

# Jornadas de Automática

## De la abstracción a la acción: aprendizaje activo en Ingeniería de Control

Gonzalez-Cava, Jose M.<sup>a,\*</sup>, Torres Álvarez, Santiago<sup>a</sup>, Herrero-Álvarez, Rafael<sup>a</sup>, Hamilton Castro, Alberto<sup>a</sup>, Méndez Pérez, Juan Albino<sup>a</sup>.

<sup>a</sup> Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas, Universidad de La Laguna, La Laguna 38200, Tenerife, España.

**To cite this article:** Gonzalez-Cava, Jose M, Torres Álvarez, Santiago, Herrero Álvarez, Rafael, Hamilton Castro, Alberto, Méndez Pérez, Juan Albino. 2025. From abstraction to action: active learning in Control Engineering. Jornadas de Automática, 46. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2025.46.12142>

### Resumen

Este artículo presenta una experiencia docente basada en la integración del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) y el modelo de Aula Invertida en la enseñanza de asignaturas de Ingeniería de Control. La propuesta se articula en torno al uso de un dispositivo basado en TCLab, una maqueta de bajo coste para el control de temperatura, que permite al alumnado experimentar con sistemas físicos reales. El proyecto se estructura en hitos con entregas guiadas por material didáctico específico, incluyendo píldoras formativas, guiones, y plantillas de código en MATLAB. La evaluación de la experiencia mediante un cuestionario de satisfacción evidencia una valoración positiva por parte del alumnado, destacando la utilidad del enfoque práctico, la mejora en la comprensión de conceptos teóricos y el desarrollo de competencias aplicables al ámbito profesional. Los resultados refuerzan la viabilidad de esta metodología como modelo replicable para la mejora de la enseñanza en el ámbito de la Ingeniería de Control.

**Palabras clave:** Equilibrio entre formación teórica y práctica, Educación en control, Enseñanza de control mediante equipamiento de laboratorio, Métodos de identificación y control, Desarrollo de planes de estudio para ingenieros de control y otras disciplinas.

### From abstraction to action: active learning in Control Engineering

#### Abstract

This paper presents a teaching experience based on the integration of Project-Based Learning (PBL) and the Flipped Classroom model in the context of Control Engineering education. The approach is structured around the use of the TCLab-based device, a low-cost temperature control platform that enables students to work directly with real physical systems. The project is organized into milestones supported by tailored educational materials, including instructional videos, project guidelines and MATLAB code templates. Student feedback, collected through a satisfaction survey, indicates a positive perception of the methodology, highlighting the value of the practical component, improved understanding of theoretical concepts, and development of real-world engineering skills. The results support the scalability and transferability of this pedagogical approach to other courses within the field of Control Engineering.

**Keywords:** Balance issues of theoretical-versus-practical training, Control education, Control education using laboratory equipment, Identification and control methods, Teaching curricula developments for control and other engineers.

#### 1. Introducción

La Ingeniería de Control es una disciplina clave en numerosas ramas de la Ingeniería, incluyendo la robótica, mecánica o química industrial. Este carácter multidisciplinar requiere de la integración de diversas disciplinas como la electrónica, las comunicaciones, informática o el

procesamiento de señales. Para dar respuesta a esta realidad, muchas de las titulaciones universitarias del ámbito técnico incluyen en su itinerario formativo materias en el ámbito del Control. En el caso concreto de las titulaciones conducentes a la profesión de Ingeniero Técnico Industrial en España, la orden CIN/351/2009 recoge explícitamente entre los requisitos mínimos del plan de estudio de estos títulos la

formación en materia de fundamentos de automatismos y métodos de control.

Desde el punto de vista formativo, la Ingeniería de Control aúna dos componentes que dificultan el proceso de enseñanza-aprendizaje en el alumnado: un alto nivel de abstracción y una fuerte componente matemática (Normey-Rico & Morato, 2024). Por un lado, muchos estudiantes enfrentan dificultades significativas al tratar de vincular los conceptos teóricos abstractos con situaciones prácticas tangibles, resultando en una desconexión entre teoría y práctica. Esto afecta negativamente a la motivación del estudiantado y su comprensión sobre la relevancia profesional de la materia. Por otro lado, la mayoría de los conceptos propios de esta materia están fuertemente basados en desarrollos matemáticos. Esto supone un hándicap más en el proceso de aprendizaje que obstaculiza el progreso en la comprensión de los principios del Control.

Conscientes de esta realidad, el *Libro blanco de control automático*, publicado por el Comité Español de Automática, hace alusión en su análisis de la formación en control automático a la necesidad de realizar nuevos planteamientos en la enseñanza de esta disciplina. Para ello, debe ahondarse en aspectos amplios que reflejen problemas y aplicaciones reales que proporcionen una experiencia tangible y relevante para el refuerzo del aprendizaje y habilidades en la resolución de problemas del mundo real (Comité Español de Automática, 2009).

Tradicionalmente, la enseñanza práctica de Ingeniería de Control ha dependido en gran medida de herramientas de simulación y el uso de laboratorios virtuales (Heradio et al., 2016; Tjahyadi et al., 2023). Aunque estas herramientas son útiles, no resultan suficientes por sí mismas para lograr una comprensión completa y profunda. Es fundamental complementar su uso con un enfoque más práctico que incluya proyectos reales, laboratorios experimentales y aplicaciones en la industria. Esto no solo ayuda a los estudiantes a conectar la teoría con la práctica, sino que también les proporciona una experiencia tangible y relevante que refuerza su aprendizaje y habilidades en la resolución de problemas del mundo real (Chevalier et al., 2021). En este contexto, las maquetas educativas constituyen una alternativa pedagógica efectiva al proporcionar experiencias tangibles con sistemas físicos reales (P. B. de M. Oliveira et al., 2022; Pickering, 2024; Sotelo et al., 2022).

Recientemente, el uso de plataformas educativas basadas en dispositivos de bajo coste, como Arduino, ha facilitado el acceso a experiencias prácticas en entornos académicos. Un ejemplo de estos sistemas de bajo coste es la placa Temperature Control Lab (TCLab). Esta maqueta, desarrollada originalmente por APMonitor, está basada en una aplicación de control de temperatura compatible con Arduino. Las librerías software desarrolladas para su uso lo convierten en una opción versátil para su utilización con numerosas plataformas de programación extendidas en el ámbito educativo del control como Python, MATLAB o Simulink. Además, la accesibilidad económica de este sistema permite su implementación efectiva en grupos numerosos de estudiantes (P. M. Oliveira et al., 2023). Algunos ejemplos de su uso en docencia incluyen aplicaciones de control predictivo (Guzmán et al., 2022),

diseño de compensadores (Insuasti et al., 2022), predictores de Smith (Mejía et al., 2022) o aplicación de técnicas para la identificación de sistemas (Sharma & Padhy, 2022).

A partir del análisis anterior, el objetivo de este artículo es presentar y validar un nuevo enfoque metodológico práctico basado en metodologías activas para mejorar la enseñanza práctica de las asignaturas relacionadas con la Ingeniería de Control. En concreto, se presenta un caso de estudio llevado a cabo en la asignatura de Ingeniería de Control del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática de la Universidad de La Laguna en el curso 2024/25. En primer lugar, se pretende incorporar un enfoque práctico para potenciar la concreción de los conceptos abstractos de la asignatura. En base a los estudios previos presentados en la literatura, se ha decidido introducir un dispositivo de control de bajo coste similar a TCLab para esta experiencia.

Como novedad, esta propuesta incluye como eje vertebrador la combinación de metodologías activas basadas en Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) y Aula Invertida. La metodología ABP permite facilitar la autorregulación del alumnado, proporcionando una estructura clara y manejable que guíe a los estudiantes a lo largo del proyecto hacia la solución final (Lavado-Anguera et al., 2024). Paralelamente, el Aula Invertida facilitará que el alumnado refuerce previamente los conceptos teóricos necesarios mediante materiales digitales (Jung et al., 2022). Esto permitirá dedicar el tiempo en el aula al desarrollo de los hitos del proyecto y la resolución de problemas que pudieran surgir en el manejo de la TCLab.

Este artículo se estructura de la siguiente manera: la sección 2 describe el enfoque metodológico propuesto, basado en la integración de ABP y el modelo de Aula Invertida. La Sección 3 detalla el diseño del curso, incluyendo la planta utilizada, la definición del proyecto y los materiales didácticos desarrollado. La Sección 4 presenta los resultados obtenidos tras la implementación de la propuesta, incluyendo la percepción del alumnado sobre la experiencia. La Sección 5 expone las principales conclusiones del estudio.

## 2. Enfoque metodológico

El enfoque metodológico de la propuesta presentada combina dos metodologías activas clave: el Aprendizaje Basado en Proyectos y el Aula Invertida. El ABP ha demostrado ser efectivo en la enseñanza de titulaciones técnicas (Rengifo & Bravo, 2020). Este tipo de aproximaciones permite replicar las situaciones profesionales similares a las que enfrentará el futuro ingeniero. Por ello, el proyecto planteado en esta propuesta partirá de una serie de requisitos técnicos que guíen la solución final desarrollada por el alumnado. Se propone una estructuración del proyecto en hitos vinculados con entregas intermedias. Con esta dinámica se facilita el seguimiento del progreso, favoreciendo el *feedback* constante y la posibilidad de incluir las correcciones en entregas futuras para alcanzar el objetivo final (*feedforward*) (Solis Trujillo et al., 2025).

La metodología del Aula Invertida complementa al ABP, permitiendo al alumnado revisar y asimilar los contenidos teóricos a su propio ritmo antes de la sesión presencial (Al Mamun et al., 2022). Este enfoque fomenta la autorregulación del aprendizaje, proporcionando a los estudiantes una

preparación adecuada para afrontar las sesiones prácticas (Lo & Hew, 2019). Durante las clases presenciales, el rol del docente se redefine hacia un facilitador del aprendizaje, resolviendo dudas, promoviendo la interacción mediante técnicas de *peer instruction* y evaluando activamente el desempeño práctico del alumnado (Ruiz de Miras et al., 2021).

La introducción de una maqueta de control para su uso añade una componente eminentemente práctica a la metodología, permitiendo a los estudiantes la experimentación directa con hardware real. Para la evaluación del alumnado, se contempla la realización de pruebas de respuesta corta para medir el nivel de comprensión conceptual. Además, se evaluará el grado de cumplimiento de los objetivos planteados a través de la comparación de los resultados obtenidos frente a los requisitos técnicos establecidos inicialmente. Para ello, se emplearán rúbricas previamente definidas que garanticen la objetividad y claridad en la evaluación (Ramírez de Dampierre et al., 2024).

### 3. Diseño del curso

En esta sección se detalla el diseño de la experiencia propuesta, incluyendo el material didáctico empleado y la definición del proyecto desarrollado. Además, se presenta la encuesta de satisfacción realizada para valorar la experiencia del alumnado.

#### 3.1. Planta para el control de temperatura

Para esta propuesta, se ha empleado un sistema de control basado en TCLab (APMonitor, 2025). Estos shields, fabricados en la Universidad de La Laguna, presentan un diseño hardware compatible con el microcontrolador Arduino UNO (Figura 1). Al igual que el diseño original, estas placas están conformadas por dos transistores NPN montados sobre disipadores térmicos. El calor disipado se controla a través de la corriente de base mediante una señal PWM. Frente a cada transistor se ubica un sensor de temperatura. En la fabricación, se han introducido ligeras modificaciones con respecto al diseño original. En concreto, se han empleado sensores de temperatura LMT826, frente al modelo TMP36GZ de TCLab. Esto ha obligado a modificar la librería original de TCLab desarrollada en MATLAB para adaptar la curva de calibración al nuevo sensor. Para la alimentación de la placa, se emplea una fuente de 5V y 2A. La conexión con el PC se realiza mediante un cable USB que permite la conexión con Arduino.



Figura 1. Imagen de la placa de control de temperatura encajada en Arduino UNO.

### 3.2. Definición del proyecto

La introducción de dispositivos físicos como TCLab para su control facilita la aplicación de conceptos relativos a la teoría de control digital. Por ello, el proyecto planteado en esta propuesta aborda los contenidos del Módulo de Control Digital impartido en la asignatura de Ingeniería de Control.

El objetivo principal del proyecto planteado al alumnado se centra en el diseño y validación de un sistema de control digital en lazo cerrado para la planta de temperatura. Además, se requiere que la solución final propuesta cumpla con los requisitos recogidos en la Tabla 1. Para la consecución del proyecto, se plantean 4 hitos (Figura 2). Cada uno de estos hitos se aborda en una sesión de prácticas de dos horas. El resultado de cada hito es una entrada necesaria para el desarrollo del siguiente.

Tabla 1: Requisitos propuestos para el diseño del sistema de control de temperatura

Requisito	
Temperatura de consigna	30°C
Pico máximo de temperatura	35°C
Tiempo de establecimiento (2%)	<300s
Rango de la entrada (Duty Cycle de PWM)	[0 - 50]%
Periodo de muestreo	2s

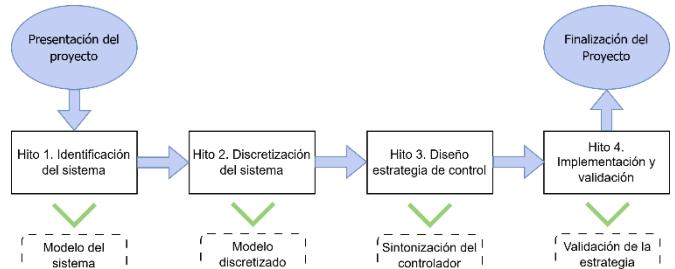


Figura 2. Fases del proyecto planteado estructurado en cuatro hitos. El resultado de cada hito se indica en la parte inferior con trazo discontinuo

El *Hito 1* plantea el modelado de la planta mediante un sistema de primer orden con retardo puro según (1):

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} e^{-t_m s} \quad (1)$$

donde  $K$  representa la ganancia estática del sistema [°C/%,  $\tau$  y  $t_m$  representan la constante de tiempo y el tiempo muerto, respectivamente, medido en segundos. Para ello, se requiere la estimación de los parámetros del sistema a partir de la respuesta ante la aplicación de una entrada escalón.

El *Hito 2* propone la discretización del sistema identificado mediante un retenedor de orden cero (ZOH) en MATLAB. A partir de la función de transferencia discreta, se debe obtener la ecuación en diferencias para su evaluación en dominio temporal. Además, se debe analizar la comparativa de la respuesta del sistema continuo frente al discreto.

En el *Hito 3*, el alumnado debe sintonizar un controlador PI discreto dado por la expresión (2):

$$u(k) = u(k-1) + e(k-1) \left[ \frac{K_p \cdot T_s}{T_i} - K_p \right] + K_p \cdot e(k) \quad (2)$$

donde  $u$  (expresada en %) y  $e$  [°C] hacen alusión a la señal de control y error, respectivamente,  $K_p$  y  $T_i$  representan la constante proporcional y el tiempo integral del PI,  $T_s$  es el tiempo de muestreo y  $k$  representa el instante temporal. Para la validación de la sintonización, el alumnado debe simular la respuesta del sistema en lazo cerrado y verificar que cumple con los requisitos técnicos propuestos.

Finalmente, en el *Hito 4*, el alumnado debe implementar y validar el controlador diseñado en el sistema real. En este punto, debe demostrar que la solución desarrollada cumple con los requisitos iniciales. Además, se propone el análisis del comportamiento del sistema ante perturbaciones externas que afectan a la temperatura. Para ello, se aplican dos tipos de perturbaciones tipo escalón: una corriente de aire frío mediante un ventilador, y una corriente de aire caliente mediante un calefactor.

### 3.3. Material didáctico desarrollado

En el marco de la implementación metodológica descrita, se ha desarrollado un conjunto de recursos didácticos específicos destinados a facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje y garantizar su coherencia con los principios del ABP y del Aula Invertida.

Para apoyar el estudio autónomo previo a las sesiones presenciales, se han creado píldoras formativas en formato audiovisual. En concreto, estas cápsulas didácticas abordan los conceptos teóricos fundamentales relativos a la identificación de sistemas, la discretización mediante ZOH y el control digital. Su visualización previa constituye un requisito esencial para el correcto aprovechamiento del tiempo en el aula. Para completar la preparación previa, se han elaborado guiones estructurados para cada uno de los hitos del proyecto. Estos documentos detallan el objetivo específico de cada fase, la metodología a seguir y el sistema de evaluación asociado.

Con el objetivo de facilitar el trabajo en el aula, y atendiendo a las dificultades detectadas en el alumnado para la programación, se han proporcionado plantillas de código en MATLAB. Estas plantillas ofrecen una estructura básica que el alumnado puede adaptar y completar conforme a los requisitos de cada fase del proyecto. De esta forma, el esfuerzo del alumnado se centra en la comprensión y aplicación de los conceptos de control.

Finalmente, se han elaborado cuestionarios de evaluación incluidos en el Campus Virtual. Estos cuestionarios incluyen preguntas tipo test y de respuesta corta en el que el alumnado debe demostrar el grado de adquisición de conocimientos teóricos y prácticos tras cada hito.

### 3.4. Valoración de la satisfacción del alumnado

Para analizar la percepción del alumnado respecto a la metodología implementada en la asignatura, se ha diseñado una encuesta que deberán cumplimentar tras la realización de la última sesión presencial. Esta encuesta, desarrollada en Google Forms, está compuesta por seis ítems formulados para evaluar distintos aspectos de la experiencia educativa

desde la perspectiva del estudiante. Las cuestiones planteadas son las siguientes:

P1. La fase de preparación previa a cada sesión me ha resultado de utilidad, fomentando mi capacidad de autogestión y planificación del aprendizaje.

P2. Considero que el material proporcionado previamente es útil para preparar las sesiones prácticas.

P3. Considero que el enfoque práctico planteado ha favorecido la mejora de mis aptitudes para hacer frente a un problema real en el ámbito del control industrial.

P4. Considero que las actividades realizadas con TCLab me han ayudado a entender mejor los conceptos de control industrial introducidos en teoría.

P5. Creo que emplear este tipo de enfoque práctico en otras asignaturas de control constituiría una mejora en la docencia de estas asignaturas.

P6. Nivel de satisfacción general con las prácticas realizadas basadas en TCLab.

Cada una de las preguntas se responde mediante una escala Likert de 7 puntos, donde 1 representa "Nada de acuerdo" y 7 "Muy de acuerdo", a excepción de P6, evaluada entre 1 y 10.

## 4. Resultados

La metodología propuesta ha sido implementada en la asignatura de Ingeniería de Control, perteneciente al Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática de la Universidad de La Laguna. En concreto, el proyecto planteado se ha desarrollado en cuatro sesiones presenciales de dos horas cada una. Un total de 49 estudiantes, divididos en 3 grupos de prácticas, han participado finalmente en esta metodología.

Todos los estudiantes completaron las diferentes fases del proyecto con éxito. La Figura 3 muestra un ejemplo de la comparativa entre la evolución de la temperatura del sistema real y la respuesta del modelo propuesto abordado en el *Hito 1*. Para la excitación del sistema, se aplicó una entrada escalón de magnitud 10% a partir del instante  $t = 10$ s.

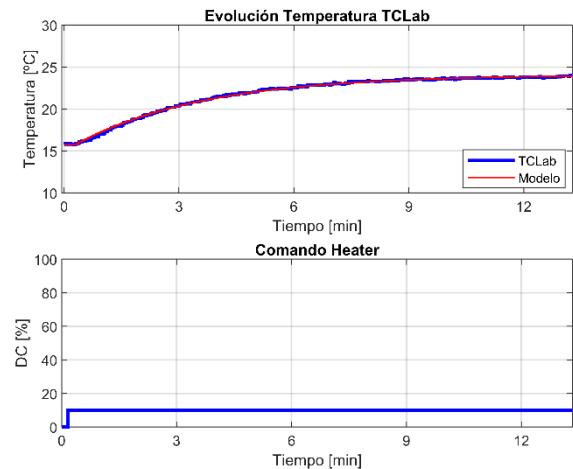


Figura 3. Comparativa de la salida del sistema real frente al modelo propuesto ( $K = 0.83^\circ\text{C}/\%$ ,  $\tau = 200\text{s}$ ,  $t_m = 8\text{s}$ ) ante la aplicación de una entrada escalón.

La Figura 4 muestra el resultado de la simulación para la validación del controlador basado en el modelo discretizado del sistema (*Hito 3*). La Figura 5 muestra un ejemplo del sistema real en lazo cerrado (*Hito 4*). En concreto, se observa cómo el controlador PI diseñado es capaz de llevar la

temperatura al valor de consigna de 30°C cumpliendo con los requisitos iniciales. A partir de  $t = 5$  min se aplica una perturbación externa mediante una corriente de aire fría mantenida hasta  $t = 8.5$  min. Se observa que el sistema responde a la perturbación, tratando de compensar el efecto en la temperatura

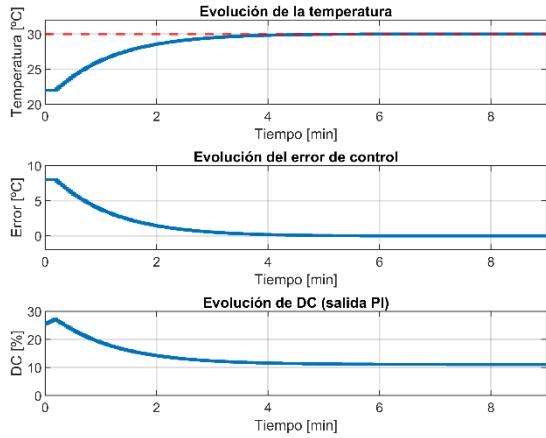


Figura 4. Simulación en MATLAB de la evolución de la temperatura (superior), error de control (medio) y acción de control (inferior) para un controlador con  $K_p=3.2$  y  $T_i = 170$ s. Temperatura de consigna de 30°C (línea roja).

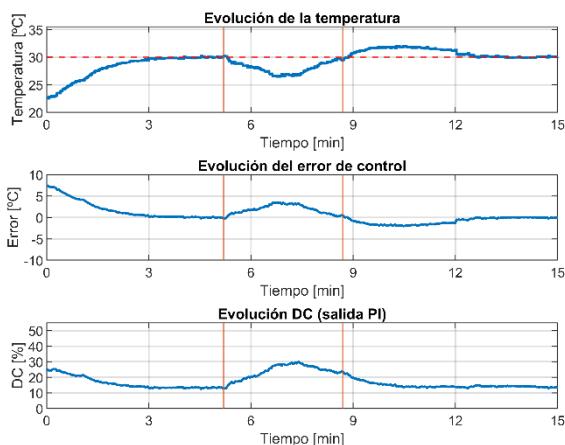


Figura 5. Evolución de la temperatura medida del sistema real (superior), error de control (medio) y acción de control (inferior) para un controlador con  $K_p=3.2$  y  $T_i = 170$ s. Temperatura de consigna de 30°C (línea roja). La línea naranja indica el inicio y cese de la perturbación aplicada.

Finalmente, se procede a analizar el resultado de las encuestas cumplimentadas por el alumnado tras la finalización del proyecto. Un total de 43 estudiantes participaron en la valoración de la metodología. Los resultados se presentan en la Figura 6.

Los resultados obtenidos a partir del cuestionario de satisfacción muestran un alto grado de satisfacción del alumnado ante la experiencia propuesta. Los resultados a P1 y P2 respaldan la utilidad de la metodología de Aula Invertida en el enfoque propuesto. En P1, la mayoría del alumnado se situó en los niveles altos de la escala, destacando que más del 80% seleccionó puntuaciones entre 5 y 7. Esto sugiere que el alumnado valoró positivamente la posibilidad de planificar su aprendizaje y abordar los contenidos teóricos de forma

autónoma, lo que refuerza el valor de esta estrategia en la autorregulación del aprendizaje. Además, la mayoría de los estudiantes consideró que los recursos ofrecidos (píldoras formativas, guiones y plantillas de código) les permitieron preparar eficazmente las sesiones prácticas. Esta valoración reafirma la adecuación del diseño de los recursos didácticos para un aprendizaje autónomo efectivo.

La tercera pregunta abordó la percepción del alumnado sobre el enfoque práctico propuesto y su utilidad para desarrollar competencias aplicables a contextos reales de la ingeniería de control. En este caso, la distribución de respuestas refleja una valoración positiva, destacando la alineación del proyecto con situaciones reales, tal y como promueve el Aprendizaje Basado en Proyectos.

Respecto a la cuarta pregunta, se observó que más del 90% del alumnado manifestó estar de acuerdo en que el uso del dispositivo físico facilitó la comprensión del control industrial, evidenciando la efectividad de este enfoque práctico frente a metodologías basadas exclusivamente en simulación. En cuanto a P5, los resultados reflejan un consenso claro en el alumnado, con una mayoría significativa expresando que este enfoque supondría una mejora en la docencia de dichas asignaturas. Esta conclusión refuerza el potencial de escalabilidad y transferencia del modelo propuesto a otros contextos formativos dentro del ámbito de la Ingeniería de Control.

Finalmente, en cuanto a la valoración general de la experiencia vivida por el alumnado a lo largo del desarrollo del proyecto, la mayoría de las respuestas se agruparon en los niveles más altos de la escala, indicando una percepción global positiva. Este resultado corrobora la aceptación del enfoque metodológico integrado, destacando tanto su impacto formativo como su capacidad para generar una experiencia de aprendizaje significativa, práctica y motivadora.

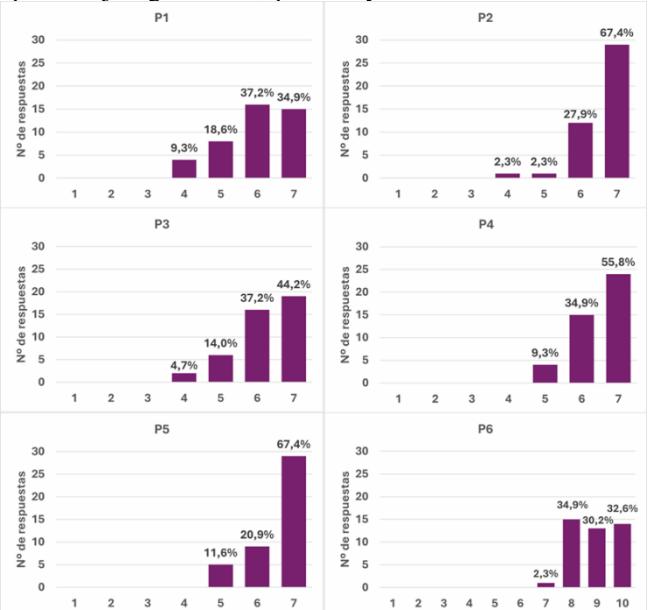


Figura 6. Resultados de la encuesta de satisfacción cumplimentada por el alumnado.

## 5. Conclusiones

Este trabajo ha presentado una propuesta metodológica que combina el Aprendizaje Basado en Proyectos con el enfoque

de Aula Invertida, apoyada por el uso de un sistema de control físico para mejorar la enseñanza de la Ingeniería de control en el contexto universitario. Tras la aplicación de la metodología, los resultados obtenidos evidencian que el alumnado fue capaz de completar con éxito las distintas fases del proyecto propuesto, aplicando los conocimientos teóricos en contextos cercanos a la práctica profesional. Además, los datos recogidos mediante la encuesta de satisfacción reflejan una alta valoración por parte del estudiantado, destacando especialmente la utilidad del enfoque práctico para la comprensión de los conceptos de control y su aplicación en la resolución de problemas reales.

La aceptación generalizada de la experiencia y la percepción positiva del alumnado sobre la transferencia del modelo metodológico a otras asignaturas del ámbito del control sugieren un elevado potencial de escalabilidad. En consecuencia, se considera que la propuesta presentada constituye una vía prometedora para extrapolar esta experiencia a otras asignaturas del ámbito de la Ingeniería de Control, promoviendo una formación más significativa, motivadora y alineada con las necesidades del ejercicio profesional.

## Agradecimientos

Este trabajo forma parte del Proyecto *De la abstracción a la acción: propuesta de un enfoque metodológico práctico para asignaturas de Ingeniería de Control combinando aprendizaje basado en proyectos y aula invertida*, concedido en la Convocatoria de los Proyectos de Innovación y Transferencia Educativa para el curso académico 2024 de la Universidad de La Laguna.

El trabajo de Rafael Herrero-Álvarez ha sido cofinanciado por la Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información de la Consejería de Universidades, Ciencia e Innovación y Cultura y por el Fondo Social Europeo Plus (FSE+) Programa Operativo Integrado de Canarias 2021-2027, Eje 3 Tema Prioritario 74 (85%).

## Referencias

- Al Mamun, M. A., Azad, M. A. K., Al Mamun, M. A., & Boyle, M. (2022). Review of flipped learning in engineering education: Scientific mapping and research horizon. *Education and Information Technologies*, 27(1), 1261–1286. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10630-z>
- APMonitor. (2025). *Temperature Control Lab*. <Https://Apmonitor.Com/Pdc/Index.Php/Main/ArduinoTemperatureControl>. Acceso: 18/05/2025.
- Chevalier, A., Dekemele, K., Juchem, J., & Loccufier, M. (2021). Student Feedback on Educational Innovation in Control Engineering: Active Learning in Practice. *IEEE Transactions on Education*, 64(4), 432–437. <https://doi.org/10.1109/TE.2021.3077278>
- Comité Español de Automática. (2009). *Libro Blanco del Control Automático* (Comité Español de Automática, Ed.).
- Guzmán, J. L., García-Mañas, F., Hoyo, Á., Ramos-Teodoro, J., & Donaire, J. G. (2022). Use of TCLab kits for control engineering curricula at the University of Almería\*. *IFAC-PapersOnLine*, 55(17), 362–367. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.306>
- Heradio, R., de la Torre, L., & Dormido, S. (2016). Virtual and remote labs in control education: A survey. *Annual Reviews in Control*, 42, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.08.001>
- Insuasti, S., Paredes, J. L., & Camacho, O. (2022). Controllers and Compensators Design for Undergraduate Control Students: Testing with TCLab Arduino kit. *2022 IEEE Sixth Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ETCM56276.2022.9935740>
- Jung, H., Park, S. W., Kim, H. S., & Park, J. (2022). The effects of the regulated learning-supported flipped classroom on student performance. *Journal of Computing in Higher Education*, 34(1), 132–153. <https://doi.org/10.1007/s12528-021-09284-0>
- Lavado-Anguera, S., Velasco-Quintana, P.-J., & Terrón-López, M.-J. (2024). Project-Based Learning (PBL) as an Experiential Pedagogical Methodology in Engineering Education: A Review of the Literature. *Education Sciences*, 14(6), 617. <https://doi.org/10.3390/educsci14060617>
- Lo, C. K., & Hew, K. F. (2019). The impact of flipped classrooms on student achievement in engineering education: A meta-analysis of 10 years of research. *Journal of Engineering Education*, 108(4), 523–546. <https://doi.org/10.1002/jee.20293>
- Mejía, C., Salazar, E., & Camacho, O. (2022). A comparative experimental evaluation of various Smith predictor approaches for a thermal process with large dead time. *Alexandria Engineering Journal*, 61(12), 9377–9394. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.03.047>
- Normey-Rico, J. E., & Morato, M. M. (2024). Teaching Control with Basic Maths: Introduction to Process Control Course as a Novel Educational Approach for Undergraduate Engineering Programs. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 35(1), 41–63. <https://doi.org/10.1007/s40313-023-01063-9>
- Oliveira, P. B. de M., Soares, F., & Cardoso, A. (2022). Pocket-Sized Portable Labs: Control Engineering Practice Made Easy in Covid-19 Pandemic Times. *IFAC-PapersOnLine*, 55(17), 150–155. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.272>
- Oliveira, P. M., Cardoso, A., Soares, F., Machado, J., Sá, J., Lopes, H., & Silva, V. (2023). Temperature Control Laboratory (TCLab): Demonstration of Use in Portugal. *2023 6th Experiment@International Conference (Exp@t'23)*, 13–14. <https://doi.org/10.1109/exp.at2358782.2023.10546110>
- Pickering, J. E. (2024). Developments in Control Engineering Education: Lab-in-a-Box Project Based Learning. *2024 UKACC 14th International Conference on Control (CONTROL)*, 195–200. <https://doi.org/10.1109/CONTROL60310.2024.10531946>
- Ramírez de Dampierre, M., Gaya-López, M. C., & Lara-Bercial, P. J. (2024). Evaluation of the Implementation of Project-Based-Learning in Engineering Programs: A Review of the Literature. *Education Sciences*, 14(10), 1107. <https://doi.org/10.3390/educsci14101107>
- Rengifo, C. F., & Bravo, D. A. (2020). A Project-Based Learning Approach to Teach Identification and Control Systems. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías Del Aprendizaje*, 15(1), 10–16. <https://doi.org/10.1109/RITA.2020.2979171>
- Ruiz de Miras, J., Balsas-Almagro, J. R., & García-Fernández, Á. L. (2021). Using flipped classroom and peer instruction methodologies to improve introductory computer programming courses. *Computer Applications in Engineering Education*, cae.22447. <https://doi.org/10.1002/cae.22447>
- Sharma, S., & Padhy, P. K. (2022). An indirect approach for online identification of continuous time-delay systems. *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields*, 35(1). <https://doi.org/10.1002/jnm.2947>
- Solis Trujillo, B. P., Velarde-Camaqui, D., Gonzales Nuñez, C. A., Castillo Silva, E. V., & Gonzalez Said de la Oliva, M. del P. (2025). The current landscape of formative assessment and feedback in graduate studies: a systematic literature review. *Frontiers in Education*, 10. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1509983>
- Sotelo, D., Sotelo, C., Ramírez-Mendoza, R. A., López-Guajardo, E. A., Navarro-Duran, D., Niño-Juárez, E., & Vargas-Martínez, A. (2022). Lab-Tec@Home: A Cost-Effective Kit for Online Control Engineering Education. *Electronics*, 11(6), 907. <https://doi.org/10.3390/electronics11060907>
- Tjahyadi, H., Prasetya, K., & Murwantara, I. M. (2023). Digital Twin Based Laboratory for Control Engineering Education. *International Journal of Information and Education Technology*, 13(4), 704–711. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2023.13.4.1856>