

Jornadas de Automática

Democratizando los laboratorios de control: la iniciativa CE2Labs

José L. Guzmán^{a,*}, Juan D. Gil^a, Fernando Cañadas-Aránega^a, Igor M.L. Pataro^a, Enrique Rodríguez-Miranda^a,
José González-Hernández^a, Manuel Muñoz-Rodríguez^a, Manuel Berenguel^a

^aUniversidad de Almería, Centro Mixto CIESOL, ceia3, Ctra.Sacramento s/n, 04120, Almería, España

To cite this article: Guzmán, J.L., Gil, J.D., Cañadas-Aránega, F., Pataro, I.M.L., Rodríguez-Miranda, E., González-Hernández, J., Muñoz-Rodríguez, M., Berenguel, M. 2026. Democratizing Control Laboratories: The CE2Labs Initiative. *Jornadas de Automática*, 47. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2026.47.13701>

Resumen

La escasez de maquetas físicas en los laboratorios universitarios es un problema ampliamente reconocido a nivel internacional. Como respuesta a esta problemática, este artículo presenta CE2Labs (*Unlocking the Development and Experiences of Control Education Labs*), un proyecto de innovación docente financiado por el *IFAC Activity Fund* y desarrollado por un equipo internacional de docentes y técnicos de laboratorio de universidades de España, Suecia, Francia, Alemania y Reino Unido. El proyecto propone el diseño y construcción de maquetas de bajo coste y código abierto con distintos niveles de complejidad, desde dispositivos mecánicos impresos en 3D hasta soluciones basadas en Arduino y electrónica propia, así como el desarrollo de una plataforma web donde compartir materiales docentes y experiencias. Como elemento innovador, el proyecto incorpora estrategias de gamificación inspiradas en el concepto de *escape room* para promover experiencias de aprendizaje más dinámicas en el laboratorio. En este artículo se describe el proyecto y los resultados obtenidos durante su primera fase de desarrollo.

Palabras clave: Educación en control, Innovación docente, Código abierto.

Democratizing Control Laboratories: The CE2Labs Initiative

Abstract

The shortage of physical lab models in university control engineering laboratories is a widely recognized problem at the international level. In response to this challenge, this paper presents CE2Labs (*Unlocking the Development and Experiences of Control Education Labs*), a teaching innovation project funded by the *IFAC Activity Fund* and developed by an international team of educators and laboratory engineers from universities in Spain, Sweden, France, Germany, and the United Kingdom. The project proposes the design and construction of low-cost, open-source physical lab models at different levels of complexity, ranging from 3D-printed mechanical devices to Arduino-based and custom electronics solutions, as well as the development of an open-access web platform where educators worldwide can access the materials and share experiences. As an innovative element, the project incorporates gamification strategies inspired by the escape room concept to promote more dynamic learning experiences in the control lab. This paper describes the project and the results obtained during its first development phase.

Keywords: Control education, Teaching innovation, Open source.

1. Introducción

A diferencia de otras disciplinas, una de las señas de identidad de la ingeniería es la conexión directa entre teoría y práctica, donde el estudiante no solo comprende los fundamentos formales sino que los verifica, aplica y cuestiona a

través de la experimentación real (Broo et al., 2022). En el ámbito del control automático, los experimentos de laboratorio constituyen un componente esencial del proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que permiten al alumno enfrentarse a la complejidad y a las imperfecciones inherentes a los siste-

*Autor para correspondencia: joguzman@ual.es
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

mas físicos reales, algo que ningún simulador puede reproducir completamente (Abramovitch, 2023). Estas experiencias permiten además desarrollar competencias transversales fundamentales en ingeniería, como la resolución de problemas en entornos reales, la integración hardware-software, la adquisición y tratamiento de datos, el trabajo colaborativo y la validación experimental de modelos y algoritmos de control.

Sin embargo, la realidad de la mayoría de los laboratorios universitarios de control dista mucho de este ideal. El elevado coste de los equipos industriales, su mantenimiento, y la escasa inversión institucional en infraestructuras docentes hacen que muchos grupos de estudiantes compartan un número reducido de maquetas, limitando enormemente el tiempo de experimentación individual. Esta situación se agrava especialmente en países en vías de desarrollo, donde la disponibilidad de recursos es aún más restringida. Como respuesta parcial a este problema, en la última década se ha producido un notable avance en el desarrollo de simuladores, laboratorios virtuales y remotos y herramientas interactivas que permiten ampliar las posibilidades prácticas más allá de las limitaciones físicas del espacio y el equipamiento (Alsaleh et al., 2022; Guzmán et al., 2023). No obstante, estas soluciones, aunque son valiosas desde el punto de vista pedagógico y permiten ampliar el acceso y flexibilizar el aprendizaje, no logran sustituir completamente la experiencia de manipular un sistema físico real y observar su comportamiento dinámico de primera mano. En particular, continúan existiendo limitaciones importantes relacionadas con la interacción física, la incertidumbre experimental, el ruido de medida y otros fenómenos inherentes a los sistemas reales.

En paralelo, durante los últimos años se ha producido un crecimiento significativo de las tecnologías de fabricación digital, impresión 3D y plataformas electrónicas de bajo coste basadas en hardware abierto, como *Arduino* o *Raspberry Pi*. Estas tecnologías han permitido reducir considerablemente las barreras económicas asociadas al desarrollo de prototipos y sistemas experimentales, favoreciendo la aparición de nuevas metodologías docentes centradas en el aprendizaje práctico y la experimentación distribuida (Guzmán et al., 2022).

Sin embargo, a pesar de estas oportunidades, todavía existe una carencia importante de iniciativas coordinadas que integren el desarrollo de maquetas abiertas, materiales docentes reutilizables y experiencias compartidas entre universidades dentro del área de automática y control. En este contexto surge la iniciativa CE2Labs (*Unlocking the Development and Experiences of Control Education Labs*), financiada por el *IFAC Activity Fund*. Esta iniciativa plantea un enfoque alternativo y complementario: el diseño y construcción de maquetas físicas de bajo coste para la educación en control automático, distribuidas bajo una filosofía de código abierto. Esta filosofía abierta favorece la creación de una comunidad internacional de docentes capaz de compartir mejoras, nuevas prácticas experimentales, experiencias de aula y material educativo reutilizable.

Inspirándose en plataformas como el sistema TCLab (Guzmán et al., 2022), el proyecto busca democratizar el acceso a equipamiento docente real, ofreciendo maquetas de distintos niveles de complejidad, desde dispositivos mecánicos impresos en 3D hasta soluciones basadas en *Arduino* y electrónica propia, que puedan ser reproducidos, modificados

y utilizados por cualquier docente o institución en el mundo. Como elemento innovador, el proyecto incorpora también estrategias de gamificación inspiradas en el concepto de *escape room*, con el objetivo de generar experiencias de aprendizaje más dinámicas y motivadoras en el laboratorio de control (Pataro et al., 2024; González-Hernández et al., 2025). Cabe destacar que la iniciativa C2Labs está siendo desarrollado por un equipo internacional de docentes y técnicos de laboratorio de universidades de España (Universidad de Almería), Suecia (Lund University), Francia (Université Paris-Saclay), Alemania (HAW University) y Reino Unido (Imperial College).

Por otro lado, más allá del desarrollo de hardware educativo, el proyecto CE2Labs persigue establecer una metodología abierta y colaborativa para el diseño de laboratorios docentes de control, promoviendo tanto la reutilización de recursos como la transferencia de experiencias entre instituciones. De este modo, el proyecto no solo busca reducir las barreras económicas asociadas a la experimentación en automática, sino también reforzar el atractivo de la disciplina mediante experiencias prácticas más accesibles, visuales e interactivas.

El presente artículo se divide como sigue: la sección 2 describe brevemente la iniciativa C2Labs, mostrando los objetivos, fases de desarrollo e impacto esperado. La sección 3 muestra las maquetas desarrolladas hasta el momento. Por último, la sección 4 presenta las principales conclusiones y los trabajos futuros.

2. Descripción del proyecto CE2Labs

CE2Labs es un proyecto financiado por el *IFAC Activity Fund* y respaldado por el Comité Técnico IFAC 9.4 sobre Educación en Control y el Comité de Actividades Educativas de IFAC.

2.1. Objetivos

El proyecto persigue dos objetivos principales. En primer lugar, el diseño y construcción de una colección de maquetas físicas de bajo coste con distintos niveles de complejidad, reproducibles por cualquier institución gracias a su distribución bajo una filosofía de código abierto. En concreto, se plantea el desarrollo de seis modelos diferentes, agrupados en cuatro categorías según su nivel de complejidad y tecnología empleada:

- **Dispositivos mecánicos básicos impresos en 3D:** como el regulador centrífugo de Watt
- **Laboratorios avanzados impresos en 3D:** como el sistema *ball and beam*, o el sistema de celda Peltier.
- **Soluciones basadas en Arduino:** como sistemas de control de temperatura o de posición.
- **Laboratorios basados en electrónica propia:** como una versión compacta del sistema de cuatro tanques acoplados.

En segundo lugar, el desarrollo de una plataforma web donde docentes de todo el mundo puedan acceder libremente a los materiales necesarios para construir los modelos, compartir sus experiencias y colaborar en su mejora continua.

Como elemento transversal a ambos objetivos, el proyecto incorpora estrategias de gamificación inspiradas en el concepto de *escape room*, con el fin de promover experiencias de aprendizaje más dinámicas y motivadoras.

2.2. Fases de desarrollo

El proyecto se articula en dos fases diferenciadas. La Fase I (septiembre 2025 - abril 2026) comprende la definición del catálogo de maquetas a desarrollar, el diseño y construcción de prototipos, y el desarrollo inicial de la plataforma web. Esta fase incluye también estancias de intercambio entre los socios del proyecto para el desarrollo conjunto de los modelos.

La Fase II (mayo - septiembre 2026) está orientada a la validación y difusión de los resultados. En esta etapa se lleva a cabo el intercambio de maquetas entre las universidades participantes, su evaluación desde un punto de vista docente, el desarrollo de material educativo asociado, y la celebración de un taller final abierto a la comunidad IFAC para compartir experiencias y conclusiones.

2.3. Impacto esperado

Los resultados del proyecto están dirigidos a la comunidad de control en general, si bien su impacto más inmediato se espera en el ámbito universitario, donde el déficit de maquetas físicas y equipamiento experimental resulta especialmente acusado. Gracias a su diseño modular y a los distintos niveles de complejidad contemplados, las maquetas desarrolladas pueden utilizarse tanto en cursos de grado y máster como en actividades de divulgación dirigidas a estudiantes de educación secundaria, siguiendo las experiencias previas desarrolladas en la Universidad de Almería (Hoyo et al., 2022). Asimismo, la naturaleza abierta y reproducible de los desarrollos favorece su adaptación a diferentes contextos educativos, incluyendo instituciones con recursos limitados o pertenecientes a países en vías de desarrollo, donde las restricciones presupuestarias dificultan el acceso a equipamiento especializado.

Desde el punto de vista formativo, el proyecto permite a los estudiantes enfrentarse a problemas reales de ingeniería y aplicar sus conocimientos teóricos en contextos próximos a la práctica industrial, superando parcialmente las limitaciones de los entornos puramente simulados. Igualmente, las maquetas propuestas facilitan la experimentación con fenómenos reales como ruido de medida, saturaciones, retardos o incertidumbres de modelado, aspectos difíciles de reproducir de forma completamente realista en laboratorios virtuales. De igual modo, el proyecto favorece el desarrollo de competencias transversales especialmente relevantes en ingeniería, tales como el trabajo colaborativo, la validación experimental, la integración hardware-software y la resolución de problemas.

Para el profesorado, el proyecto proporciona una herramienta accesible, reproducible y de bajo coste que permite plantear prácticas experimentales relevantes sin depender exclusivamente de equipamiento industrial costoso o de soluciones puramente virtuales. Además, la filosofía abierta del proyecto favorece la creación de una comunidad docente capaz de compartir mejoras, nuevas prácticas y recursos educativos reutilizables. En este sentido, el proyecto no se limita al desarrollo de hardware educativo, sino que promueve una metodología abierta de diseño y transferencia de experiencias docen-

tes, facilitando la adopción progresiva de nuevas estrategias experimentales y metodologías activas de aprendizaje.

Adicionalmente, el proyecto puede contribuir a la internacionalización de la educación en control mediante la creación de una red de colaboración entre universidades y el desarrollo de materiales abiertos, accesibles y reutilizables. La plataforma prevista facilitará el intercambio de documentación técnica, recursos docentes y experiencias de uso, favoreciendo la continuidad de los desarrollos más allá del propio proyecto. Finalmente, la iniciativa contribuirá a reforzar la visibilidad y el atractivo del control automático mediante experiencias prácticas más dinámicas y motivadoras, una de las principales preocupaciones actuales de la comunidad (Axelson-Fisk et al., 2022; Gallarta-Sáenz et al., 2023; González-Hernández et al., 2025). Asimismo, el proyecto podrá servir como entorno para explorar nuevas metodologías docentes basadas en gamificación, aprendizaje experiencial y laboratorios abiertos.

3. Maquetas desarrolladas

Esta sección muestra los diferentes desarrollos realizados hasta el momento por el equipo de la Universidad de Almería, incluyendo una maqueta del gobernador centrífugo de Watt, el sistema *Ball and Beam* y nuevos juegos para la *escape box*. Asimismo, se presenta la página web del proyecto, donde toda la documentación y los recursos desarrollados se encuentran disponibles de forma abierta.

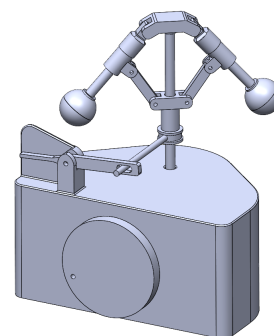


Figura 1: Diseño 3D del gobernador de Watt.

3.1. Gobernador centrífugo de Watt

El gobernador centrífugo de Watt es un mecanismo clásico utilizado para regular automáticamente la velocidad de una máquina de vapor mediante realimentación mecánica. Su funcionamiento se basa en dos masas giratorias que modifican la apertura de una válvula de vapor en función de la velocidad de giro, constituyendo uno de los primeros ejemplos históricos de control automático en lazo cerrado (Fortuna and Scibilia, 2026). En el marco de este proyecto se ha desarrollado una maqueta física basada en el gobernador centrífugo de Watt, orientada principalmente a tareas de divulgación y a la transmisión de los conceptos básicos del control automático en talleres dirigidos a estudiantes preuniversitarios, como los descritos en Hoyo et al. (2022). Para ello, se ha realizado un diseño tridimensional del sistema (ver Fig. 1), compuesto por una estructura mecánica con dos masas giratorias unidas mediante brazos articulados a un eje central.

El movimiento de estas masas permite visualizar de forma intuitiva el principio de realimentación asociado a la regulación automática de velocidad, convirtiendo la maqueta en una herramienta didáctica sencilla, visual e interactiva. La Fig. 2 muestra el estado actual del prototipo desarrollado.

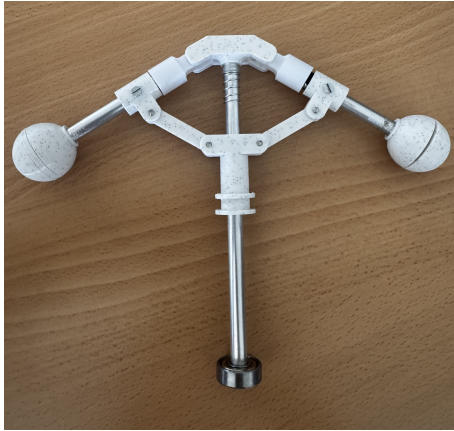


Figura 2: Construcción preliminar del prototipo.

3.2. Ball and Beam

El sistema *Ball and Beam* constituye una de las plataformas experimentales más utilizadas en el ámbito del control automático debido a su comportamiento inherentemente inestable y a la facilidad con la que permite ilustrar conceptos fundamentales relacionados con realimentación, estabilidad y diseño de controladores (Sutera et al., 2026). El sistema consiste en una bola que se desplaza sobre una barra cuya inclinación puede modificarse mediante un actuador, de manera que el objetivo de control consiste en regular la posición de la bola sobre la superficie. En el marco de este proyecto se ha desarrollado una maqueta física del sistema *Ball and Beam* orientada a actividades docentes y tareas de divulgación, diseñada mediante impresión 3D y hardware de bajo coste. La Figura 3 muestra el diseño 3D de dicha maqueta realizado en el marco de este proyecto.

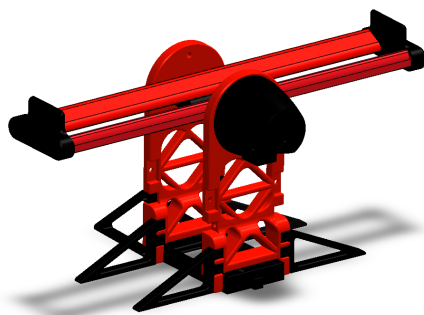


Figura 3: Diseño 3D Ball and Beam.

El diseño toma como referencia desarrollos abiertos previos, aunque se han realizado modificaciones tanto mecánicas como electrónicas para mejorar la estabilidad estructural y la calidad de las medidas adquiridas. En particular, se ha integrado un sensor láser basado en tecnología *Time-of-Flight* (ToF), permitiendo medir con mayor precisión y robustez la

posición de la bola respecto a soluciones tradicionales basadas en sensores ultrasónicos. Los detalles técnicos y las mejoras implementadas en la plataforma se describen en profundidad en Cañadas-Aránega et al. (2026), trabajo también enviado a las Jornadas de Automática. El resultado final de la maqueta construido se muestra en la Fig. 4.

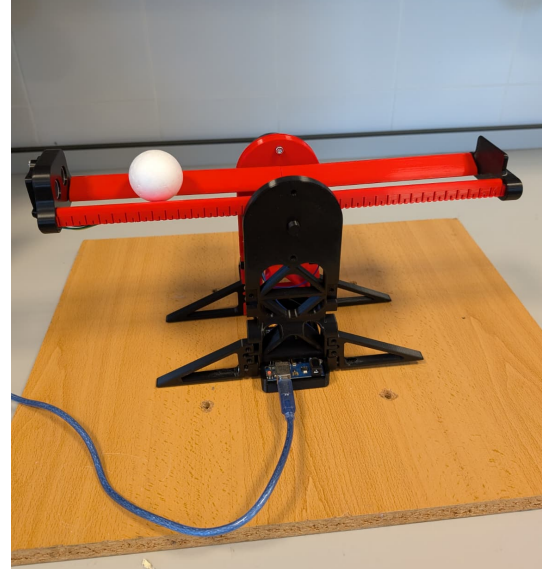


Figura 4: Maqueta del Ball and Beam.

Por otra parte, una de las principales características de la plataforma propuesta es su capacidad para implementar diferentes estrategias de control mediante su integración con entornos *Matlab/Simulink* y plataformas *Arduino*, constituyendo una herramienta didáctica versátil para la enseñanza de modelado dinámico, identificación de sistemas y diseño de controladores. Esta integración aporta un valor añadido significativo desde el punto de vista educativo, ya que permite a los estudiantes trabajar dentro de un entorno ampliamente utilizado tanto en el ámbito académico como industrial, facilitando la transición entre conceptos teóricos y aplicaciones prácticas. En particular, el uso de *Matlab/Simulink* posibilita la implementación directa de algoritmos de control, la adquisición y visualización de datos en tiempo real, así como la modificación rápida de parámetros y estructuras de control sin necesidad de intervenir sobre el hardware de bajo nivel. De este modo, los estudiantes pueden centrar su atención en la comprensión del comportamiento dinámico del sistema, la validación de modelos y el análisis comparativo del desempeño de diferentes estrategias de control. A modo de ejemplo ilustrativo, la Fig. 5 muestra un esquema de control directamente desarrollado en *Matlab/Simulink*, mientras que la Fig. 6 presenta los resultados obtenidos. Como se puede observar en dicha figura, es posible llevar a cabo tareas de simulación empleando tanto modelos lineales como no lineales del proceso, comparando en tiempo real las respuestas simuladas con las obtenidas experimentalmente en el sistema físico. Esta funcionalidad no solo favorece la comprensión de fenómenos como las no linealidades, retardos o incertidumbres del modelo, sino que también refuerza competencias prácticas relacionadas con la validación experimental y el ajuste de estrategias de control en entornos realistas.

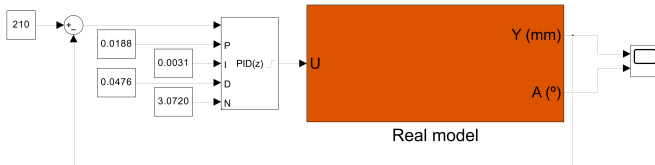


Figura 5: Esquema de control en Simulink

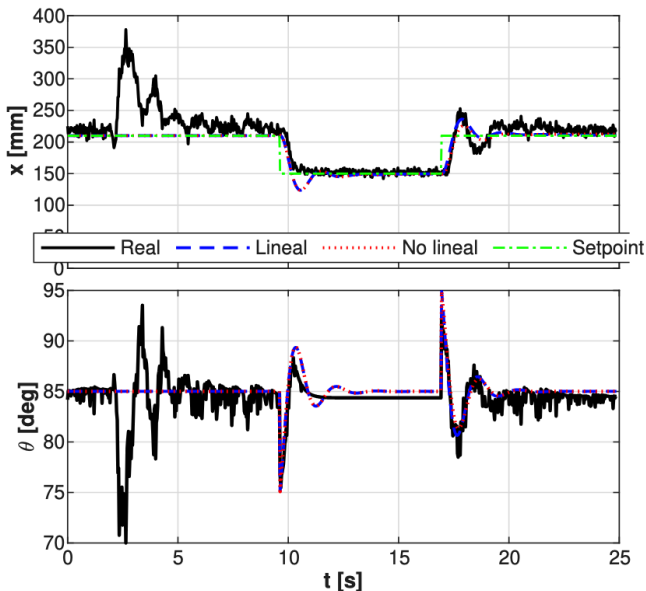


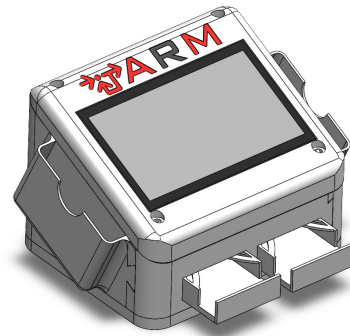
Figura 6: Ejemplo ilustrativo de ensayo de control.

Se debe destacar que, gracias al reducido coste de fabricación (≈ 17 €), portabilidad y facilidad de replicación, la plataforma desarrollada resulta especialmente adecuada para actividades prácticas en laboratorio y talleres formativos orientados a estudiantes de ingeniería. Incluso puede utilizarse en experiencias *take-home lab* (Guzmán et al., 2022), donde grupos de estudiantes puedan trabajar de forma autónoma fuera del entorno tradicional de laboratorio.

3.3. Scape box

La última plataforma desarrollada por el equipo de la Universidad de Almería consiste en una *escape box* educativa orientada a la enseñanza y divulgación de conceptos relacionados con la Ingeniería de Control mediante metodologías basadas en gamificación. La plataforma toma como base un desarrollo previo descrito en González-Hernández et al. (2025), en el que se presenta el diseño completo de una experiencia tipo *escape room* centrada en la resolución de desafíos relacionados con modelado dinámico, sensores y actuadores, análisis de sistemas y diseño de controladores PID.

En el marco del presente proyecto, y en sinergia con la iniciativa *Game-On Control*, proyecto de innovación docente actualmente en desarrollo por el equipo de la Universidad de Almería, se está desarrollando una nueva versión del prototipo con el objetivo de mejorar la experiencia interactiva del usuario y ampliar las posibilidades docentes de la plataforma, ver Fig. 7.

Figura 7: Diseño 3D del nuevo prototipo de *escape-box*.

Entre las principales mejoras introducidas destaca la integración de una pantalla táctil, que permitirá una interacción más dinámica e intuitiva con el sistema, facilitando tanto la navegación entre niveles como la presentación de información contextual, pistas y retos adaptativos. Los juegos presentan complejidad incremental y están desarrollados siguiendo la metodología descrita en González-Hernández et al. (2025), basada en el uso de diferentes mazos de cartas, retos secuenciales y preguntas interactivas cuya información se presenta dinámicamente en pantalla. Con el objetivo de favorecer su difusión y utilización por parte de la comunidad internacional, todos los contenidos del juego han sido completamente traducidos al inglés. A modo ilustrativo, la Fig. 8 muestra un ejemplo de una de las preguntas presentadas en pantalla durante el desarrollo de la experiencia, mientras que la Fig. 9 presenta algunas de las cartas asociadas a dicha prueba.

Question 1

To control the system, the first step is to identify the documents that reveal a regulation problem.

- 1) Document 1 and 7
- 2) Documents 2, 3 and 7
- 3) Documents 1, 2 and 6
- 4) Documents 2 and 6

A = Accept
B = Delete
C = Cancel

Figura 8: Ejemplo de preguntas del juego del sistema Scape box.

Actualmente, se están diseñando nuevos juegos y desafíos con distintos niveles de complejidad, orientados tanto a estudiantes preuniversitarios como a alumnado universitario de diferentes cursos de ingeniería. Se debe destacar que la modularidad del *escape box* permite adaptar la dificultad y los contenidos de la experiencia en función del perfil de los participantes, favoreciendo el aprendizaje progresivo de conceptos relacionados con automática, control e instrumentación industrial.

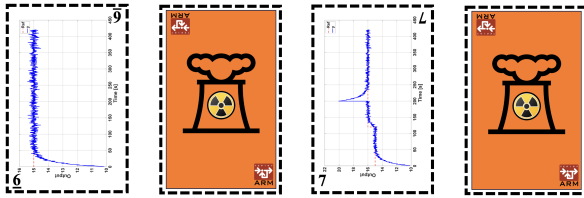


Figura 9: Ejemplo de cartas del juego.

3.4. Filosofía abierta y replicabilidad

Uno de los pilares fundamentales del proyecto CE2Labs es la filosofía de código abierto aplicada al desarrollo de laboratorios docentes. Toda la información relativa a las maquetas desarrolladas, incluyendo documentación técnica, archivos de impresión 3D, materiales docentes y recursos asociados, se encuentra disponible públicamente en la página web oficial del proyecto CE2Labs de la Universidad de Almería: <https://arm.ua1.es/ce2lab/>. Esta plataforma tiene como objetivo facilitar la replicabilidad de los desarrollos realizados y promover su utilización tanto en contextos docentes como en actividades de divulgación científica.

Este enfoque no solo reduce las barreras económicas asociadas a la implementación de laboratorios de control, sino que también favorece la creación de una comunidad internacional de colaboración docente, donde profesores y estudiantes puedan compartir mejoras, nuevas prácticas experimentales y experiencias de uso.

4. Conclusiones y trabajos futuros

Este trabajo ha presentado la iniciativa CE2Labs, un proyecto internacional de innovación docente orientado al desarrollo de maquetas físicas de bajo coste y código abierto para la enseñanza del control automático. Frente a las limitaciones existentes en numerosos laboratorios universitarios, especialmente en contextos con recursos reducidos, el proyecto propone una alternativa basada en plataformas accesibles, reproducibles y fácilmente adaptables a diferentes niveles formativos.

Los resultados obtenidos durante la primera fase del proyecto demuestran la viabilidad del enfoque propuesto. En particular, se han desarrollado diferentes plataformas experimentales que cubren distintos niveles de complejidad, desde sistemas mecánicos básicos, como el gobernador centrífugo de Watt, hasta maquetas avanzadas integradas con *Arduino* y *Matlab/Simulink*, como el sistema *Ball and Beam*. Asimismo, se ha avanzado en el desarrollo de experiencias basadas en gamificación mediante la plataforma *escape box*, incorporando dinámicas inspiradas en los *escape rooms* educativos para fomentar experiencias de aprendizaje más interactivas y motivadoras.

Además del desarrollo físico de las maquetas, el proyecto ha permitido establecer una infraestructura abierta para compartir diseños, documentación técnica y recursos educativos a través de la plataforma web CE2Labs, favoreciendo la creación de una comunidad internacional de docentes y estudiantes en torno a la educación en control.

Como líneas de trabajo futuro, se pretende realizar una validación docente sistemática de las plataformas desarrolladas

mediante experiencias piloto en distintas universidades participantes, evaluando su impacto sobre la motivación, el aprendizaje y la adquisición de competencias prácticas por parte del alumnado. Igualmente, se pretende desarrollar material docente de apoyo a las actividades académicas planteadas sobre las diferentes plataformas experimentales.

Por otra parte, se continuará trabajando en la mejora de las plataformas actuales, especialmente en la integración de nuevas funcionalidades electrónicas, interfaces interactivas y estrategias de gamificación adaptativa. Finalmente, se prevé consolidar la plataforma CE2Labs como un repositorio abierto y colaborativo para la comunidad internacional de educación en control, facilitando la reutilización, modificación y expansión de los desarrollos realizados en el marco del proyecto.

Agradecimientos

Este trabajo es parte del proyecto CE2Labs-Unlocking the Development and Experiences of Control Education Labs, financiado por el IFAC Activity Fund. Además, también ha recibido apoyo parcial del proyecto GAME-ON Control: Gamificación para la mejora del rendimiento académico y la participación activa en estudios de Ingeniería de Control (Ref. 25_26_1_03C) financiado por la Universidad de Almería.

Referencias

- Abramovitch, D. Y., 2023. Thoughts on furthering the control education of practicing engineers [focus on education]. *IEEE Control Systems Magazine* 43 (1), 64–88.
- Alsaleh, S., Tepljakov, A., Köse, A., Belikov, J., Petlenkov, E., 2022. Reimagine lab: Bridging the gap between hands-on, virtual and remote control engineering laboratories using digital twins and extended reality. *IEEE Access* 10, 89924–89943.
- Axelson-Fisk, M., Gentsch, M., Jackson, R. R., Knorn, S., Knorn, S., Paasche, L., Topalovic, D., Voit, S., 2022. Ctrl+ esc: An escape/exit room to teach control and its relevance to an audience outside engineering. *IFAC-PapersOnLine* 55 (17), 255–260.
- Broo, D. G., Kaynak, O., Sait, S. M., 2022. Rethinking engineering education at the age of industry 5.0. *Journal of Industrial Information Integration* 25, 100311.
- Cañadas-Aránega, F., Pataro, I. M. L., Rodríguez-Miranda, E., Alba, Gil, J. D., Guzmán, J. L., 2026. Plataforma ball and beam de bajo coste como apoyo a la enseñanza de conceptos introductorios de modelado y control automático. *XLVII Jornadas de Automática*. En revisión.
- Fortuna, L., Scibilia, A., 2026. The Watt governor express. *Control and Robotics Express Communications* 1 (1), 2.
- Gallarta-Sáenz, D., Rico-Azagra, J., Gil-Martínez, M., 2023. Learning enhancement of control engineering: A competition-based case. *IEEE Access* 11, 38240–38250.
- González-Hernández, J., Cañadas-Aránega, F., Hoyo, Á., Otálora, P., L. Pataro, I. M., Gil, J. D., 2025. Estimulando el aprendizaje a través del juego: Una experiencia gamificada en ingeniería de control en la Universidad de Almería. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial* 23 (1), 25–36.
- Guzmán, J. L., Costa-Castelló, R., Berenguel, M., Dormido, S., 2023. *Automatic control with interactive tools*. Springer.
- Guzmán, J. L., García-Mañas, F., Hoyo, A., 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.
- Hoyo, Á., Mañas-Álvarez, F., Rodríguez-Miranda, E., Gil, J. D., Castilla, M., Guzmán, J. L., 2022. Bringing automatics and robotics closer to pre-university students. *IFAC-PapersOnLine* 55 (17), 85–90.
- Pataro, I. M. L., Guzmán, J. L., Gil, J. D., Berenguel, M., González-Hernández, J., Cañadas-Aránega, F., Hoyo, Á., Otálora, P., 2024. PID Challenge. https://github.com/ua1-arm/PID_Challenge.
- Sutera, G., Guastella, D. C., Cancelliere, F., Muscato, G., 2026. Design and implementation of a ball and beam control system using a PID controller. *IEEE Transactions on Education* 69 (1), 71–81.