



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Diseño e implementación de un sistema de localización robusto para robots móviles
Title:	Design and implementation of a robust localization system for mobile robots
Tutor/es:	Jesús Chacón Sombría
E-mail tutor/es:	jeschaco@ucm.es
Número de plazas	1
Tipo de TFG	Experimental <input checked="" type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

La navegación autónoma de robots móviles depende críticamente de una estimación precisa de la posición y orientación (pose). El objetivo general de este trabajo es el desarrollo y validación experimental de un sistema de localización que combina tres fuentes de datos complementarias para mitigar los errores individuales de cada sensor.

Se utilizará la odometría de los encoders y una unidad de medida inercial (IMU), que proporcionan medidas rápidas pero sujetas a deriva en el tiempo, y un sistema de visión artificial basado en marcadores ArUco, que proporciona correcciones absolutas de posición pero con una frecuencia menor.

La implementación se realizará en la plataforma Robotarium-UCM, sobre un agente basado en Arduino para la gestión de motores y sensores de bajo nivel, opcionalmente integrado con un sistema de procesamiento (Raspberry Pi).

Los objetivos específicos del trabajo son:

- Implementar un algoritmo de fusión sensorial (EKF o similar) que integre las lecturas de los tres sistemas de medida.
- Comparar el rendimiento de la estimación con fusión de datos frente al uso de un único sensor.
- Evaluar la robustez del sistema ante diferentes perturbaciones (oclusiones visuales, deslizamientos de las ruedas, etc.).

METODOLOGÍA:

La metodología del trabajo se divide en las siguientes etapas:

1. Estudio del entorno de desarrollo y del robot móvil disponible: instalación y configuración del IDE de Arduino, Python y otras herramientas accesorias.
2. Análisis y simulación del funcionamiento del filtro de Kalman Extendido (EKF) y otros métodos de fusión sensorial.
3. Implementación en hardware (Arduino + Raspberry PI) del algoritmo elegido.
4. Validación experimental y análisis de resultados.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

- Seminario sobre estimación de pose y filtros de Kalman.
- Taller práctico sobre la plataforma Robotarium-UCM.
- Sesiones de seguimiento para revisión de resultados experimentales.

BIBLIOGRAFÍA:

Thrun, S., Burgard, W., & Fox, D. (2005). Probabilistic Robotics. MIT Press.

Garrido-Jurado, S., et al. (2014). "Automatic generation and detection of highly reliable fiducial markers under occlusion". Pattern Recognition.

Levy, R. (2016). The Extended Kalman Filter: An Interactive Tutorial for Non-Experts. en url: <https://simondlevy.github.io/ekf-tutorial/>

Moore, T., & Stouch, D. (2014). "A Generalized Extended Kalman Filter Implementation for the Robot Operating System". Intelligent Autonomous Systems.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Diseño e implementación de estrategias de control para la navegación autónoma en entornos de interior.
Title:	Design and implementation of control strategies for autonomous navigation in indoor environments.
Tutor/es:	Jesús Chacón Sombría
E-mail tutor/es:	jeschaco@ucm.es
Número de plazas	1
Tipo de TFG	Experimental <input checked="" type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

En la actualidad, la robótica de servicio ha experimentado un crecimiento exponencial, trasladando la automatización desde entornos industriales controlados hacia espacios cotidianos de interior como hogares, hospitales y oficinas. El desarrollo de robots limpiadores autónomos representa uno de los mayores hitos en esta transición; sin embargo, su eficacia depende directamente de la capacidad del sistema para navegar de forma precisa y segura. El reto principal no radica solo en el desplazamiento del robot, sino en su capacidad para operar de manera inteligente en entornos donde la presencia de mobiliario y, especialmente, de elementos dinámicos en movimiento, exige una respuesta de control en tiempo real que garantice tanto la integridad del dispositivo como la del entorno.

Para abordar esta complejidad, este trabajo propone un sistema de navegación basado en la fusión sensorial, integrando la precisión métrica de un sensor LiDAR, la capacidad de respuesta de los sensores inerciales (IMU) y la odometría proporcionada por los encoders de los motores. Mientras que el LiDAR permite la construcción de mapas y la detección de obstáculos, la combinación de encoders e IMU corrige las desviaciones acumuladas por el deslizamiento de las ruedas, asegurando una localización robusta dentro del mapa. Esta infraestructura sensorial permite implementar una estrategia de navegación dual: un planificador global que define la ruta óptima sobre un mapa conocido y un controlador local capaz de reaccionar ante obstáculos dinámicos no previstos.

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es diseñar e implementar estrategias de control que permitan a un robot móvil realizar un seguimiento de trayectorias preciso mientras ejecuta maniobras de evasión de obstáculos en tiempo

real. Dicha toma de decisiones será gestionada mediante Árboles de Comportamiento (Behavior Trees), permitiendo una orquestación modular y reactiva de las tareas de navegación. En última instancia, se busca validar un sistema autónomo eficiente, estable y capaz de adaptarse a la naturaleza cambiante de los entornos de interior modernos.

Para asegurar la fiabilidad del sistema antes de su despliegue físico, el proyecto seguirá una metodología de validación en dos fases bajo el ecosistema ROS 2. En la primera etapa, se implementarán las estrategias de control en el simulador Gazebo en un entorno seguro y controlado, minimizando riesgos de colisión mecánica. Una vez validada la lógica de control y la respuesta ante obstáculos dinámicos en simulación, se procederá a la fase de implementación en hardware real, donde se pondrá a prueba la robustez de la fusión sensorial y la capacidad de procesamiento en tiempo real del sistema sobre la plataforma física.

METODOLOGÍA:

La metodología del trabajo se divide en las siguientes etapas:

1. Estudio del entorno de desarrollo y del robot móvil disponible: instalación y configuración de ROS, entorno de simulación (Gazebo).
2. Configuración del sistema de SLAM para la construcción del mapa y localización del robot.
3. Configuración del sistema de navegación NAV2:
 - Definición del planificador global (Planner).
 - Definición del planificador local (Controller).
4. Definición de estrategias de control mediante árboles de comportamiento (Behavior Trees).
5. Validación del sistema en el entorno de simulación Gazebo.
6. Transferencia del comportamiento al robot real: validación experimental.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

- Seminario sobre fundamentos de navegación autónoma: Conceptos de cinemática de robots móviles, planificación de rutas global y local, y control de seguimiento de trayectorias.
- Seminario técnico sobre algoritmos SLAM y fusión sensorial: Estudio de técnicas de mapeado mediante LiDAR e integración de odometría y sensores inerciales (IMU).
- Seminario técnico sobre Behavior Trees y Nav2: Diseño de arquitecturas de decisión modulares para la gestión de misiones y recuperación ante obstáculos.
- Taller práctico de simulación en ROS 2 y Gazebo: Configuración de entornos virtuales, modelos URDF de robots y validación de algoritmos en simulador.
- Sesiones de tutorización y seguimiento: Evaluación de métricas de rendimiento (errores de trayectoria, tiempo de ejecución) y validación en la plataforma física real.

BIBLIOGRAFÍA:

Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., & Scaramuzza, D. (2011). Introduction to Autonomous Mobile Robots. MIT Press.

Thrun, S., Burgard, W., & Fox, D. (2005). Probabilistic Robotics. MIT Press.

Corke, P. (2017). Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB. Springer.

Colledani, M., & Ögren, P. (2018). Behavior Trees in Robotics and AI: An Introduction. CRC Press.

Iovino, M., Scukins, E., Styrud, J., Ögren, P., & Smith, C. (2022). A Survey of Behavior Trees in Robotics and AI. Robotics and Autonomous Systems.

Koenig, N., & Howard, A. (2004). Design and use paradigms for Gazebo, an open-source multi-robot simulator. IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems.

Macenski, S., Foote, T., Gerkey, B., Lalancette, L., & Woodall, W. (2022). Robot Operating System 2: Design, architecture, and uses in the wild. Science Robotics.

Open Navigation LLC. Nav2 Documentation: Behavior Tree Navigator. Recuperado de <https://navigation.ros.org/>



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Control autónomo de un robot móvil mediante aprendizaje por refuerzo profundo y técnicas de SLAM.
Title:	Autonomous Control of a Mobile Robot Using Deep Reinforcement Learning and SLAM Techniques.
Tutor/es:	Raúl Fernández Fernández y Jesús Chacón Sombría
E-mail tutor/es:	raufer06@ucm.es, jeschaco@ucm.es
Número de plazas	2
Tipo de TFG	Experimental <input checked="" type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo de este trabajo es desarrollar un sistema de control autónomo para un robot móvil basado en algoritmos de aprendizaje por refuerzo profundo, concretamente Deep Q-Network (DQN), integrando al mismo tiempo técnicas de localización y mapeo simultáneos (SLAM).

Este proyecto combina aprendizaje automático, robótica móvil y percepción del entorno para lograr que el robot:

- aprenda de forma autónoma políticas de control óptimas para alcanzar objetivos en entornos desconocidos o dinámicos.
- sea capaz de construir un mapa del entorno y localizarse en él utilizando algoritmos de SLAM.
- combine el aprendizaje por refuerzo con la percepción del entorno para tomar decisiones informadas basadas en el mapa y su posición estimada.

El proyecto tiene un enfoque claramente experimental, el sistema de control autónomo se implementará en la plataforma hardware iRobot Create 3, un robot educativo similar a los populares robots limpiadores Roomba, del mismo fabricante. Las técnicas desarrolladas se integrarán y validarán en el simulador Gazebo y mediante prueba con el hardware real, utilizando frameworks como ROS, Keras, y TensorFlow.

METODOLOGÍA:

La propuesta plantea dos líneas paralelas de estudio: uno de los trabajos se centrará en el estudio de técnicas de aprendizaje profundo para el control del robot y el otro de en la aplicación de técnicas de SLAM.

La metodología del trabajo se divide en las siguientes etapas:

(Fase previa, común)

1. Estudio del entorno de desarrollo y del robot móvil disponible (trabajo conjunto): instalación y configuración del entorno de desarrollo, incluyendo ROS, entorno de simulación (Gazebo), y librerías de aprendizaje por refuerzo y SLAM.

(Responsabilidad principal del/la Estudiante A)

2. Diseño del entorno de entrenamiento : definición del entorno de simulación, recompensas, observaciones y acciones posibles para el agente.

3. Entrenamiento del agente utilizando DQN: implementación del ciclo de entrenamiento y evaluación en simulación.

(Responsabilidad principal del/la Estudiante B)

4. Implementación de un sistema de SLAM (responsabilidad principal del Alumno A) para la construcción del mapa y localización del robot.

5. Integración de SLAM en la política de control: uso de información de localización y mapa para enriquecer el espacio de observación del agente.

(Fase final, común)

6. Transferencia del comportamiento al robot real: validación de la política entrenada en hardware real, ajuste fino de la política y evaluación del rendimiento.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

- Seminario sobre fundamentos de aprendizaje por refuerzo profundo.
- Taller práctico sobre uso de ROS y herramientas de simulación.
- Seminario técnico sobre algoritmos SLAM y su integración con ROS.
- Sesiones de seguimiento para revisión de resultados experimentales.

BIBLIOGRAFÍA:

Lillicrap, T.P. et al. (2016). Continuous control with deep reinforcement learning. arXiv:1509.02971 [cs.LG]. <https://arxiv.org/abs/1509.02971>

Mnih, V., Kavukcuoglu, K., Silver, D., Graves, A., Antonoglou, I., Wierstra, D., & Riedmiller, M. (2013). Playing atari with deep reinforcement learning. <https://arxiv.org/abs/1312.5602>

Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement learning: An introduction (2nd ed.). MIT Press. <http://www.incompleteideas.net/book/the-book-2nd.html>

Thrun, S., Burgard, W., & Fox, D. (2005). Probabilistic robotics. <https://docs.ufpr.br/~danielsantos/ProbabilisticRobotics.pdf>

Kendall, A., et al. (2019). Learning to Navigate in Cities Without a Map. NeurIPS 2018. <https://arxiv.org/abs/1804.00168>

Quigley, M. et al. (2009). ROS: an open-source Robot Operating System. ICRA

Workshop on Open Source Software.
<https://ai.stanford.edu/~mquigley/papers/icra2009-ros.pdf>



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Tareas de visión por computador con cámaras stereo y deep learning en entornos acuáticos
Title:	Computer vision tasks using stereo cameras and deep learning in aquatic environments
Tutor/es:	Clara Isabel López González y María José Gómez Silva
E-mail tutor/es:	claraisl@ucm.es, mgomez77@ucm.es
Número de plazas	2
Tipo de TFG	Experimental <input checked="" type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo principal del proyecto es la implementación de algoritmos de visión por computador para la interpretación del contenido en escenas acuáticas, con el fin último de apoyar a los sistemas de navegación y monitorización de un vehículo de superficie no tripulado. Este desarrollo se llevará a cabo empleando el sensor ZED 2i Stereo Camera y utilizando algoritmos de deep learning, consolidando así la aplicación práctica con técnicas de vanguardia de los conocimientos adquiridos en procesamiento de imágenes durante la titulación.

Atendiendo a las dos plazas ofertadas, uno de los trabajos se centrará en las tareas de visión por computador ligadas a la segmentación semántica sobre imágenes RGB, clasificando a nivel de píxel los contenidos de interés de las escenas acuáticas, empleando técnicas como "transfer learning" para mejorar la precisión de los modelos. En el otro trabajo, el/la estudiante abordará el problema de la detección de objetos desde un punto de vista más geométrico, centrándose en el análisis de la profundidad, la detección de planos y la fusión de información 3D con la localización 2D ofrecida por los modelos neuronales.

En ambos casos, el objetivo principal se puede dividir en los siguientes subobjetivos:

- Estudio y aprendizaje de uso de algoritmos de visión por computador basados en deep learning.
- Identificación y evaluación de las dificultades y retos en el contexto de escenas acuáticas supervisadas desde vehículos de superficie no tripulados.
- Adquisición y preparación de los datos necesarios.
- Implementación de los algoritmos en el contexto planteado.
- Realización de experimentos para analizar y validar el rendimiento de la solución

planteada.

METODOLOGÍA:

El/la estudiante deberá realizar las siguientes etapas para desarrollar su proyecto:

1. Estudio de técnicas de Deep Learning.
2. Estudio de las bases de la visión estéreo.
3. Estudio del estado de arte en cuanto a tareas de visión por computador con Deep Learning.
4. Adquisición, y búsqueda de bases de datos de entornos acuáticos.
5. Etiquetado, preprocesamiento y análisis de los datos disponibles.
6. Programación de algoritmos de visión por computador.
7. Experimentación y evaluación de los modelos obtenidos.
8. Análisis de la solución.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Tutorías con las profesoras expertas en la materia.

Estudio guiado de algunas técnicas de Deep Learning para tareas de visión por computador.

Se aconsejará hacer algún curso online sobre estas técnicas.

Se aconsejará seguir el tutorial de StereoLabs, para el uso de sus cámaras estéreo.

Se aconseja también el estudio de plataformas para el desarrollo y entrenamiento de modelos neuronales (como librerías Pytorch, Jupyter Notebooks o la plataforma Roboflow)

BIBLIOGRAFÍA:

Kit de desarrollo de Software de StereoLabs:
<https://www.stereolabs.com/docs/development/zed-sdk>

Curso de deep learning: <https://www.coursera.org/specializations/deep-learning>

Curso de Pytorch:
<https://www.coursera.org/professional-certificates/pytorch-for-deep-learning>

Tutoriales de Pytorch: <https://docs.pytorch.org/tutorials/>

Roboflow: <https://roboflow.com/>

Libros sobre los fundamentos del deep learning y su implementación:

- Gonzalo Pajares Martinsanz, Pedro Javier Herrera Caro, Eva Besada Portas. Aprendizaje Profundo. Editorial: Libros RC.

- Aston Zhang, Zachary C. Lipton, Mu Li, Alexander J. Smola. Dive into Deep Learning. <https://d2l.ai/>

- Aurélien Géron. Hands-on Machine Learning with Scikit-Learn, Keras and Tensorflow. Editorial: O'Reilly

Artículos relacionados con navegación y monitorización de entornos acuáticos con vehículos de superficie no tripulados:

- Barrientos-Espillco, F., Gómez-Silva, M. J., Besada-Portas, E., & Pajares, G. (2024). Integration of object detection and semantic segmentation based on convolutional neural networks for navigation and monitoring of cyanobacterial blooms in lentic water scenes. *Applied Soft Computing*, 163, 111849.
- Barrientos-Espillco, F., Gascó, E., López-González, C. I., Gomez-Silva, M. J., & Pajares, G. (2023). Semantic segmentation based on Deep learning for the detection of Cyanobacterial Harmful Algal Blooms (CyanoHABs) using synthetic images. *Applied Soft Computing*, 141, 110315.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Implementación y Modelado Macroscópico de Algoritmos de Enjambre Bio-inspirados en el RobotariumUCM
Title:	Implementation and Macroscopic Modeling of Bio-inspired Swarm Algorithms in RobotariumUCM
Tutor/es:	Lía García Pérez y Jesús Chacón Sombría
E-mail tutor/es:	liagar05@ucm.es y jeschaco@ucm.es
Número de plazas	1
Tipo de TFG	Experimental <input checked="" type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El estudio de los comportamientos de formación en bandadas de pájaros o bancos de peces muestra que en muchos casos estos comportamientos emergen de comportamientos "sencillos" diferentes de los agentes individuales como por ejemplo tendencia a permanecer juntos y a la vez mantener una distancia de seguridad.

El objetivo principal es validar la eficacia de algoritmos de inteligencia de enjambre (como BEECLUST o Flocking Emergente) en un entorno físico controlado utilizando el RobotariumUCM.

El UCM-Robotarium es un entorno multi robot de bajo coste disponible del grupo de Ingeniería de Sistemas, Control, Automatización y Robótica (ISCAR). UCM-Robotarium dispone de al menos 5 robots (que serán próximamente 10), y una cámara cenital y un servidor que proporcionan la localización a cada robot mediante un sistema de marcas.

Los objetivos específicos incluyen:

- Adaptación de algoritmos: Traducir los modelos teóricos de los artículos (basados en sensores de infrarrojos y luz) a las capacidades sensoriales de los robots del RobotariumUCM.

- Evaluación de la agregación: Analizar la capacidad del enjambre para tomar decisiones colectivas, como por ejemplo la agregación en puntos de máxima intensidad lumínica.

- Análisis de alineación: Implementar el algoritmo de "Flocking" sin comunicación

explícita, evaluando cómo el enjambre logra un movimiento coordinado solo mediante sensores de distancia.

Sobre el aspecto técnico, este TFG requiere que el/la estudiante se centre en dos componentes principales. Primero en el estudio de del comportamiento colectivo en grupos de robots. En segundo lugar, este TFG tiene un fuerte carácter experimental, puesto que el/los algoritmos han de ser probados en el UCM-Robotarium, de manera que el/la estudiante tendrá que trabajar con el hardware de los robots. Para ello se usarán Python y/o C++.

METODOLOGÍA:

La metodología se dividirá en tres fases:

- Fase de Estudio : Estudio y análisis tanto de los algoritmos de la bibliografía que se van a implementar como de la arquitectura del Robotarium-UCM (firmware existente de los robots, capacidades de comunicación etc...)
- Fase de Implementación: Programación de los robots en el RobotariumUCM para ejecutar los algoritmos de agregación seleccionados.
- Fase de Validación Experimental: Realización de experimentos en la arena del RobotariumUCM para comparar los datos reales con las predicciones del modelo macroscópico, ajustando parámetros como la velocidad y el rango de detección.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Seminario para la definición de objetivos; para la configuración y manejo del hardware y cualquier otra información necesaria para la realización del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA:

[1] Schmickl, T., Hamann, H., Wörn, H., & Crailsheim, K. (2009). Two different approaches to a macroscopic model of a bio-inspired robotic swarm. *Robotics and Autonomous Systems*, 57(9), 913–921. <http://dx.doi.org/10.1016/j.robot.2009.06.002>

[2] Sean Wilson, et al., The Robotarium: Globally Impactful Opportunities, Challenges, and Lessons Learned in Remote-Access, Distributed Control of Multirobot Systems. *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 40, no. 1, pp. 26-44, Feb. 2020.

[3] Moeslinger, C., Schmickl, T., & Crailsheim, K. (2010, September). Emergent flocking with low-end swarm robots. In *International Conference on Swarm Intelligence* (pp. 424-431). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

[4] Dorigo, M., Theraulaz, G., & Trianni, V. (2021). Swarm robotics: Past, present, and future [point of view]. *Proceedings of the IEEE*, 109(7), 1152-1165. <https://hal.science/hal-03362874/document>

[5] Hamann, H. (2018). *Swarm robotics: A formal approach* (Vol. 221). Cham: Springer.

[6] García-Pérez, L., Sombría, J. C., Fontán, A. G., & Castellanos, J. F. J. (2023, April). Collaborative construction of a multi-robot remote laboratory: Description and experience. In International Conference on Robotics in Education (RiE) (pp. 243-254). Cham: Springer Nature Switzerland.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Implementación reconfigurable de algoritmos criptográficos
Title:	Reconfigurable implementation of cryptographic algorithms
Tutor/es:	José Luis Imaña Pascual
E-mail tutor/es:	jluimana@ucm.es
Número de plazas	1
Tipo de TFG	Experimental <input type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Al finalizar el trabajo, el/la estudiante será capaz de:

- Comprender las bases criptográficas y el funcionamiento de distintos algoritmos de cifrado.
- Comprender las operaciones involucradas en dichos algoritmos. Realizar la descripción en un lenguaje de descripción de hardware utilizando herramientas de diseño electrónico automatizado.
- Realizar la simulación e implementación reconfigurable de dicha descripción. Analizar e interpretar los resultados obtenidos.

METODOLOGÍA:

- El/la estudiante adquirirá los conocimientos básicos necesarios sobre criptografía y realizará un estudio previo de distintos algoritmos de cifrado.
- El/la estudiante realizará una descripción sintetizable en el lenguaje de descripción de hardware VHDL de uno de los algoritmos criptográficos.
- El/la estudiante utilizará una herramienta de diseño electrónico automatizado para la implementación y simulación de dicha descripción sobre dispositivos reconfigurables.
- El/la estudiante realizará el análisis de los resultados experimentales obtenidos y extraerá conclusiones de los mismos.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Tutorías de un profesor experto en el tema.

BIBLIOGRAFÍA:

- 1.- A.J. Menezes, P.C. van Oorschot, S.A. Vanstone. "Handbook of Applied Cryptography", CRC Press, 1997.
- 2.- J. Pastor Franco, M.A. Sarasa López, J.L. Salazar Riaño. "Criptografía Digital. Fundamentos y Aplicaciones", Prensas Universitarias de Zaragoza, 2001.
- 3.- S. Brown, Z. Vranesic. "Fundamentos de lógica digital con diseño VHDL", McGraw-Hill, 2000.
- 4.- P.J. Ashenden. "The designer's guide to VHDL", Morgan Kaufmann, 2008.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Estudio y mejora de la velocidad crítica de hunting en vehículos ferroviarios mediante redes neuronales
Title:	Study and Improvement of the Hunting Critical Speed in Railway Vehicles Using Neural Networks
Tutor/es:	María Tomás Rodríguez
E-mail tutor/es:	mtomas05@ucm.es
Número de plazas	1
Tipo de TFG	Experimental <input type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Estudiar la velocidad crítica (Hunting speed) en trenes de alta velocidad es fundamental para garantizar la seguridad de los pasajeros.

El fenómeno de hunting se manifiesta como una oscilación lateral autoinducida originada por la interacción entre la cinemática del eje y las fuerzas de contacto rueda-carril. Por encima de un cierto umbral de velocidad, estas oscilaciones dejan de amortiguarse y evolucionan hacia un régimen inestable, deteriorando el confort de marcha y acelerando el desgaste de componentes críticos del sistema rueda-vía.

Diversos estudios han puesto de relieve que la falta de control sobre este fenómeno puede tener consecuencias desde el punto de vista operativo, incluyendo la pérdida de estabilidad dinámica del vehículo. De ahí la necesidad de caracterizar con precisión las condiciones en las que aparece y los factores que influyen en su desarrollo.

En este trabajo se plantea el uso de un modelo dinámico simplificado del bogie para generar datos mediante simulación. Estos datos se emplearán para entrenar una red neuronal capaz de predecir la velocidad crítica en función de parámetros como rigidez y amortiguamiento de los elementos de la suspensión. Se pretende evaluar distintas configuraciones del sistema y elegir la combinación de parámetros que permita al vehículo desplazar la velocidad de hunting a valores más altos.

El objetivo final de este trabajo es desplazar la velocidad crítica de hunting (velocidad

a partir de la cual el vehículo pierde la estabilidad) hacia valores más altos y, simultáneamente, minimizar la amplitud de las oscilaciones.

METODOLOGÍA:

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y OPTIMIZACIÓN DE LA SUSPENSIÓN MEDIANTE NN's:

a) Modificación del modelo dinámico del bogie para incluir un dispositivo mecánico disipativo en la suspensión lateral, Inerter.

b) Utilizando un modelo dinámico de un bogie en MATLAB/Simulink, realizar simulaciones variando sistemáticamente la rigidez, amortiguación e inercia de la suspensión lateral para obtener una base de datos con la que caracterizar la velocidad de hunting y la amplitud de las oscilaciones.

c) Diseñar y entrenar una red neuronal que relacione los parámetros del sistema de suspensión con las salidas, especialmente la velocidad crítica y la respuesta oscilatoria del vehículo.

d) Utilizar el modelo entrenado para evaluar múltiples combinaciones de parámetros y seleccionar aquellas configuraciones óptimas que permitan aumentar la velocidad crítica y reducir la amplitud de las oscilaciones.

e) Comprobar la validez de las configuraciones seleccionadas y analizar la sensibilidad de los resultados frente a variaciones de los parámetros.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Tutorías con la supervisora del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA:

[1] Bustos, Alejandro, Maria Tomas-Rodriguez, Higinio Rubio, y Cristina Castejon. On the nonlinear hunting stability of a high-speed train bogie. *Nonlinear Dynamics* 111, n.º 3 (2023): 2059-78.

[2] Traian Mazilu (2009) An analysis of bogie hunting instability U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol.71, Issue 2, 2009

[3] Liang J, Sun J, Jiang Y, Pan W, Jiao W. Advances and Challenges in the Hunting Instability Diagnosis of High-Speed Trains. *Sensors (Basel)*. 2024 Sep 2;24(17):5719. doi: 10.3390/s24175719. PMID: 39275630; PMCID: PMC11398272.

[4] Cheng Wang , Min-Ruei Hsieh & Hsueh-Ju Chen (2012) Stability and performance analysis of a full-train system with inerters, *Vehicle System Dynamics*, 50:4, 545-571, DOI: 10.1080/00423114.2011.606368

[5] Ding X, Chang C, Ling L, et al. (2023) Mechanism analysis of low-frequency swaying motion of high-speed trains induced by aerodynamic loads. *Journal of Vibration and Control* 0(0): 1–13.

[6] Smith, M.C. (2002) 'Synthesis of mechanical networks: the inerter', *IEEE Transactions on Automatic Control*, 47(10), pp. 1648–1662.

[7] Knothe, K. and Stichel, S. (2017) Rail Vehicle Dynamics. Cham: Springer.

[8] Haykin, S. (2009) Neural Networks and Learning Machines. 3rd edn. Upper Saddle River, NJ: P.Hall.

[9] Wickens, A.H. (2003) Fundamentals of Rail Vehicle Dynamics. Lisse: CRC Press.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Optimización de la estabilidad lateral en vehículos ferroviarios mediante algoritmos genéticos
Title:	Optimization of Lateral Stability in Railway Vehicles Using Genetic Algorithms
Tutor/es:	María Tomás Rodríguez
E-mail tutor/es:	mtomas05@ucm.es
Número de plazas	1
Tipo de TFG	Experimental <input type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Estudiar la velocidad crítica (Hunting speed) en trenes de alta velocidad es fundamental para garantizar la seguridad de los pasajeros.

El fenómeno de hunting se manifiesta como una oscilación lateral autoinducida originada por la interacción entre la cinemática del eje y las fuerzas de contacto rueda-carril. Por encima de un cierto umbral de velocidad, estas oscilaciones dejan de amortiguarse y evolucionan hacia un régimen inestable, deteriorando el confort de marcha y acelerando el desgaste de componentes críticos del sistema rueda-vía.

Diversos estudios han puesto de relieve que la falta de control sobre este fenómeno puede tener consecuencias desde el punto de vista operativo, incluyendo la pérdida de estabilidad dinámica del vehículo. De ahí la necesidad de caracterizar con precisión las condiciones en las que aparece y los factores que influyen en su desarrollo.

Este proyecto propone un estudio en la dinámica de la suspensión lateral y la optimización de sus parámetros para que el vehículo pueda llegar a operar a velocidades más altas sin detonar la aparición de oscilaciones inestables.

En este contexto, el presente proyecto se centra en el análisis de la dinámica lateral del sistema de suspensión y en la identificación de configuraciones que mejoren su comportamiento. Se propone abordar este problema mediante técnicas de optimización, empleando algoritmos genéticos como herramienta para explorar de forma eficiente el espacio de parámetros.

El objetivo final de este trabajo es desplazar la velocidad crítica de hunting (velocidad a partir de la cual el vehículo pierde la estabilidad) hacia valores mas altos y, simultáneamente, minimizar la amplitud de las oscilaciones.

METODOLOGÍA:

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD Y OPTIMIZACIÓN DE LA SUSPENSIÓN MEDIANTE AG's:

- (i) A partir de un modelo dinámico de un bogie, se evaluará la respuesta del sistema para distintas configuraciones paramétricas de la suspensión lateral.
- (ii) Si fuese necesario, implementar una modificación en las ecuaciones dinámicas de la suspensión lateral para incluir dispositivos disipativos que ayuden a amortiguar las oscilaciones.
- (iii) Simulaciones en varias condiciones operativas y detección de la velocidad de hunting.
- (iv) Optimización de los parámetros de la suspensión mediante GA (Algoritmos Genéticos)
- (v) Obtencion de resultados con los que se espera lcanzar un límite de estabilidad mayor que el caso nominal.
- (v) Validación de los resultados obtenidos mediante métodos de análisis de estabilidad.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Tutorias con la supervisora del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA:

- [1] Bustos, Alejandro, Maria Tomas-Rodriguez, Higinio Rubio, y Cristina Castejon. On the nonlinear hunting stability of a high-speed train bogie. *Nonlinear Dynamics* 111, n.º 3 (2023): 2059-78. <https://doi.org/10.1007/S11071-022-07937-Y>.
- [2] Traian Mazilu (2009) An analysis of bogie hunting instability U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol.71, Issue 2, 2009
- [3] Liang J, Sun J, Jiang Y, Pan W, Jiao W. Advances and Challenges in the Hunting Instability Diagnosis of High-Speed Trains. *Sensors (Basel)*. 2024 Sep 2;24(17):5719. doi: 10.3390/s24175719. PMID: 39275630; PMCID: PMC11398272.
- [4] Cheng Wang , Min-Ruei Hsieh & Hsueh-Ju Chen (2012) Stability and performance analysis of a full-train system with inerters, *Vehicle System Dynamics*, 50:4, 545-571, DOI: 10.1080/00423114.2011.606368
- [5] Ding X, Chang C, Ling L, et al. (2023) Mechanism analysis of low-frequency swaying motion of high-speed trains induced by aerodynamic loads. *Journal of Vibration and Control* 0(0): 1–13.
- [6] Goldberg, D.E. (1989) *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Reading, MA: Addison-Wesley.

[7] Mitchell, M. (1998) An Introduction to Genetic Algorithms. Cambridge, MA: MIT Press.

[8] Knothe, K. and Stichel, S. (2017) Rail Vehicle Dynamics. Cham: Springer.

[9] Wickens, A.H. (2003) Fundamentals of Rail Vehicle Dynamics. Lisse: CRC Press.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Diseño de Controladores Iterativos y PID para Vehículos Submarinos Autónomos No Lineales
Title:	Iterative and PID Control Techniques for Nonlinear Autonomous Underwater Vehicle Maneuvering
Tutor/es:	María Tomás Rodríguez
E-mail tutor/es:	mtomas05@ucm.es
Número de plazas	1
Tipo de TFG	Experimental <input type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo general de este TFG es diseñar y simular un sistema de control de trayectoria para un vehículo submarino autónomo tipo torpedo, mediante técnicas iterativas y control PID.

Se espera que el/la estudiante estudie el modelo dinámico no lineal del vehículo y desarrolle estrategias de control robustas para el seguimiento de trayectorias en presencia de perturbaciones.

La técnica de iteración consiste en aproximar un sistema no lineal mediante una secuencia de sistemas lineales de tiempo variante (LTV), que se generan evaluando los estados actuales del sistema no lineal en los estados obtenidos en la iteración anterior. Esta técnica puede aplicarse a sistemas no lineales porque, bajo condiciones como la continuidad de Lipschitz, la secuencia de soluciones de los sistemas lineales iterativos converge a la solución del sistema no lineal original.

Los controladores PID suelen estar tradicionalmente diseñados para sistemas lineales, es posible extender su aplicación a sistemas no lineales mediante esta técnica ya que permite aproximar el sistema no lineal por una sucesión de modelos lineales de tiempo variante, sobre los cuales sí puede aplicarse un PID de forma efectiva. De este modo, se conserva la simplicidad del controlador PID, pero se adapta dinámicamente a la evolución no lineal del sistema sin necesidad de linealizarlo, manteniendo sus acoplamientos dinámicos y características esenciales.

METODOLOGÍA:

1. Revisión bibliográfica sobre la técnica iterativa para sistemas no lineales.
2. Estudio del modelo dinámico no lineal del vehículo submarino en el plano horizontal.
3. Desarrollo e implementación de la técnica de iteración para aproximar el sistema no lineal del vehículo submarino mediante un conjunto de sistemas lineales de tiempo variante.
4. Implementación en MATLAB del sistema iterativo de control PID para el modelo dado.
5. Evaluación de la robustez y seguimiento de trayectoria.
6. Elaboración de conclusiones.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Seminario introductorio

Reuniones y tutorías con la supervisora.

BIBLIOGRAFÍA:

[1] M. Tomas-Rodriguez, E. Revestido Herrero, F.J. Velasco. 'Iterative Self-Tuning Minimum Variance Control of a Nonlinear Autonomous Underwater Vehicle Maneuvering Model'. Electronics 2021.

[2] Fossen, T.I. 'Guidance and Control of Ocean Marine Vehicles'. John Wiley and Sons Ltd, 1994.

[3] Wellstead, P.E. and Zarrop, M.B. 'Self-Tuning Systems: Control and Signal Processing'. John Wiley & Sons, 1991.

[4] E. Revestido, M. Tomás-Rodríguez and F. J. Velasco González, "Iterated nonlinear control of ship's manoeuvring models," 52nd IEEE Conference on Decision and Control, Firenze, Italy, 2013, pp. 6168-6175, doi: 10.1109/CDC.2013.6760864.

[5] Tomas-Rodriguez, M., & Banks, S. P. (2013). An iterative approach to eigenvalue assignment for nonlinear systems. International Journal of Control, 86(5), 883–892. <https://doi.org/10.1080/00207179.2013.765037>

[6] Tomas-Rodriguez, M. and Banks, S.P. (2010). Linear, Time-varying Approximations to Nonlinear Dynamical Systems with Applications in Control and Optimization Introduction to Nonlinear Systems. SPRINGER-VERLAG BERLIN. ISBN 978-1-84996-100-4.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Análisis y Diseño de Métodos de Control del Ángulo de Orientación en Turbinas Eólicas
Title:	Analysis and Design of Yaw Control Methods for Wind Turbines
Tutor/es:	María Tomás Rodríguez
E-mail tutor/es:	mtomas05@ucm.es
Número de plazas	1
Tipo de TFG	Experimental <input type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Las turbinas eólicas modernas operan en entornos altamente variables, donde las condiciones del viento cambian continuamente en dirección e intensidad. El control del ángulo de orientación (yaw control) resulta fundamental para maximizar la captación de energía, alineando el rotor con la dirección del viento.

Una orientación inadecuada no solo reduce la eficiencia energética, sino que también incrementa las cargas estructurales y el desgaste mecánico del sistema.

El principal objetivo de este trabajo es desarrollar y evaluar estrategias de control del ángulo de orientación de una turbina eólica que permitan maximizar la captación de energía eólica y reducir las cargas estructurales, garantizando un comportamiento dinámico eficiente y robusto frente a variaciones en las condiciones del viento.

Objetivos particulares:

- Modelar el sistema de orientación de una turbina eólica, incluyendo la dinámica del actuador y las perturbaciones asociadas al viento.
- Diseñar un controlador para el seguimiento del ángulo de orientación que minimice el error de alineamiento.
- Evaluar el impacto del control en términos de eficiencia energética y reducción de cargas.
- Analizar la robustez del sistema frente a variaciones en la dirección del viento y a incertidumbres del modelo.

METODOLOGÍA:

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

2. TAREAS DE MODELADO Y SIMULACIÓN (Matlab/Simulink)

- Desarrollo de un modelo dinámico del sistema de orientación, incorporando la dinámica del actuador y una representación del viento como perturbación externa.
- Diseño de controladores clásicos (por ejemplo, PID) para el seguimiento del ángulo de orientación, incluyendo el ajuste de parámetros.
- Implementación de simulaciones en MATLAB/Simulink para evaluar el comportamiento del sistema ante distintos perfiles de viento.
- Análisis de resultados en términos de error de seguimiento, tiempo de respuesta y comportamiento frente a perturbaciones, evaluación de posibles mejoras del diseño.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Seminario introductorio
Reuniones con la tutora

BIBLIOGRAFÍA:

[1] Matthew A. Lackner, Mario A. Rotea, Structural control of floating wind turbines, *Mechatronics*, Volume 21, Issue 4, 2011, Pages 704-719, ISSN 0957-4158.
<https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2010.11.007>

[2] Tomas-Rodriguez, M. & Santos, M. Modelado y control de turbinas eólicas flotantes en alta mar. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (RIAI)*, 16(4), 381-390. doi: 10.4995/riai.2019.11648

[3] Muhammad Rayyan Fazal, Muhammad Kamran, Chapter 5 - Wind energy, *Renewable Energy Conversion Systems*, Academic Press, 2021, Pages 153-192, ISBN 9780128235386,
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823538-6.00003-8>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128235386000038>)

[4] Wael Farag, Manal El-Hosary, Ahmed Kamel, Khaled El-Metwally, Analysis of Various Yaw Control Techniques for Large Wind Turbines, *Journal of Engineering Research*, Volume 7, Issue 3, 2019, Pages 215-231, ISSN 2307-1877,
[https://doi.org/10.1016/S2307-1877\(25\)00609-1](https://doi.org/10.1016/S2307-1877(25)00609-1).
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2307187725006091>)

[5] Astolfi D, Castellani F, Natili F. Wind Turbine Yaw Control Optimization and Its Impact on Performance. *Machines*. 2019; 7(2):41.
<https://doi.org/10.3390/machines7020041>.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Identificación de especies de aves mediante reconocimiento acústico en sistemas embebidos de bajo consumo.
Title:	Identification of Bird Species through Acoustic Recognition on Low-Power Embedded Systems
Tutor/es:	Luis Piñuel Moreno y Manuel Prieto Matías
E-mail tutor/es:	lpinuel@ucm.es y mpmatias@ucm.es
Número de plazas	1
Tipo de TFG	Experimental <input checked="" type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

La ornitología, disciplina dedicada al estudio de las aves, se enfrenta a diversas limitaciones a la hora de realizar censos en entornos naturales. Factores como la disponibilidad de recursos humanos, las condiciones climáticas, la variabilidad estacional y el comportamiento de las especies dificultan la obtención de datos fiables mediante métodos tradicionales, que suelen requerir la presencia de expertos en campo capaces de identificar especies a partir de la observación directa o del reconocimiento auditivo.

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar herramientas automatizadas que permitan realizar tareas de monitorización de forma continua y autónoma. El avance en técnicas de procesamiento digital de señales y aprendizaje automático, junto con la disponibilidad de hardware embebido de bajo consumo, abre la posibilidad de diseñar sistemas capaces de identificar especies de aves a partir de sus vocalizaciones.

Este tipo de sistemas permitiría ampliar la cobertura espacial y temporal de los estudios ornitológicos, reducir costes operativos y facilitar la recopilación de datos en entornos de difícil acceso, contribuyendo así a la investigación y conservación de la biodiversidad.

En este trabajo se estudiará la viabilidad de implementar un sistema de reconocimiento aviar mediante el procesamiento de señales sonoras basado en redes neuronales, utilizando como plataforma sistemas embebidos de bajo consumo. Los objetivos concretos del trabajo incluyen entre otros aspectos:

1. Analizar la viabilidad y la capacidad de procesamiento de una red neuronal

implementada en un microcontrolador como el ESP32, evaluando aspectos como el número de especies reconocibles y el rendimiento del sistema en términos de aciertos y errores.

2. Implementar un subsistema receptor que integre microfonía, filtrado, conversión analógico-digital y reconocimiento mediante redes neuronales.

3. Implementar un subsistema emisor capaz de transmitir la especie detectada.

4. Desarrollar una prueba de concepto integrando los distintos subsistemas.

METODOLOGÍA:

La metodología de este trabajo se organiza en varias fases orientadas al análisis, adaptación e implementación de modelos de clasificación de vocalizaciones de aves en el sistema objetivo.

Fase 1. Se realizará una revisión de los modelos existentes para la clasificación de vocalizaciones de aves y de las bases de datos utilizadas en su entrenamiento y validación.

Fase 2. Familiarización con el entorno de desarrollo. Se estudiarán las herramientas y procedimientos necesarios para la implementación y despliegue de los modelos y las características técnicas del hardware de captura de audio.

Fase 3. Familiarización con TensorFlow Lite. Se abordará el uso de TensorFlow Lite para la optimización y ejecución de modelos en dispositivos con recursos limitados.

Fase 4. Ajuste en el sistema objetivo. Se realizará el ajuste de los modelos seleccionados para su ejecución en el sistema objetivo, evaluando su rendimiento con el fin de validar la viabilidad de la solución en un entorno real.

Fase 5. Desarrollo de una prueba de concepto completa. Se integrarán los distintos elementos del sistema en una prueba de concepto funcional.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

1. Tutorías con los profesores
2. Curso de introducción a IoT

BIBLIOGRAFÍA:

1. Kahl, S., Wood, C. M., Eibl, M., y Klinck, H. (2021). *BirdNET: A deep learning solution for avian diversity monitoring*. *Ecological Informatics*, 61, 101236. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101236>
2. BirdNET. Herramienta de reconocimiento automático de aves basada en aprendizaje profundo. <https://birdnet.cornell.edu/>
3. BirdNET Team. Repositorio oficial del proyecto BirdNET y recursos asociados. <https://github.com/birdnet-team>

4. Xeno-canto. Plataforma colaborativa de grabaciones de sonidos de fauna silvestre, especialmente aves. <https://xeno-canto.org>

5. Macaulay Library. Biblioteca multimedia de referencia para registros de audio, imagen y vídeo de biodiversidad. <https://www.macaulaylibrary.org>

6. BirdCLEF+ 2025 Competition. Competición de identificación de especies a partir de audio. <https://www.kaggle.com/c/birdclef-2025>

7. BioDCASE-Tiny 2025. Repositorio asociado a la competición orientada a soluciones bioacústicas de bajo consumo. <https://github.com/birdnet-team/BioDCASE-Tiny-2025>



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Optimización y despliegue de modelos de inteligencia artificial para análisis del movimiento humano en arquitecturas empotradas
Title:	Optimization and Deployment of Artificial Intelligence Models for Human Motion Analysis on Embedded Architectures
Tutor/es:	Carlos García Sanchez y Manuel Prieto Matías
E-mail tutor/es:	garsanca@ucm.es y mpmatias@ucm.es
Número de plazas	1
Tipo de TFG	Experimental <input checked="" type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El uso de inteligencia artificial en dispositivos embebidos está adquiriendo una importancia creciente en ámbitos como la industria, la salud, la robótica, la domótica, el deporte, los sistemas autónomos y el Internet de las Cosas. Tradicionalmente, los modelos de IA se entrenan y ejecutan en plataformas de altas prestaciones, como GPUs o servidores en la nube. Sin embargo, muchas aplicaciones reales requieren que la inferencia se realice directamente en dispositivos de bajo consumo, con recursos limitados de memoria, capacidad de procesamiento y energía.

Este Trabajo de Fin de Grado propone el desarrollo de un sistema de inteligencia artificial orientado a su despliegue en arquitecturas embebidas. El trabajo abordará el ciclo completo de desarrollo: selección del caso de uso, preparación de datos, entrenamiento del modelo, optimización, cuantización, despliegue en distintas plataformas hardware y evaluación comparativa del rendimiento.

Como caso de uso, se plantea la detección y clasificación automática del movimiento humano. Esta línea de trabajo tiene múltiples aplicaciones en rehabilitación, ergonomía, prevención de lesiones, asistencia domiciliaria, entrenamiento deportivo e interacción humano-máquina. Por ejemplo, en un proceso de rehabilitación, un paciente puede realizar ejercicios en casa sin retroalimentación inmediata de un profesional; en el entrenamiento deportivo, un gesto incorrecto puede aumentar el riesgo de lesión; y, en ergonomía, una postura repetida de forma inadecuada puede derivar en molestias o patologías.

Un sistema automático de análisis de movimiento puede ayudar a identificar errores, medir la calidad de ejecución y ofrecer información útil para la toma de decisiones. La combinación de visión por computador, posiblemente complementada con sensores inerciales u otros dispositivos de captura, e inteligencia artificial permite analizar cómo se mueve una persona y detectar patrones relevantes de forma objetiva y en tiempo real.

El trabajo plantea los siguientes objetivos específicos:

- + Realizar una revisión del estado del arte sobre modelos de inteligencia artificial aplicados a la clasificación y análisis del movimiento humano.
- + Explorar bases de datos públicas que puedan utilizarse para entrenamiento y validación, especialmente aquellas orientadas a rehabilitación y análisis de movimiento, como KneE-PAD, UCO Physical Rehabilitation, REHAB24-6, KIMORE o NTU RGB+D.
- + Entrenar y validar modelos de IA en plataformas GPU.
- + Adaptar el modelo desarrollado a dispositivos embebidos mediante enfoques de TinyML.
- + Explorar herramientas específicas de despliegue, como TensorFlow Lite y STM32Cube.AI de STMicroelectronics.
- + Evaluar comparativamente el sistema desarrollado en términos de precisión, latencia, consumo energético, tamaño del modelo y facilidad de despliegue.

METODOLOGÍA:

La metodología consta de varias fases orientadas al análisis, adaptación, optimización e implementación de modelos de inteligencia artificial para la clasificación de movimientos humanos en dispositivos empotrados.

Fase 1. Revisión del estado del arte. Se realizará una revisión de los modelos existentes para la detección y clasificación de movimientos humanos, así como de las bases de datos utilizadas para su entrenamiento y validación. Se prestará especial atención a trabajos relacionados con rehabilitación, análisis postural, reconocimiento de actividades humanas y ejecución eficiente de modelos en dispositivos de bajo consumo.

Fase 2. Familiarización con el entorno de desarrollo. Se estudiarán las herramientas y procedimientos necesarios para la implementación, optimización y despliegue de los modelos, así como las características técnicas del hardware utilizado. Esta fase incluirá la configuración del entorno de programación, librerías de aprendizaje profundo y plataformas de ejecución.

Fase 3. Entrenamiento y validación del modelo. Se seleccionará una base de datos

adecuada para el caso de uso y se prepararán los datos necesarios para el entrenamiento.

Fase 4. Optimización mediante TensorFlow Lite y TinyML. Se abordará el uso de TensorFlow Lite y otros enfoques de TinyML para la optimización y ejecución de modelos de IA en dispositivos con recursos limitados. Se aplicarán técnicas como cuantización, reducción del tamaño del modelo y adaptación de la arquitectura para mejorar la eficiencia de inferencia.

Fase 5. Adaptación y despliegue en el sistema objetivo. Se realizará la adaptación del modelo seleccionado para su ejecución en el sistema objetivo.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

1. Tutorías con los profesores
2. Curso de introducción a TinyML

BIBLIOGRAFÍA:

[1] A. Černek, J. Sedmidubsky, and P. Budikova, "REHAB24-6: Physical Therapy Dataset for Analyzing Pose Estimation Methods," in *Similarity Search and Applications*, Cham, Switzerland: Springer, 2025, pp. 18–33, doi: 10.1007/978-3-031-75823-2_2.

[2] P. Kasnesis, T. Plavoukou, A. C. Syropoulou, L. Toumanidis, and G. Georgoudis, "A Knee Rehabilitation Exercises Dataset for Postural Assessment using Wearable Devices," *Scientific Data*, vol. 12, no. 1, Art. no. 610, 2025, doi: 10.1038/s41597-025-04963-4.

[3] STMicroelectronics, "STM32Cube.AI," STMicroelectronics. Accessed: Apr. 27, 2026. [Online]. Available: <https://stm32ai.st.com/stm32-cube-ai/>

[4] A. Shahroudy, J. Liu, T.-T. Ng, and G. Wang, "NTU RGB+D: A Large Scale Dataset for 3D Human Activity Analysis," in *Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, 2016, pp. 1010–1019.

[5] TensorFlow, "TensorFlow Lite Guide," TensorFlow. Accessed: Apr. 27, 2026. [Online]. Available: <https://www.tensorflow.org/lite/guide>

[6] Y. Zhu and L. Mo, "A Review of Wearable Sensor-based Human Activity Recognition using Deep Learning," in *2022 International Conference on Sensing, Measurement & Data Analytics in the Era of Artificial Intelligence*, Harbin, China, 2022, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICSMD57530.2022.10058422.

[7] M. Capecci, M. G. Ceravolo, F. Ferracuti, S. Iarlori, A. Monteriù, L. Romeo, and F. Verdini, "The KIMORE Dataset: Kinematic Assessment of MOVement and Clinical Scores for Remote Monitoring of Physical REhabilitation," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 27, no. 7, pp. 1436–1448, Jul. 2019, doi: 10.1109/TNSRE.2019.2923060.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Control Heurístico del Angulo de ataque de las palas en aerogeneradores marinos
Title:	Heuristic Control of Blade Pitch Angle in Offshore Wind Turbines
Tutor/es:	María Tomás Rodríguez, Matilde Santos Peñas
E-mail tutor/es:	mtomas05@ucm.es, msantos@ucm.es
Número de plazas	1
Tipo de TFG	Experimental <input type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Las turbinas eólicas marinas operan en condiciones de viento muy variables, lo que hace necesario diseñar sistemas de control capaces de adaptarse a dichos cambios. El control del ángulo de ataque de las palas (pitch control) regula la potencia captada, mejora la eficiencia energética y reduce las cargas mecánicas sobre la estructura. Por otro lado, un control de pitch inadecuado puede provocar pérdidas de energía y aumentar el desgaste de los componentes, afectando negativamente a la vida útil de la turbina. Resulta de interés desarrollar estrategias de control eficaces que permitan un compromiso entre rendimiento y robustez.

El **objetivo principal** de este trabajo es el desarrollo y análisis de estrategias heurísticas de control del ángulo de pitch en turbinas eólicas marinas. Se pretende diseñar un controlador que permita adaptarse a las variaciones del viento, manteniendo un funcionamiento eficiente y estable del sistema.

Objetivos particulares:

- Modelar de forma simplificada el sistema de control de pitch de una turbina eólica, incluyendo la dinámica del actuador y la influencia del viento.
- Diseñar un controlador heurístico para la regulación del ángulo de pitch.
- Evaluar el comportamiento del sistema en términos de captación de energía y reducción de cargas.

- Analizar la respuesta del sistema ante cambios en las condiciones del viento y posibles incertidumbres del modelo.

METODOLOGÍA:

REVISION BIBLIOGRAFICA: Estudio de los principios básicos de funcionamiento de turbinas eólicas marinas, con atención al control de pitch y a las estrategias heurísticas existentes.

MODELADO DEL SISTEMA:

Desarrollo de un modelo dinámico simplificado de la turbina, incluyendo la dinámica del actuador de pitch y la influencia del viento como perturbación.

Diseño del controlador heurístico: Implementación de una estrategia de control basada en reglas Simulación y validación.

IMPLEMENTACION del modelo y del controlador en MATLAB/Simulink.

EVALUACION del sistema ante distintos escenarios variables: error de seguimiento y cargas

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Reuniones con las tutoras

BIBLIOGRAFÍA:

César Ernesto Hernández Hernández. Sintonía del control convencional y difuso del ángulo de pala de una turbina eólica flotante mediante técnicas de optimización. TFM. Máster Universitario en Ingeniería de Sistemas y Control. UNED. 2019

Serrano-Barreto, C. L., Santos, M., & Sierra-García, J. E. (2021). Controlador de pitch híbrido optimizado con algoritmo genético para aerogeneradores flotantes. XLII Jornadas de Automática, libro de actas (pp. 197–202), Castellón, España, 1–3 de septiembre de 2021. ISBN: 978-84-9749-804-3.

Ramírez Quesada, A., Santos Peñas, M., & Tomás Rodríguez, M. (2023). Tuning structural control devices with genetic algorithms for a floating wind turbine. *Instrumentation Viewpoint*, 22, 25–26. (MARTECH 2023).

Ramírez, A.; Tomás-Rodríguez, M.; Sierra-García, J.E.; Santos, M. Metaheuristic Optimized Semi-Active Structural Control Approaches for a Floating Offshore Wind Turbine. *Appl. Sci.* (2024), 14, 11368. <https://doi.org/10.3390/app142311368>

Bianchi, F. D., De Battista, H., & Mantz, R. J. (2007). *Wind Turbine Control Systems: Principles, Modelling and Gain Scheduling Design*. Springer.

Jonkman, J. (2007). Dynamics Modeling and Loads Analysis of an Offshore Floating Wind Turbine. NREL Technical Report NREL/TP-500-41958.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Diseño e implementación de un sistema de control con monitoreo IoT para una turbina eólica de baja escala
Title:	Design and implementation of a control system with IoT monitoring for a small-scale wind turbine
Tutor/es:	Matilde Santos
E-mail tutor/es:	msantos@ucm.es
Número de plazas	2
Tipo de TFG	Experimental <input checked="" type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo el diseño e implementación de un sistema de control para regular la velocidad de un prototipo físico de turbina eólica de baja escala, complementado con un sistema embebido de monitorización y generación de alertas remotas en tiempo real mediante tecnologías IoT.

El proyecto se enmarca en el ámbito de las energías renovables, permitiendo la integración de conocimientos de electrónica, teoría de control, instrumentación, comunicaciones y simulación en un sistema físico real.

Entre los objetivos específicos se incluyen:

(i) diseñar e implementar un controlador, basado en técnicas clásicas (por ejemplo, PID) y/o métodos de soft computing, capaz de regular la velocidad de rotación de la turbina y, en su caso, el ángulo de las palas en función de la velocidad del viento y de las condiciones de operación;

(ii) desarrollar un sistema embebido de adquisición de datos mediante sensores (velocidad del viento, voltaje, corriente, RPM) e integrar un microcontrolador con conectividad IoT (como ESP32 o similar);

(iii) diseñar una plataforma de monitorización remota que permita la visualización en tiempo real de variables del sistema y la interacción con el controlador;

(iv) implementar un sistema de alertas automáticas ante condiciones críticas (por ejemplo, sobrevelocidad o pérdida de señal);

y (v) validar experimentalmente el funcionamiento del sistema completo sobre un prototipo de turbina eólica de baja escala.

METODOLOGÍA:

La metodología se estructurará en dos líneas de desarrollo diferenciadas pero complementarias.

La primera se centrará en el modelado, simulación e implementación del sistema de control: revisión bibliográfica, desarrollo de un modelo de la turbina, diseño y ajuste de controladores en entorno de simulación, e implementación y validación experimental en el prototipo físico.

La segunda se orientará al desarrollo del sistema embebido e IoT: selección e integración de sensores y microcontrolador, adquisición y procesamiento de datos, diseño de la arquitectura de comunicaciones, desarrollo de la plataforma de visualización remota y del sistema de alertas en tiempo real.

Ambas líneas incluirán fases de integración conjunta y validación experimental del sistema completo, así como reuniones periódicas con los tutores para el seguimiento del trabajo.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

- Tutorías con los profesores expertos en la materia.
- Se facilitará bibliografía sobre aplicación de sistemas de control y monitorización de aerogeneradores.
- Se recomendará el seguimiento de cursos para fortalecer el conocimiento sobre turbinas eólicas, así como el uso de software destinado a la tarea de control y monitorización.
- Se trabajará con una maqueta a pequeña escala de una turbina eólica.

BIBLIOGRAFÍA:

- M. Tomás-Rodríguez, and M. Santos. "Modelado y control de turbinas eólicas marinas flotantes." *Revista iberoamericana de automática e informática industrial* 16, no. 4 (2019): 381-390.
- Muñoz-Palomeque, E., Sierra-García, J. E., Santos, M. 2024. Intelligent control techniques for maximum power point tracking in wind turbines. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial* 21, 193-204. <https://doi.org/10.4995/riai.2024.21097>.
- O. O. Olatunji, P. A. Adedeji, N. Madushele, and T.-C. Jen. "Overview of digital twin technology in wind turbine fault diagnosis and condition monitoring." In *2021 IEEE 12th International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies (ICMIMT)*, pp. 201-207. IEEE, 2021.
- Park, J.; Kim, C.; Dinh, M.-C.; Park, M. Design of a Condition Monitoring System for Wind Turbines. *Energies* 2022, 15, 464. <https://doi.org/10.3390/en15020464>

- Damanik, N., Robiansyah, M. R., Apriliana, A., & Purba, S. (2019). Design of Energy Monitoring System for Small Scale Wind Turbine Applications. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 345, 012003.
doi:10.1088/1755-1315/345/1/012003



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Modelos generativos y aprendizaje automático aplicados a la monitorización y mantenimiento predictivo en turbinas eólicas
Title:	Generative models and machine learning applied to monitoring and predictive maintenance in wind turbines
Tutor/es:	Matilde Santos Peñas
E-mail tutor/es:	msantos@ucm.es
Número de plazas	1
Tipo de TFG	Experimental <input type="checkbox"/> Bibliográfico <input checked="" type="checkbox"/> Simulación <input type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es realizar un estudio del estado del arte sobre la aplicación de técnicas de aprendizaje automático, con especial énfasis en modelos generativos, al análisis de datos en turbinas eólicas, en el contexto de la monitorización, el mantenimiento predictivo y la extensión de la vida útil de estos sistemas.

Se prestará especial atención a cómo estos modelos permiten caracterizar el funcionamiento normal de la turbina y detectar desviaciones asociadas a fallos incipientes.

De manera específica, se pretende:

- (i) revisar los fundamentos de modelos como autoencoders, modelos de difusión y otras arquitecturas generativas;
- (ii) analizar su aplicación sobre datos típicos de turbinas eólicas (SCADA, vibraciones, variables eléctricas y mecánicas);
- (iii) estudiar su papel dentro de sistemas de monitorización basados en sensores y adquisición de datos;
- (iv) evaluar sus ventajas, limitaciones e interpretabilidad en escenarios reales de operación y mantenimiento.

METODOLOGÍA:

La metodología se basará en una revisión bibliográfica sistemática de la literatura reciente sobre aprendizaje automático aplicado a turbinas eólicas.

Se realizará una clasificación de los trabajos según el tipo de modelo, tipo de datos utilizados y aplicación (detección de anomalías, diagnóstico de fallos, predicción de degradación).

Se llevará a cabo un análisis crítico comparativo de las distintas aproximaciones en términos de precisión, robustez e implementación práctica en sistemas de monitorización.

De forma opcional, se podrá incluir la reproducción simplificada de un caso de estudio con datos abiertos, analizando el flujo completo desde la adquisición de datos hasta la detección de anomalías.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Tutorías con la profesora y con investigadores expertos en la materia.

Estudio guiado de algunas técnicas de Machine Learning y Deep Learning para la predicción de anomalías.

Se aconsejará hacer algún curso online sobre estas técnicas

Se aconsejará también algún curso tutorial sobre el comportamiento de las turbinas eólicas.

BIBLIOGRAFÍA:

Tu, N. M., & Nilsson, E. (2024). Health Monitoring and Predictive Maintenance of Wind Turbines Using Generative Artificial Intelligence. *Energy Syst.*, 4, 46-58.

Udo, W. S., Kwakye, J. M., Ekechukwu, D. E., & Ogundipe, O. B. (2024). Optimizing wind energy systems using machine learning for predictive maintenance and efficiency enhancement. *Journal of Renewable Energy Technology*, 28(3), 312-330.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Plataformas Semisumergibles de Aerogeneradores Flotantes
Title:	Semisubmersible Floating Wind Turbine Platforms
Tutor/es:	Matilde Santos / Payam Aboutalebi
E-mail tutor/es:	msantos@ucm.es / payamabo@ucm.es
Número de plazas	1
Tipo de TFG	Experimental <input type="checkbox"/> Bibliográfico <input checked="" type="checkbox"/> Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo principal de este proyecto es analizar, simplificar y modelar el comportamiento dinámico de plataformas flotantes semisumergibles de aerogeneradores marinos.

El/la estudiante desarrollará una representación matemática simplificada del sistema basada en principios físicos fundamentales. En particular, el movimiento de la plataforma se describirá mediante modelos lineales construidos a partir de conceptos básicos como masa, amortiguamiento y rigidez.

El proyecto se centrará en comprender cómo el comportamiento dinámico de sistemas complejos puede aproximarse mediante enfoques lineales. Se considerarán diferentes condiciones de operación y excitaciones externas (como fuerzas periódicas que representen el oleaje) para estudiar la respuesta del sistema.

Se realizarán simulaciones numéricas utilizando MATLAB para implementar los modelos desarrollados y analizar su comportamiento. El/la estudiante generará e interpretará resultados en términos de respuesta del sistema, estabilidad y sensibilidad a parámetros clave.

Finalmente, el proyecto tiene como objetivo proporcionar una comprensión clara del comportamiento dinámico de sistemas flotantes y de la utilidad de técnicas de modelado simplificado en el análisis de ingeniería.

METODOLOGÍA:

El proyecto comenzará con una introducción a los principios básicos de los sistemas dinámicos, con especial atención al movimiento oscilatorio y a las fuerzas que actúan sobre estructuras flotantes.

A continuación, se desarrollará un modelo simplificado de una plataforma flotante semisumergible de aerogenerador marino utilizando conceptos físicos fundamentales. El sistema se representará mediante un enfoque lineal basado en parámetros de masa, amortiguamiento y rigidez.

Una vez definido el modelo matemático, se implementará utilizando MATLAB (o alternativamente Python). El/la estudiante simulará la respuesta del sistema ante diferentes condiciones de excitación, como fuerzas periódicas que representen la acción del oleaje.

Los resultados se analizarán mediante representaciones gráficas, lo que permitirá estudiar la influencia de parámetros clave (como el amortiguamiento o la rigidez) en el comportamiento del sistema. Se podrán realizar comparaciones básicas entre distintos supuestos de modelado para evaluar la validez del enfoque simplificado.

El desarrollo del proyecto estará acompañado por reuniones periódicas con los tutores y concluirá con la elaboración de una memoria final y su correspondiente defensa oral.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

El/la estudiante recibirá formación en los siguientes aspectos:

1. Fundamentos de sistemas dinámicos y oscilaciones. Modelado matemático de sistemas físicos sencillos
2. Uso de herramientas de simulación como MATLAB
3. Análisis e interpretación de resultados mediante representaciones gráficas
4. Búsqueda y revisión de bibliografía científica básica

Estas actividades se desarrollarán mediante material proporcionado por los tutores, recursos online (tutoriales y vídeos) y sesiones de seguimiento periódicas.

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.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Simulación de entornos heterogéneos con Gem5
Title:	Simulation of heterogeneous environments with Gem5
Tutor/es:	Christian Tenllado van der Reijden y Manuel Prieto Matías
E-mail tutor/es:	tenllado@ucm.es y mpmatias@ucm.es
Número de plazas	1
Tipo de TFG	Experimental <input checked="" type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es emplear el simulador gem5 para el estudio y análisis de arquitecturas heterogéneas, explorando distintos aspectos, configuraciones y comportamientos de los sistemas implicados. Para ello, se pretende utilizar este entorno de simulación como herramienta de apoyo para comprender cómo se organizan y funcionan este tipo de arquitecturas, así como para evaluar su comportamiento bajo diferentes condiciones de ejecución.

En particular, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Analizar las capacidades de gem5 para modelar arquitecturas heterogéneas, incluyendo sistemas multinúcleo, arquitecturas con aceleradores y configuraciones que integren distintos tipos de unidades de procesamiento. Este análisis permitirá valorar el grado de flexibilidad del simulador y su adecuación para representar sistemas hardware complejos.
- Caracterizar las simulaciones realizadas tomando como referencia distintas métricas de rendimiento, tales como tiempos de ejecución, número de instrucciones, ciclos de simulación, utilización de recursos u otros parámetros relevantes proporcionados por el propio simulador. Con ello, se busca obtener una visión más precisa del comportamiento de las arquitecturas estudiadas.
- Proporcionar un entorno de simulación flexible, configurable y reutilizable que sirva como base para estudios posteriores o futuras ampliaciones. Este entorno deberá facilitar la modificación de parámetros arquitectónicos, la incorporación de nuevas configuraciones y la comparación entre distintos escenarios de simulación.

METODOLOGÍA:

El trabajo se desarrollará siguiendo una metodología experimental y progresiva, que combinará el estudio de fundamentos teóricos con la implementación práctica de simulaciones en Gem5:

- Revisión bibliográfica y técnica sobre sistemas heterogéneos y capacidades del simulador Gem5.
- Instalación, configuración y validación de gem5, comenzando con configuraciones simples y avanzando hacia sistemas multicore y entornos con GPU.
- Diseño de escenarios de simulación heterogéneos, incluyendo configuraciones con aceleradores u otros elementos especializados.
- Ejecución de simulaciones y recogida de métricas de rendimiento, latencia, uso de memoria y comportamiento general del sistema.
- Estudio de la co-emulación QEMU-gem5 como posible complemento al entorno de simulación.
- Análisis comparativo de resultados, discusión de conclusiones y propuesta de futuras líneas de trabajo.

El desarrollo será progresivo y modular, de manera que el alcance del trabajo pueda ajustarse en función del tiempo disponible, la complejidad técnica encontrada y los intereses específicos del/la estudiante. Esta organización permitirá obtener resultados parciales útiles en cada fase, al mismo tiempo que se mantiene abierta la posibilidad de ampliar el entorno de simulación con nuevas configuraciones o experimentos.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

- Estudio autónomo sobre arquitectura de computadores, aceleradores vectoriales/GPUs y simulación por software.
- Lectura y análisis de documentación técnica de Gem5 y Qemu.
- Desarrollo práctico de simulaciones con Gem5.
- Redacción de informes parciales y documentación del entorno experimental.
- Preparación de la memoria final del TFG y defensa pública del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA:

[1] N. Binkert et al., "The gem5 simulator," ACM SIGARCH Computer Architecture News, vol. 39, no. 2, pp. 1–7, 2011, doi: 10.1145/2024716.2024718.

[2] J. Lowe-Power et al., "The gem5 Simulator: Version 20.0+," arXiv preprint arXiv:2007.03152, 2020.

[3] The gem5 Project, "gem5 Documentation." [Online]. Available: documentación oficial de gem5. Accessed: Apr. 29, 2026.

[4] J. L. Hennessy and D. A. Patterson, *Computer Architecture: A Quantitative Approach*, 6th ed. Cambridge, MA, USA: Morgan Kaufmann, 2017.

[5] A. Gutierrez et al., "Lost in Abstraction: Pitfalls of Analyzing GPUs at the Intermediate Language Level," in *Proc. 2018 IEEE International Symposium on High Performance Computer Architecture (HPCA)*, Vienna, Austria, 2018, pp. 608–619, doi: 10.1109/HPCA.2018.00058.

[6] F. Bellard, "QEMU, a Fast and Portable Dynamic Translator," in *Proc. USENIX Annual Technical Conference, FREENIX Track*, Anaheim, CA, USA, 2005, pp. 41–46.

[7] C. Liu, "cosim-gpu: A QEMU + gem5 co-simulation framework for AMD MI300X GPU research," GitHub repository. [Online]. Accessed: Apr. 29, 2026



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Optimización de Procesado de Señal mediante Arquitecturas Reconfigurables (CGRA)
Title:	Signal Processing Optimization via Coarse-Grained Reconfigurable Architectures (CGRA)
Tutor/es:	Fernando Castro Rodríguez / María José Belda Beneyto
E-mail tutor/es:	fcastror@ucm.es / mbelda@ucm.es
Número de plazas	1
Tipo de TFG	Experimental <input checked="" type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

Objetivo General: Diseñar y evaluar un conjunto de funciones de álgebra lineal (BLAS) optimizadas para una arquitectura reconfigurable de grano grueso (CGRA), enfocadas a la aceleración de algoritmos de procesamiento de señal en comunicaciones inalámbricas.

Objetivos Específicos:

Estudiar la arquitectura CGRA de referencia (OpenEdgeCGRA[1]) y sus herramientas de mapeo de datos (Compigra[2]).

Identificar y seleccionar los kernels de BLAS[3] (Nivel 1 y 2) críticos en aplicaciones de comunicaciones[4].

Diseñar el flujo de datos (dataflow) y las estrategias de paralelización para operaciones matriz-vector y vector-vector sobre la malla de la CGRA.

Comparar el rendimiento (GFLOPS) de la solución frente a arquitecturas convencionales (CPU/DSP).

METODOLOGÍA:

Se seguirá una metodología de diseño hardware-software iterativa:

Fase de Análisis: Revisión bibliográfica sobre CGRAs y funciones BLAS. Selección del escenario de comunicaciones (ej. filtrado adaptativo).

Fase de Modelado: Implementación de las funciones en un lenguaje de alto nivel (C/C++) para obtener una referencia de oro (Golden Model).

Fase de Mapeo y Diseño: Uso de herramientas de compilación o simuladores específicos de CGRA para mapear las operaciones en la matriz de unidades funcionales.

Fase de Simulación y Benchmarking: Ejecución de pruebas para medir ciclos de reloj, latencia y consumo.

Fase de Documentación: Redacción de la memoria y análisis crítico de resultados.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

Tutorías semanales: Reuniones de seguimiento para resolver dudas técnicas sobre la arquitectura y el progreso del diseño.

Autoaprendizaje guiado: Estudio de documentación técnica sobre arquitecturas reconfigurables y estándares de álgebra lineal.

Manejo de herramientas específicas: Formación en simuladores de arquitectura (CGRA-ME[5] o similares) y herramientas de análisis de rendimiento.

Redacción técnica: Elaboración de la memoria del proyecto y presentaciones parciales de resultados.

BIBLIOGRAFÍA:

[1] Álvarez, R. R., Denkinger, B., Sapriza, J., Calero, J. M., Ansaloni, G., & Alonso, D. A. (2023, May). An open-hardware coarse-grained reconfigurable array for edge computing. In Proceedings of the 20th ACM International Conference on Computing Frontiers (pp. 391-392).

[2] Wang, Y., Tirelli, C., Ansaloni, G., Pozzi, L., & Atienza, D. (2025). An MLIR-Based Compilation Framework for Control Flow Management on Coarse Grained Reconfigurable Arrays. arXiv preprint arXiv:2508.02167.

[3] Blackford, L. S., Petitet, A., Pozo, R., Remington, K., Whaley, R. C., Demmel, J., ... & Heroux, M. (2002). An updated set of basic linear algebra subprograms (BLAS). ACM Transactions on Mathematical Software, 28(2), 135-151.

[4] Tse, D., & Viswanath, P. (2005). Fundamentals of wireless communication. Cambridge university press.

[5] Chin, S. A., Sakamoto, N., Rui, A., Zhao, J., Kim, J. H., Hara-Azumi, Y., & Anderson, J. (2017, July). CGRA-ME: A unified framework for CGRA modelling and exploration. In 2017 IEEE 28th international conference on application-specific systems, architectures and processors (ASAP) (pp. 184-189). IEEE.



GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA DE COMUNICACIONES

Curso 2026-27

Ficha de Trabajo Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática
Título:	Simulación y análisis de aplicaciones vectoriales RISC-V con XS-GEM5
Title:	Simulation and Analysis of RISC-V Vector Applications with XS-GEM5
Tutor/es:	Daniel Chaver y Manuel Prieto Matías
E-mail tutor/es:	dany02@ucm.es y mpmatias@ucm.es
Número de plazas	1
Tipo de TFG	Experimental <input checked="" type="checkbox"/> Bibliográfico <input type="checkbox"/> Simulación <input checked="" type="checkbox"/>
Asignación de TFG:	Asignación Directa <input checked="" type="checkbox"/> Asignación por expediente <input type="checkbox"/>

OBJETIVOS:

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es utilizar el simulador XS-GEM5, desarrollado a partir de gem5 dentro del ecosistema OpenXiangShan, para estudiar el comportamiento de aplicaciones o kernels que hagan uso del repertorio vectorial RISC-V Vector Extension (RVV). En particular, se pretende analizar cómo distintos parámetros relacionados con la memoria y la jerarquía de almacenamiento influyen en el rendimiento de cargas vectoriales.

XS-GEM5 resulta especialmente adecuado para este trabajo, ya que se presenta como un simulador full-system basado en gem5 para procesadores RISC-V XiangShan, con modelos calibrados frente al RTL de XiangShan Nanhu/Kunminghu y soporte orientado a microarquitecturas de alto rendimiento. Además, su documentación indica que incluye calibración de backend, jerarquía de caché, latencias, prefetchers y soporte RVV mayoritariamente calibrado.

En particular, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar las capacidades de XS-GEM5 para simular sistemas RISC-V de alto rendimiento, prestando especial atención a las configuraciones basadas en XiangShan y a las posibilidades que ofrece para ejecutar cargas en modo full-system.
- Analizar el soporte del repertorio vectorial RVV dentro del entorno de simulación, identificando las características disponibles, las limitaciones prácticas y los parámetros configurables relacionados con la ejecución de instrucciones vectoriales.
- Diseñar y ejecutar un conjunto de pruebas vectoriales representativas, basadas en

kernels sencillos como suma de vectores, producto escalar, copia de memoria, operaciones tipo SAXPY, reducción, multiplicación de matrices simplificada o recorridos sobre arrays de distinto tamaño.

- Evaluar el impacto de parámetros de memoria en el rendimiento, tales como latencia de acceso a memoria, tamaño de memoria disponible, tamaños de caché, ancho de banda, comportamiento de la jerarquía de memoria y posibles mecanismos de prefetching.

- Caracterizar el rendimiento de las cargas RVV mediante métricas como tiempo de ejecución simulado, ciclos, instrucciones ejecutadas, IPC, tasa de fallos de caché, accesos a memoria, stalls, utilización de unidades funcionales y contadores de rendimiento disponibles.

- Comparar diferentes configuraciones arquitectónicas y de memoria, con el fin de identificar qué parámetros tienen mayor influencia en cargas vectoriales y en qué casos el rendimiento está limitado por cómputo, memoria o comportamiento de la jerarquía de caché.

- Proporcionar un entorno de simulación reproducible y extensible, que pueda servir como base para futuros estudios sobre RVV, arquitecturas RISC-V de alto rendimiento o exploración de diseño arquitectónico.

METODOLOGÍA:

La metodología se organizará en las siguientes fases:

- Revisión bibliográfica sobre RISC-V, RVV, arquitecturas vectoriales, gem5 y OpenXiangShan.
- Instalación, compilación y validación inicial de XS-GEM5.
- Preparación del toolchain para compilar programas RISC-V con instrucciones RVV.
- Diseño de microbenchmarks vectoriales representativos.
- Definición de escenarios de simulación modificando parámetros de memoria y jerarquía de caché.
- Ejecución de simulaciones y recogida sistemática de métricas.
- Análisis comparativo de resultados y detección de cuellos de botella.
- Documentación del entorno desarrollado para facilitar su reutilización en trabajos futuros.

El desarrollo será progresivo y modular, de forma que el alcance pueda ajustarse en función del tiempo disponible. En una primera fase se priorizará la ejecución correcta de cargas RVV simples; posteriormente se ampliará el estudio hacia configuraciones de memoria más complejas y análisis de rendimiento más detallados.

ACTIVIDADES FORMATIVAS:

- Estudio autónomo sobre arquitectura de computadores, aceleradores vectoriales/GPUs y simulación por software.
- Lectura y análisis de documentación técnica de XS-Gem5.
- Desarrollo práctico de simulaciones con XS-Gem5.

- Redacción de informes parciales y documentación del entorno experimental.
- Preparación de la memoria final del TFG y defensa pública del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA:

- [1] N. Binkert et al., "The gem5 simulator," ACM SIGARCH Computer Architecture News, vol. 39, no. 2, pp. 1–7, 2011, doi: 10.1145/2024716.2024718.
- [2] J. Lowe-Power et al., "The gem5 Simulator: Version 20.0+," arXiv preprint arXiv:2007.03152, 2020.
- [3] The gem5 Project, "gem5: The gem5 simulator system," official project documentation. Accessed: Apr. 29, 2026.
- [4] The XiangShan Team, "XS-GEM5: A gem5-based full-system RISC-V simulator for XiangShan," OpenXiangShan/GEM5 repository. Accessed: Apr. 29, 2026.
- [5] The XiangShan Team, "XiangShan Open-Source Processor User Guide," documentation for XiangShan Kunminghu. Accessed: Apr. 29, 2026.
- [6] Y. Xu et al., "Towards Developing High Performance RISC-V Processors Using Agile Methodology," in Proc. 55th IEEE/ACM International Symposium on Microarchitecture (MICRO), 2022.
- [7] RISC-V International, "RISC-V 'V' Vector Extension, Version 1.0," specification document, 2021.
- [8] M. Perotti, M. Cavalcante, N. Wistoff, R. Andri, L. Cavigelli, and L. Benini, "A 'New Ara' for Vector Computing: An Open Source Highly Efficient RISC-V V 1.0 Vector Processor Design," in Proc. IEEE International Conference on Application-specific Systems, Architectures and Processors (ASAP), 2022, doi: 10.1109/ASAP54787.2022.00017.