems: principles, modelling and gain scheduling design. Springer Science & Business Media.
4. Aboutaleb, P., M'zoughi, F., Garrido, I. and Garrido, A.J., 2021. Performance analysis on the use of oscillating water column in barge-based floating offshore wind turbines. Mathematics, 9(5), p.475.
5. Aboutaleb, P., M'zoughi, F., Martija, I., Garrido, I. and Garrido, A.J., 2021. Switching control strategy for oscillating water columns based on response amplitude operators for floating offshore wind turbines stabilization. Applied Sciences, 11(11), p.5249.
6. Tomás-Rodríguez, M., & Santos, M. (2019). Modelado y control de turbinas eólicas marinas flotantes. Revista iberoamericana de automática e informática industrial, 16(4), 381-390.