



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática	
Título:	Creación de Gemelos Digitales para la simulación y control de manipuladores robóticos o robots móviles	
Title:	Creation of Digital Twins for Robotics Applications	
Supervisor/es:	Jesús Chacón Sombría	
E-mail supervisor/es	jeschaco@ucm.es	
Número de plazas:	2	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

Un gemelo digital es una réplica virtual de un objeto, sistema o proceso del mundo real, que puede ser utilizado para simular su comportamiento y optimizar su rendimiento. El gemelo digital se crea a partir de datos del mundo real, como información de sensores, modelos matemáticos y datos de simulación, y se utiliza software especializado para crear la réplica virtual. Una vez que se ha creado el gemelo digital, se pueden realizar pruebas y simulaciones para comprender cómo se comportará el objeto o sistema en diferentes situaciones que en el sistema real serían más difíciles o costosas de reproducir.

El objetivo de este trabajo es desarrollar un gemelo digital funcional del manipulador robótico o robot móvil seleccionado, en un software de simulación como Gazebo o similar, que pueda ser utilizado para predecir su comportamiento en diferentes situaciones.

Para interactuar con el gemelo digital, se definirá una interfaz de control manual que permita el control directo y una interfaz de programación basada en un lenguaje de uso general como JavaScript o Python.

Metodología:

El TFG comenzará con la selección de un robot manipulador o móvil que será utilizado como caso de estudio. Se desarrollará un modelo matemático para representar el comportamiento del robot en el mundo real utilizando software de simulación para crear el gemelo digital. Se realizará la interfaz de control manual y mediante

programación, y finalmente se probarán diferentes escenarios y se analizarán los resultados obtenidos.

Bibliografía:

[1] Li, H., Yang, Z., Li, B., Wei, H., & Li, J. (2021). Digital twin technology in the development of robot manipulators: A review. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 68, 102074.



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática	
Título:	Diseño y simulación de circuitos neuromórficos para IA con memristores	
Title:	Design and simulation of neuromorphic circuits for AI with memristors	
Supervisor/es:	Guillermo Botella	
E-mail supervisor/es	gbotella@ucm.es	
Número de plazas:	2	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

El memristor es un dispositivo no lineal cuya resistencia actual depende de la cantidad de carga eléctrica que ha fluído en el pasado, y en qué dirección. El dispositivo recuerda su historia, la llamada propiedad de no-volatilidad. Por otra parte, cuando el suministro de energía eléctrica es desconectado, el memristor recuerda su resistencia más reciente, hasta que vuelva a ser encendido.

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.

Estas características pueden ser especialmente beneficiosas en aplicaciones de inteligencia artificial y aprendizaje profundo. En este TFG vamos a aprovechar las propiedades descritas anteriormente de este dispositivo para realizar pruebas de conceptos sencillas, pero novedosas que aprovechen las oportunidades de la computación analógica en el ámbito de la IA, específicamente las redes neuronales. Se podrá trabajar bien con placas experimentales, con simuladores analógicos o con lenguajes de alto nivel (Python o similar) dependiendo del perfil de origen de el/los estudiante/s.

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 concepto de la implementación de varias CNNs con estímulos y datasets validados por la comunidad científica.

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, Hoang Anh Du Nguyen, Jintao Yu, Rajendra Bishnoi, Mottaqiallah Taouil, Francky Catthoor, and Said Hamdioui. 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., Shi, W., Zhou, Y., Tang, H., & Duan, S. (2022). Quantized and adaptive memristor based CNN (QA-mCNN) for image processing. *Science China Information Sciences*, 65(1), 119104.

<https://knowm.org/memristors/>



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática	
Título:	Implementación Cuántica de Problemas NP modelados como Hamiltonianos de Ising	
Title:	Quantum Implementation of NP Problems modeled as Ising Hamiltonians	
Supervisor/es:	Alberto A. del Barrio y Guillermo Botella	
E-mail supervisor/es	abarriog@ucm.es , gbotella@ucm.es	
Número de plazas:	2	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

El objetivo de este TFG es la implementación de problemas NP que puedan modelarse mediante Hamiltonianos de Ising [1]. 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 por medio de algún entorno de programación de computadores cuánticos, como por ejemplo Qiskit [2], Cirq [3], Braket [4] o Microsoft QDK [5], 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.
3. Programación de algoritmos y simulación local con pocos qubits.
4. Simulación en la nube con mayor número de qubits (hasta 30 aproximadamente).

Bibliografía:

[1] Lucas A (2014) Ising formulations of many NP problems. Front. Physics 2:5. doi: 10.3389/fphy.2014.00005

- [2] <https://qiskit.org/textbook/preface.html>
- [3] <https://quantumai.google/cirq>
- [4] <https://docs.aws.amazon.com/braket/index.html>
- [5] <https://azure.microsoft.com/es-es/resources/development-kit/quantum-computing/>



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática	
Título:	Análisis y simulación de maniobras orbitales a la Luna con propulsión eléctrica	
Title:	Analysis and simulation of orbital maneuvers to the Moon with electric propulsion	
Supervisor/es:	Segundo Esteban San Román	
E-mail supervisor/es	sesteban@ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

Se debe realizar una revisión del estado del arte de las típicas maniobras orbitales que se utilizan para alcanzar la órbita lunar. Se deben analizar el estado tecnológico de la propulsión eléctrica, sus ventajas y limitaciones de cara a este tipo de maniobras con pequeñas naves espaciales. Finalmente se debe diseñar y simular el control orbital de una misión de bajo coste que haga la transferencia orbital para alcanzar la luna.

Metodología:

Analizar el estado del arte.
Analizar el estado de la tecnología.
Definir un caso de aplicación con nanosatélites.
Simular el caso de aplicación.

Bibliografía:

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

Matlab y Simulink

<https://es.mathworks.com/products/aerospace-toolbox.html>

<https://es.mathworks.com/products/aerospace-blockset.html#spacecraft-simulation>



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática	
Título:	Monitorización automática de aguas embalsadas mediante vehículos autónomos de superficie	
Title:	Automatic monitoring of lentic waters using autonomous surface vehicles	
Supervisor/es:	Gonzalo Carazo Barbero, Eva Besada Portas	
E-mail supervisor/es	gocarazo@ucm.es , ebesada@ucm.es	
Número de plazas:	2	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

El agua potable es un recurso limitado, amenazado por su mal uso y numerosos factores ambientales, cuya fragilidad se encuentra exacerbada por las inundaciones y sequías extremas asociadas al cambio climático. Para determinar la presencia de contaminantes biológicos naturales (p.e. los afloramientos de cianobacterias que generan sustancias tóxicas secundarias y limitan el uso del agua con fines recreativos y de consumo) conviene que sea monitorizada, con una frecuencia temporal y resolución espacial pertinente, que permita a las autoridades alertar sobre su estado y gestionar el recurso hídrico de forma adecuada.

Los Vehículos Autónomos de Superficie (VAS, un tipo de embarcaciones automatizadas) facilitan estas labores de monitorización, si se equipan con sensores capaces de determinar el estado (p.e. pH, temperatura) del agua o la presencia de otras sustancias, y se desplazan sobre la masa de agua tomando las medidas en las localizaciones pertinentes. El grado de intervención humana requerida durante el proceso depende de la autonomía de los VAS, que es soportada, parcialmente, por los planificadores de las trayectorias que deben seguir los VAS, los controladores que adaptan su comportamiento a las medidas realizadas y los simuladores que estiman la localización más probables del afloramiento de cianobacterias.

Este Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo que el alumno del Grado en Físicas participe en el desarrollo y en la integración de alguno/algunos de los subsistemas anteriormente mencionados, es decir, en el desarrollo y la integración de:

- Modelado del comportamiento de los VAS y de los sensores que utilice para determinar la calidad del agua.
- Modelado y simulación de diferentes aspectos que rigen el comportamiento dinámico del afloramiento del Bloom (p.e. crecimiento biológico de las cianobacterias, desplazamiento vertical, desplazamiento debido al viento).
- Desarrollo de un sistema automático de control o de planificación para que los VAS se desplacen de forma adecuada mientras monitorizan la calidad del agua.

En cualquiera de los casos anteriores, el alumno deberá implementar los modelos en Matlab o Python, y analizar el funcionamiento del subsistema desarrollado mediante simulaciones.

Metodología:

Para realizar el trabajo propuesto el alumno deberá seguir los siguientes pasos:

- 1.- Estudio y análisis del problema de la monitorización de masas de agua con contaminantes biológicos. Se le ofrecerá al alumno, por parte de los tutores del trabajo, todo el material necesario para ello.
- 2.- Modelado matemático del comportamiento de los subsistemas elegidos para la realización del TFG.
- 3.- Implementación computacional de los modelos o subsistemas elegidos mediante Matlab o Python.
- 4.- Análisis, mediante simulaciones, del comportamiento de los algoritmos implementados frente a diferentes escenarios de contaminación.

Bibliografía:

- E. Besada-Portas, J.M. Girón-Sierra, J Jiménez, J.A. López-Orozco (2021). Data-Driven Exploration of Lentic Water Bodies with ASVs Guided by Gradient-Free Optimization/Contour Detection Algorithms. Proceedings of the 2021 Winter Simulation.
- S. Ferrero-Losada, E. Besada-Portas, J.L. Risco-Martín, J.A. López-Orozco (2023). DEVS-Based Modelling and Simulation of Data Driven Exploration Algorithms of Lentic Water Bodies with an ASV. To appear in Proceedings of the 2023 Annual Modeling and Simulation Conference (ANNSIM).
- G. Carazo-Barbero, E. Besada-Portas, J.M. Girón-Sierra, J.A. López-Orozco. 2021. "EA-Based ASV Trajectory Planner for Pollution Detection in Lentic Waters". EvoStar.
- G. Carazo-Barbero, E. Besada-Portas, J.L. Risco-Martín, J.A. López-Orozco. 2023. "G. Carazo-Barbero, E. Besada-Portas, J.M. Girón-Sierra, J.A. López-Orozco. 2021. "EA-based ASV Trajectory Planner for Detecting Cyanobacterial Blooms in Freshwater". To Appear in the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO).



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática	
Título:	Modelado hidrodinámico de un embalse mediante las ecuaciones de Navier-Stokes.	
Title:	Hydrodynamic modeling of a reservoir using the Navier-Stokes equations	
Supervisor/es:	José A. López Orozco, Eva Besada Portas	
E-mail supervisor/es	jalo@ucm.es , ebesada@ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

El agua potable es un recurso limitado, amenazado por su mal uso y numerosos factores ambientales, cuya fragilidad se encuentra exacerbada por las inundaciones y sequías extremas asociadas al cambio climático. Uno de los contaminantes biológicos naturales que pueden darse en una masa de agua, como por ejemplo un embalse, son los afloramientos de cianobacterias que generan sustancias tóxicas secundarias y limitan el uso del agua con fines recreativos y de consumo.

Las cianobacterias tienen dos movimientos principales: (1) suben y bajan para alimentarse y realizar la fotosíntesis; y (2) se desplazan debido al movimiento del agua provocado por las corrientes de la masa de agua y el efecto del viento. Por lo tanto, conocer las corrientes que se producen en el cuerpo de agua permite predecir el movimiento de las cianobacterias y anticipar dónde se pueden encontrar en cierto instante de tiempo de modo para tomar las decisiones de actuación más adecuadas.

Para construir un modelo y simular un fluido, como es el agua de un embalse, se pueden utilizar las ecuaciones de Navier-Stokes, que son muy utilizadas, entre otros, en los campos de la Ingeniería, de la Meteorología, de la Química, de la Oceanografía. Más en concreto, son un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales que describen el comportamiento del movimiento de un fluido, asegurando la conservación de la masa y del momento lineal.

Este Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo que el alumno del Grado en Físicas estudie las ecuaciones de Navier-Stokes y desarrolle un modelo del flujo de agua de un embalse a partir de la entrada y salida de agua en diferentes puntos, para predecir las corrientes de agua existentes en la masa de agua.

Metodología:

Para realizar el trabajo propuesto el alumno deberá seguir los siguientes pasos:

- 1.- Estudiar y analizar las ecuaciones de Navier-Stokes aplicables a un líquido incompresible como es el agua.
- 2.- Estudiar diferentes métodos de resolución de las ecuaciones, tanto aproximados como exactos, que existen en la literatura.
- 3.- Escoger un método de resolución y aplicarlo al modelado hidrodinámico del comportamiento del agua en un embalse con varios puntos de entrada y de salida del agua.
- 4.- Implementación computacional del método elegido mediante Matlab o Python.
- 5.- Análisis, mediante simulaciones, del adecuado funcionamiento del modelo y del comportamiento de la masa de agua.

Bibliografía:

Algunos ejemplos de métodos de resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes se pueden encontrar en los siguientes enlaces.

- RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes): <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037704271300294X>
- LES (Large Eddy Simulation): https://www.researchgate.net/publication/26408917_Simulations_of_incompressible_fluid_flows_by_a_least_squares_finite_element_method
- Método de volúmenes finitos: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021999110004766>



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



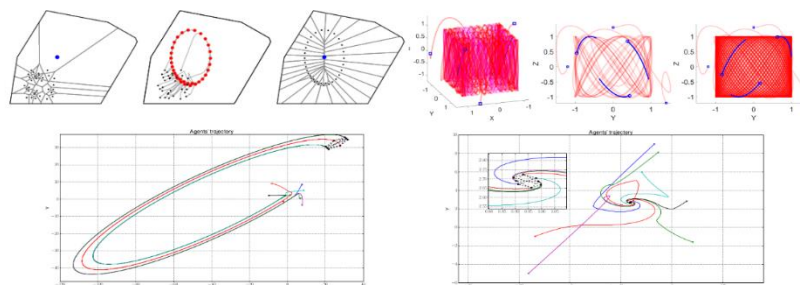
Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática	
Título:	Control de sistemas multiagente y sus aplicaciones	
Title:	Control of multi-agent systems and their applications	
Supervisor/es:	Lía García Pérez, Juan Jiménez	
E-mail supervisor/es	liagar05@ucm.es, juan.jimenez@fis.ucm.es	
Número de plazas:	3	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

El objetivo principal del trabajo es introducirse al estudio de los sistemas dinámicos multiagente con su aplicación en el control distribuido de enjambres. Entre otras muchas aplicaciones, estos sistemas se pueden explotar para caracterizar campos escalares por ejemplo, para la búsqueda y confinamiento de fuentes de contaminación, para barrer grandes volúmenes en operaciones de búsqueda y rescate, o para coordinar robots en tareas de vigilancia.

La propuesta de este TFG se centra en confeccionar algoritmos fundamentales (ver bibliografía) en multiagentes para alguna de las aplicaciones arriba nombradas. En particular, se hará explotando las garantías y propiedades matemáticas de los algoritmos. Estas decisiones incluyen qué topología escoger para el grafo del enjambre, qué información local han de compartir o medir los agentes, cuál es su dinámica, etc. Finalmente, analizar los pros y contras a la hora de implementar el algoritmo para alcanzar el objetivo de la aplicación.



Sobre el aspecto técnico, este TFG requiere que el alumno se centre en dos componentes principales. Primero, sobre la teoría de grafos (fundamentalmente álgebra lineal) que describe las interacciones locales entre los agentes. Segundo, sobre ecuaciones diferenciales ya que los agentes son dinámicos y sus estados

evolucionan en el tiempo. En particular, los agentes evolucionan al tomar decisiones principalmente basadas en los estados relativos con sus vecinos en el grafo. La combinación de estas dos componentes se aborda en la asignatura *Sistemas dinámicos y realimentación* de cuarto año en el grado de física y doble grado de física y matemáticas, aunque cursarla **no** es un requisito necesario para realizar el TFG. Se utilizará Python y/o Matlab para validaciones numéricas.

Diferentes ilustraciones de algoritmos en sistemas multiagente para el control y coordinación de agentes móviles.

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] HG de Marina. ***Distributed formation maneuver control by manipulating the complex Laplacian***. Automatica, 2021. <https://arxiv.org/abs/2009.07625>
- [3] 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>
- [4] 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>
- [5] Kahn, Arthur, et al. ***Global extremum seeking by Kriging with a multi-agent system***. IFAC-PapersOnLine 48.28 (2015): 526-531. <https://hal.science/hal-01170131/document>



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

GRADO EN FÍSICA curso 2023-24



Ficha de Trabajo de Fin de Grado

Departamento:	Arquitectura de Computadores y Automática	
Título:	Estudio del control de pitch para aerogeneradores usando Matlab	
Title:	Pitch control study for wind turbines in Matlab	
Supervisor/es:	Lía García Pérez, Matilde Santos Peñas	
E-mail supervisor/es	liagar05@ucm.es, msantos@dacya.ucm.es	
Número de plazas:	1	
Asignación de TFG:	Selección directa <input checked="" type="checkbox"/>	Selección por expediente <input type="checkbox"/>

Objetivos:

El control de aerogeneradores sigue siendo un reto. Su principal dificultad desde el punto de vista del control es que debe cumplir varios objetivos simultáneamente.

El control de la turbina se realiza mediante diferentes acciones de control, principalmente el ángulo de paso (pitch), la velocidad angular del generador y el ángulo de guiñada.

El ángulo de pitch gira la superficie de la pala orientada hacia el viento, de modo que cuanto mayor sea el área barrida, más potencia mecánica. Se utiliza para regular la potencia de salida en torno a su valor nominal.

Este trabajo se centra en la región IV (región nominal o a plena carga), donde se debe reducir el efecto de la alta velocidad del viento para evitar daños en el sistema. En este caso, es necesario mantener la potencia del generador a su valor nominal. Esto se realiza mediante controladores que actúan sobre el ángulo de paso de las palas para modificar la aerodinámica del aerogenerador limitando así la energía extraída del viento.

Se proporcionará al estudiante un modelo en Simulink de la turbina para que pueda centrar su trabajo en el estudio de los controladores.

Metodología:

1. Estudio, guiado por los supervisores, de bibliografía relacionada con el control del ángulo de pitch de las turbinas eólicas.
2. Selección de diferentes algoritmos de control de pitch en turbinas eólicas.
3. Implementación y análisis comparativo del funcionamiento de los algoritmos en Matlab.

Bibliografía:

- [1] Pao, L. Y., & Johnson, K. E. (2009, June). **A tutorial on the dynamics and control of wind turbines and wind farms**. In 2009 American Control Conference (pp. 2076-2089). IEEE. https://colin-price.wbs.uni.worc.ac.uk/Courses_2020_21/Comp3352/Projects_Notes_Octave_UDK/WindTurbine/Tutorial.pdf
- [2] E. C. Navarrete, M. Trejo Perea, J. C. Jáuregui Correa, R. V. Carrillo Serrano and G. J. R. Moreno, **Expert Control Systems Implemented in a Pitch Control of Wind Turbine: A Review**, in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 13241-13259, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2892728.
- [3] Sierra-Garcia, J.E., Santos, M. **Deep learning and fuzzy logic to implement a hybrid wind turbine pitch control**. *Neural Comput & Applic* **34**, 10503–10517 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06323-w>
- [4] Apata, O., & Oyedokun, D. T. O. (2020). **An overview of control techniques for wind turbine systems**. *Scientific African*, *10*, e00566.