



ENGINEERING  
DRIVEN  
PEOPLE

## **CT concluye el proyecto IADGENOL sobre la automatización de las trayectorias de los sistemas AWE utilizando *Deep Learning*.**

- **Tras dos años de investigación, CT ha desarrollado con éxito un modelo de control basado en Deep Learning que aborda los desafíos dinámicos de las operaciones autónomas de los sistemas AWE.**
- **Los resultados de las últimas pruebas de validación en un entorno de simulación para el sistema de control AWES, han sido presentados en el Congreso Europeo AWES, AWEC2024, en Madrid, demostrando una precisa alineación con el viento y trayectorias óptimas de generación de energía.**

El proyecto IADGENOL se enmarca dentro de los campos de tecnologías AWES (Airborne Wind Energy Systems o energía eólica aerotransportada) y tecnologías de aprendizaje profundo e inteligencia artificial. En este proyecto se pretenden investigar y aplicar, desde el punto de vista del control automático, tecnologías de aprendizaje automático para el control de sistemas AWES utilizando datos procedentes tanto de un entorno de simulación como de una máquina AWES en operación.

AWES representa un enfoque innovador para aprovechar el viento en las capas altas de la atmósfera, pero enfrenta desafíos significativos, especialmente en cuanto a autonomía operativa. Actualmente, lograr un control autónomo robusto es uno de los principales obstáculos; los sistemas deben operar de forma completamente autónoma y soportar condiciones climáticas variables durante largos períodos. Para mejorar la adaptabilidad de los sistemas de control tradicionales, se ha estudiado el uso del aprendizaje automático y el aprendizaje por refuerzo.

El objetivo principal de la iniciativa IADGENOL fue la creación de un modelo de control basado en aprendizaje profundo para el control automático de trayectorias de sistemas AWE, así como el empleo de estos modelos para comprender y caracterizar los desafíos dinámicos a los que se enfrentan dichos sistemas. Este proyecto ha sido llevado a cabo íntegramente por CT utilizando sus propios recursos y la máquina de pruebas AWES compartida, disponible a través de un acuerdo de colaboración con la Universidad Carlos III de Madrid para el desarrollo de tecnologías AWES. Las tareas realizadas abarcan desde la investigación preliminar sobre el estado del arte, la minería de datos y su procesamiento para su posterior uso en el desarrollo de modelos, hasta el desarrollo mismo de los modelos basados en datos y del controlador.



ENGINEERING  
DRIVEN  
PEOPLE

Se han llegado a cabo pruebas de validación del sistema de control en la operación real. Como paso previo a estas pruebas el controlador ha sido entrenado en un entorno de simulación AWES desarrollado por CT. Los resultados de esta prueba, simulando un “aprendizaje natural” han resultado muy interesantes pues se ha comprobado que la cometa es capaz de alinearse con el viento y realizar figuras de ocho, que son las trayectorias normalmente utilizadas en este tipo de sistemas para maximizar la generación de energía.

Por otro lado, el paso de un entorno simulado a la implementación en condiciones reales no ha resultado completamente exitoso. Sin embargo, debido a los resultados alentadores obtenidos durante las simulaciones, se considera que el problema podría resolverse afinando los métodos de simulación actuales y creando entornos controlados de laboratorio que permitan entrenar estos algoritmos con un nivel de riesgo mínimo.

### **Resultados principales:**

Durante la ejecución del proyecto se han desarrollado tres líneas de investigación paralelas: un controlador basado en aprendizaje profundo (Deep Learning), un sistema de caracterización de la física de un sistema AWES y un Sistema de Predicción de Viento.

### **Para el controlador basado en *deep learning***

Se desarrolló un controlador utilizando algoritmos de aprendizaje por refuerzo profundo (DRL), de los que finalmente se escogió el basado en TD3 (Twin-Delayed Deep Deterministic Policy Gradient).

El controlador demostró un rendimiento estable al dirigir la cometa en trayectorias de ocho en un entorno simulado sin ráfagas de viento, aunque su efectividad se vio limitada por los vientos variables, debido a las restricciones del simulador. Más tarde, el controlador fue integrado con el sistema de control de la máquina AWES real y probado en condiciones reales. Aunque no se alcanzó un control eficiente de la cometa, debido a la falta de entrenamiento en un entorno real y las dificultades asociadas, se verificó la correcta integración del controlador con la máquina.



ENGINEERING  
DRIVEN  
PEOPLE

## Sistema de caracterización de la física

Se desarrollaron modelos dinámicos basados en redes neuronales para predecir la dinámica de vuelo del sistema. Estos modelos demostraron ser efectivos al predecir la dinámica en un horizonte temporal de 0.1 segundos. Sin embargo, la propagación de errores en las predicciones afectó al rendimiento del sistema en comparación con una trayectoria de referencia.

## Sistema de predicción de viento

Se desarrolló un sistema para predecir el viento a diferentes alturas utilizando datos meteorológicos de la superficie. Sin embargo, la evaluación de la precisión de las predicciones fue limitada debido a la falta de equipos de medición adecuados. A pesar de esto, el sistema fue integrado exitosamente en el controlador, lo que permitió la toma de decisiones en tiempo real.



Plan de  
Recuperación,  
Transformación  
y Resiliencia



Funded by  
the European Union  
NextGenerationEU

red.es



## Sobre IADGNOL

Este proyecto se engloba en la convocatoria de ayudas 2021 destinadas a proyectos de investigación y desarrollo en inteligencia artificial y otras tecnologías digitales y su integración en la cadena de valor. Con una financiación de 510k € concedida con fondos Next Generation de la Unión Europea, el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y la Secretaría de Estado de digitalización e inteligencia artificial. Referencia del proyecto 2021/C005/00148256.

## Sobre CT

CT es una empresa líder en ingeniería a lo largo de todo el ciclo de vida del producto. Durante más de 35 años, nuestra misión ha sido proporcionar servicios innovadores y soluciones tecnológicas que ayuden a nuestros clientes a ser más eficientes y competitivos. Hoy en día, el éxito de CT está impulsado por más de 2.000 ingenieros repartidos en siete países, que proporcionan servicio especializado integral a clientes líderes en los sectores aeronáutico, espacial, naval, automotriz, ferroviario, energético y de plantas industriales.

[www.ctengineeringgroup.com](http://www.ctengineeringgroup.com)