



Proyecto de Innovación  
Convocatoria 2021/2022

Nº de proyecto: 39

Integración de técnicas de Learning Analytics en la evaluación y mejora de las prácticas de laboratorio de las asignaturas de Ciencias e Ingeniería

Responsable del proyecto: Jesús Chacón Sombría

Facultad de Ciencias Físicas  
Departamento: Arquitectura de Computadores y Automática

# Integración de técnicas de Learning Analytics en la evaluación y mejora de las prácticas de laboratorio de las asignaturas de Ciencias e Ingeniería

## Resumen:

Las prácticas de laboratorio desarrolladas en el grupo ISCAR en los últimos años se encuadran dentro de tres tipos: virtual, presencial y remoto. Es conveniente disponer de las tres versiones de una práctica, ya que esto permite abordar una estrategia de aprendizaje que en líneas generales consta de tres fases. En la fase (1), el alumno tiene acceso a la versión virtual de la práctica, de forma que pueda familiarizarse con el sistema, la tarea a realizar y la interfaz de la aplicación. En la fase (2), el alumno realiza la práctica presencial en el laboratorio. Puesto que el alumno ya conoce el uso de la herramienta y puede centrarse en la tarea que debe realizar, se espera que el aprovechamiento del tiempo de laboratorio sea óptimo. En la fase (3), el alumno tiene acceso a la versión remota, donde puede dedicar tiempo para completar las tareas no terminadas en el laboratorio o para ampliar conocimientos mediante la realización de otras tareas más avanzadas o de mayor dificultad.

Por otra parte, el uso de herramientas software interactivas permite facilitar la recogida de una gran cantidad de información sobre la actividad del alumno durante la realización de la práctica, aprovechando el soporte que para llevar a cabo estas labores proporcionan las herramientas software EJS y Moodle LMS, ya que su uso combinado permite registrar los datos de interacción de los alumnos, y facilita el desarrollo de las simulaciones e interfaces gráficas de los laboratorios virtuales y remotos en los que se realizarán las prácticas. Finalmente, estos datos son procesados y analizados para detectar relaciones significativas entre el modo de realizar las prácticas de los alumnos y las calificaciones que obtienen, descubrir posibles mejoras en la forma de presentar la información a los alumnos, o determinar posibles dificultades que puedan encontrar con el uso de la interfaz de la aplicación.

Por tanto, este proyecto tiene como objetivos 1) la homogeneización de las prácticas de laboratorio de las asignaturas del área de Ingeniería de Sistemas y Automática (ISA), mediante la generación de tres versiones: virtual, presencial y remota; y 2) el estudio y mejora de los procesos de aprendizaje de los alumnos de las prácticas de laboratorio mediante herramientas y técnicas de Learning Analytics.

# Índice

<b>1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto</b>	<b>3</b>
<b>2. Objetivos alcanzados</b>	<b>4</b>
<b>3. Metodología</b>	<b>5</b>
<b>4. Recursos Humanos</b>	<b>6</b>
<b>5. Desarrollo de las actividades</b>	<b>7</b>
5.1. Circuitos analógicos . . . . .	8
5.2. Robot manipulador Dobot Magician . . . . .	9
5.3. Cuatrirrotor . . . . .	9
5.4. Sistema de levitación por aire . . . . .	10

# 1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es la mejora de los laboratorios del área de ISA mediante la homogeneización de sus prácticas de laboratorio y el análisis sistemático del funcionamiento de las mismas. Este objetivo principal se desglosa a su vez en dos objetivos generales: 1) la homogeneización de las prácticas de laboratorio de las asignaturas del área de ISA, mediante la generación de tres versiones: virtual, presencial y remota, y 2) el estudio y mejora de los procesos de aprendizaje de los alumnos de las prácticas de laboratorio mediante herramientas y técnicas de Learning Analytics. Además, durante todo el proceso, se buscará que los resultados obtenidos sean extrapolables a las prácticas de laboratorio de otro tipo de asignaturas de Ciencias e Ingeniería.

**Objetivo 1** La homogeneización de las prácticas de laboratorio de las asignaturas del área de ISA, mediante la generación de tres versiones: virtual, presencial y remota. Para alcanzarlo, se deberán cumplir los siguientes subobjetivos:

- O1.A** Revisar documentación y bibliografía reciente en el área de Laboratorios Remotos y Virtuales en Educación, para asegurar que se tienen en cuenta los últimos avances, las técnicas y herramientas más recientes y adecuadas.
- O1.B** Identificar las prácticas existentes y obtener un listado actualizado de la situación (versiones existentes, estado de funcionamiento, número de puestos disponibles, etc.). Se asignará un orden de prioridad según el estado/demanda y otros criterios que se determinen durante la creación del listado.
- O1.C** Realizar una planificación temporal del desarrollo de las prácticas, según los recursos disponibles en el proyecto y la prioridad asignada a cada práctica. Se designará una práctica piloto con el doble propósito de a) detectar en una etapa temprana del proyecto posibles dificultades que puedan surgir en la homogeneización y de b) usar como modelo de referencia en el desarrollo de otras prácticas.
- O1.D** Establecer una metodología de conversión sistemática que minimice el esfuerzo de desarrollo necesario para la convergencia de las prácticas, y que garantice la robustez y calidad de las mismas.
- O1.E** Realizar la homogeneización de las prácticas seleccionadas, siguiendo como modelo de referencia la práctica piloto y la metodología de conversión propuesta.

**Objetivo 2** Estudiar y mejorar los procesos de aprendizaje de los alumnos de las prácticas de laboratorio, mediante herramientas y técnicas de Learning Analytics.

- O2.A** Revisar documentación y bibliografía reciente en el área de Learning Analytics, para asegurar que se tienen en cuenta los últimos avances, las técnicas y herramientas más recientes y adecuadas.
- O2.B** Poner en funcionamiento el sistema de recolección de los datos de interacción de los alumnos, e integrarlo en las prácticas de laboratorio. Para ello, se utilizarán las capacidades disponibles para tal fin en el sistema de gestión del aprendizaje Moodle y en la herramienta EjsS.
- O2.C** Realizar un estudio de los datos de interacción recogidos y relacionarlos con los resultados obtenidos por los alumnos mediante la aplicación de técnicas de análisis que permitirán reflexionar sobre el proceso de aprendizaje, identificar posibles deficiencias en la realización de las prácticas y determinar medidas de acción correctivas.
- O2.D** Utilizar la experiencia obtenida para desarrollar una interfaz de visualización y generación de informes de resultados del análisis del aprendizaje, que facilite el acceso a estas

herramientas a todo el equipo docente sin necesidad de que éste deba convertirse en un experto en dichas técnicas.

- O2.E** Publicitar y publicar la nueva herramienta que se desarrolle en los foros adecuados. Por una parte, una vez que estén listos los diferentes laboratorios, se planea difundir su existencia dentro del ámbito más próximo, el de la propia Facultad de Ciencias Físicas, para explorar la posibilidad de desarrollar nuevas experiencias con esta metodología en un futuro próximo. Por otra, se desea publicar los resultados obtenidos en jornadas, conferencias y revistas relacionadas con el desarrollo de nuevas herramientas educativas para la creación de laboratorios remotos (como podrían ser las Jornadas de Innovación de la UCM, las Jornadas de Automática, expAt o el IEEE Transaction on Education). En conjunto, los objetivos propuestos se centran en torno a la necesidad de disponer de herramientas integrales que incorporen técnicas de análisis del aprendizaje, que permitan una experiencia homogénea y mejorada de las prácticas de laboratorio, y que puedan ser utilizadas en los campos de Ciencias e Ingeniería y en nuestro entorno más cercano.

## 2. Objetivos alcanzados

Los objetivos propuestos al inicio del proyecto han sido alcanzados satisfactoriamente, como se refiere a continuación.

**Objetivo 1** La homogeneización de las prácticas de laboratorio de las asignaturas del área de ISA, mediante la generación de tres versiones: virtual, presencial y remota. Para alcanzarlo, se han cumplido los siguientes subobjetivos:

- O1.A** Revisamos la bibliografía sobre laboratorios remotos en la fase inicial del proyecto.  
**O1.B** Creamos un listado de las prácticas que se han venido realizando en las asignaturas del área en los últimos años.

Práctica	Número de puestos	Asignaturas
Circuitos Analógicos	40	SL, PdS, CdS
Motores DC	20	CdS
Dobot Magician	1	Robótica
Levitador	1	PdS, CdS
Cuattrirrotor	1	CdS
Monorrotor	1	CdS
Motor	1	SL, CdS

- O1.C** Determinamos utilizar los sistemas de circuitos analógicos como práctica piloto.  
**O1.D** La experiencia piloto sirvió para proponer una metodología de conversión.  
**O1.E** Seleccionamos las prácticas del brazo robótico prioritarias para la actualización: Dobot Magician, levitador y cuattrirrotor.

**Objetivo 2** Estudiar y mejorar los procesos de aprendizaje de los alumnos de las prácticas de laboratorio, mediante herramientas y técnicas de Learning Analytics.

- O2.A** Revisamos la bibliografía sobre *learning analytics* en la fase inicial del proyecto.  
**O2.B** Hemos puesto en marcha la infraestructura necesaria para la recolección y almacenamiento de datos de interacción con las prácticas de laboratorio remoto.  
**O2.C** Los datos recogidos en la experiencia piloto permitieron validar el funcionamiento del sistema en un escenario real de aplicación con los alumnos.

- O2.D** Hemos desarrollado código Python en forma de cuaderno colaborativo que nos permite procesar los datos recogidos, obteniendo estadísticas descriptivas e indicadores como tiempos de uso, número de acciones, etc.
- O2.E** Hemos realizado publicaciones en congresos nacionales (Jornadas de Automática, Jornadas Aprende TIC UCM), congresos internacionales (IFAC Advances in Control Education 2022) y está planeada, aunque en proceso de escritura, una publicación en revista internacional.

### 3. Metodología

Para poder obtener beneficios del análisis del aprendizaje, es importante establecer una estrategia de aplicación progresiva que facilite una transición suave desde la situación actual. Para ello, el primer paso debe ser homogeneizar las prácticas de laboratorio, asegurando la disponibilidad en todos los casos de las versiones de laboratorio virtual, presencial y remoto. Una vez logrado este punto, es importante conseguir la sistematización y racionalización de la recogida de datos, aprovechando en la medida de lo posible las capacidades proporcionadas por el sistema de gestión del aprendizaje Moodle (como plataforma institucional de la UCM) y por la herramienta EJS, que será utilizada para la construcción de las herramientas interactivas del laboratorio. Es preciso tener en cuenta que es importante no solo obtener datos, sino que estos estén estructurados de manera que faciliten la interoperabilidad con otros sistemas, para garantizar que la metodología propuesta sea lo más generalista posible y pueda aplicarse en una amplia diversidad de escenarios. En este sentido, se tratarán de utilizar soluciones estándar como la Experience API (anteriormente llamada: Tin Can API) para representar y almacenar la interacción del usuario en las actividades de aprendizaje. El trabajo se estructuró en las siguientes tareas:

- Tarea 1** Realizar una revisión bibliográfica sobre laboratorios virtuales y remotos (O1.A) y Learning Analytics (O2.A) para garantizar la aplicación de técnicas y soluciones acordes con los últimos avances en el área.
- Tarea 2** Realizar un listado de las prácticas de laboratorio (O1.B) existentes actualmente en los cursos impartidos en el área de ISA, identificando al menos los siguientes datos: a) versiones de la práctica disponibles (virtual/presencial/remoto), b) estado (en producción/en mantenimiento/en desarrollo), y c) número de puestos disponibles.
- Tarea 3** Determinar y ejecutar una hoja de ruta para actualizar y completar las prácticas (O1.C) identificadas en la tarea 1. Debido a la cantidad de prácticas existentes y al esfuerzo requerido, se realizará una planificación basada en prioridades que se asignarán a las prácticas según factores como su relevancia en el contexto de la asignatura o su estado de desarrollo.
- Tarea 4** Completar las tres versiones (virtual, presencial y remota) de las prácticas de laboratorio (O1.E). Dado que interesa tener un prototipo funcional en una etapa temprana del proyecto para garantizar la viabilidad del proyecto, se seleccionará una práctica “piloto” sobre la que se centrarán inicialmente los esfuerzos de desarrollo para establecer la metodología de conversión (O1.D). Preferiblemente se elegirá una práctica de laboratorio para la que exista la versión presencial/remota, ya que habitualmente el proceso de desarrollo de ésta es más lento que el de la versión virtual.
- Tarea 5** Utilizar la práctica de referencia seleccionada en la tarea 4 para realizar una primera experiencia con los alumnos, enfocada a recoger los datos de interacción que puedan ser relevantes para el estudio (O2.B) (p.e. tiempos de uso, entradas de teclado y ratón, etc.). La recogida de datos se realizará utilizando capacidades integradas en EJS para tal fin.

**Tarea 6** Determinar las técnicas y herramientas de análisis (O2.C) que sean más adecuadas para el caso de estudio, y utilizar la experiencia para diseñar una metodología que facilite la integración de las técnicas de análisis del aprendizaje en la realización de las prácticas de laboratorio.

**Tarea 7** Desarrollar una herramienta de análisis, visualización y generación de informes de resultados que permita hacer el proceso más accesible a educadores que no sean necesariamente expertos en las técnicas de análisis del aprendizaje (O2.D).

**Tarea 8** Publicitar y publicar la herramienta desarrollada (O2.E), tanto en nuestro ámbito más próximo (la Facultad de Ciencias Físicas) como en el mundo académico educativo (mediante publicaciones en conferencias o revistas especializadas en herramientas educativas).

## 4. Recursos Humanos

Las personas que han participado en la realización de este proyecto se listan a continuación:

**Responsable** Prof. Jesús Chacón Sombría.

**PDI UCM.**

1. Prof. Eva Besada Portas
2. Prof. Lía García Perez
3. Prof. Héctor García de Marina Peinado
4. Prof. Juan Francisco Jiménez Castellanos
5. Prof. Jose Antonio López Orozco
6. Prof. Jose Luis Risco Martín

**PDI** de otras universidades.

1. Prof. Luis de la Torre Cubillo
2. Prof. Hector Vargas Oyarzún

**PAS UCM.**

1. Félix Marquez Vidal
2. David Sánchez Foces

**Alumnos UCM.**

1. Alejandro Gutierrez Fontan
2. Daniela Alejandra Goncalvez López
3. Amalia Pintado Barrera
4. Alvaro Borja Velasco García

Las responsabilidades y participación de los miembros del proyecto en cada tarea han sido distribuidas atendiendo a sus experiencias previas: Las tareas 1, 2 y 3 se realizó de forma coordinada entre todos los profesores participantes, por medio de reuniones preliminares en las que se aportó toda la información disponible sobre las prácticas y se acordó una planificación que minimice el impacto sobre el desarrollo de los respectivos cursos. Los profesores Jose Luis Risco, Juan Francisco

Jiménez, Lía García y Hector García fueron los responsables de la tarea 4 debido a su experiencia previa en el uso y en la puesta en marcha de otros laboratorios remotos de ISA de la UCM. Esta experiencia resultó fundamental para poder usar una herramienta antes de que se encuentre documentada y poder documentar correctamente los pasos más importantes para usarla.

Los profesores Jesús Chacón, José Antonio López Orozco y Eva Besada coordinaron las tareas 5, 6 y 7, debido a la experiencia de los tres en el desarrollo y aplicación de diferentes metodologías para la creación de laboratorios remotos y virtuales, la participación en el desarrollo de la herramienta existente, y la experiencia de los dos últimos en metodologías docentes y del primero en el diseño y desarrollo de aplicaciones web. Además, fueron responsables de supervisar el trabajo de los alumnos que colaboraron en la puesta en marcha de las prácticas de ISA de las Tarea 4 y 5.

El personal técnico compuesto por David Sánchez y Félix Márquez proporcionó el apoyo necesario para realizar diferentes labores: instalación de las herramientas necesarias, montaje del hardware de las nuevas prácticas, conexión de los equipos a la red, y otras dificultades técnicas que puedan surgir.

Los profesores externos Luis de la Torre y Hector Vargas actuaron en calidad de colaboradores expertos en desarrollo de herramientas interactivas y educación en Ingeniería, contribuyendo a las pruebas del software y a la divulgación y publicidad de resultados en otras instituciones.

Los alumnos que participan en el proyecto (Amalia Pintado, Daniela Goncalves, Alejandro Gutierrez y Alvaro Borja) colaboraron en la puesta en marcha de cada una de las prácticas que se determinaron en la tarea 2. Finalmente, indicar que la Tarea 8 se realizó por todos los profesores del proyecto, y que la documentación final del proyecto fué responsabilidad del coordinador del mismo.

## 5. Desarrollo de las actividades

A continuación se describen las actividades más relevantes que se han realizado a lo largo del proyecto. La primera fase consistió en la puesta en marcha de la plataforma e infraestructura necesaria para realizar las prácticas:

1. Instalación de la plataforma ReNoLabs como servidor de laboratorio remoto.
2. Instalación de la plataforma de gestión del aprendizaje Moodle LMS. El proceso de instalación se realizará mediante tecnologías de contenerización Docker (<https://www.docker.com/get-started>) y despliegue en Cloud.
3. Configuración de Moodle LMS para dar soporte a la recogida de datos del aprendizaje (LRS, Learning Record System):
4. Instalación y configuración del plugin: <https://gitlab.com/ejsS/addon-projects/moodle-plugin> Configuración de permisos de usuario. Activación de servicios web y otras opciones requeridas para la correcta ejecución. Instalación (en el cliente) de la herramienta software EJS y familiarización con la misma mediante el desarrollo de una actividad mínima a modo de prueba.
5. Alta de actividad en Moodle LMS a través del plugin EJS for Moodle configurado previamente. Se creará un curso y se incluirá en el la actividad desarrollada en el punto 3. A continuación se verificará que la recogida de datos de interacción funciona correctamente.

La segunda fase consistió en el desarrollo de la experiencia piloto:

1. Diseño de una actividad piloto, teniendo en cuenta los siguientes puntos:



Figura 1: Circuitos analógicos.

- Definición de los objetivos de la práctica y resultados del aprendizaje esperados.
  - Especificación de los indicadores (tiempos de acceso/permanencia, pulsaciones de botones, introducción de datos, etc.) que puedan resultar relevantes.
  - Diseño cuidadoso de los elementos de la interfaz que permite recoger los indicadores especificados.
  - Inclusión de la actividad en Moodle y pruebas preliminares (a ser posible con alumnos reales, o en su defecto con miembros del equipo de investigación).
2. Obtención de los datos recogidos durante la actividad, exportación en formato csv (o similar) para poder procesar en software externo (Python/Jupyter, etc.). Se tratará de detectar posibles dificultades en la recogida de datos, defectos o falta de características deseables del LRS, así como posibles mejoras a implementar. Es importante también determinar patrones/antipatrones de diseño a tener en cuenta.
  3. Revisión y análisis de los resultados, se desarrollo código Python para automatizar el procesamiento de los datos.
    - Obtención de datos de diferentes orígenes: a) *calificaciones y observaciones del profesor*, b) *registros de actividad en Moodle LMS* y c) *datos de interacción con el laboratorio*.
    - Estructuración de los datos.
    - Cálculo de indicadores.
    - Etiquetado de acciones.

Finalmente, en base a la metodología desarrollada con la experiencia piloto, se realizó la adaptación de las prácticas que se describen a continuación.

### 5.1. Circuitos analógicos

Este laboratorio remoto presenta varias versiones (ver Figura 1), ya que se utiliza actualmente para realizar diferentes actividades en las asignaturas de Sistemas Lineales, Procesamiento de Señales y Control de Sistemas. El ejemplo que se describe corresponde a una práctica de laboratorio del curso de Sistemas Lineales.

La tarea consiste en la identificación de un Sistema Lineal e Invariante en el tiempo (LTI) desconocido, mediante el estudio de la relación entre las señales de entrada y salida. Más en concreto, una propiedad característica de los sistemas LTI es que, al ser excitados con una señal de

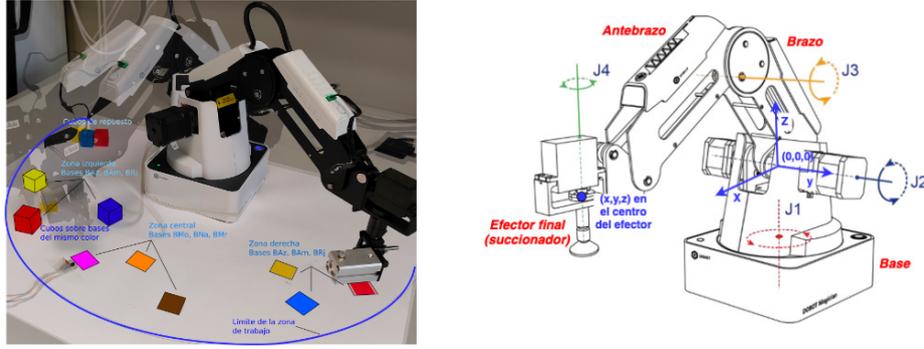


Figura 2: Dobot Magician en su entorno de trabajo.

entrada senoidal con una amplitud y frecuencia determinada, del tipo  $x(t) = A\sin(\omega t)$ , la salida del sistema es también senoidal y de la misma frecuencia, aunque modificada en amplitud y fase  $y(t) = |H(j\omega)|A\sin(\omega t + \arg H(j\omega))$  según la respuesta en frecuencia del sistema  $H(j\omega)$ , que define su comportamiento y es una propiedad intrínseca del mismo. Para identificar un sistema desconocido, un procedimiento básico pero muy didáctico e interesante desde un punto de vista docente, consiste en la excitación del sistema con entradas senoidales de diferentes frecuencias, para observar la modificación en amplitud y fase que sufre la señal al pasar a través del sistema.

## 5.2. Robot manipulador Dobot Magician

El robot manipulador Dobot Magician, mostrado en la Figura 2, es un pequeño brazo robótico que está formado por una base, un brazo, un antebrazo y, opcionalmente, un efector final (a elegir entre pinza o succionador). Además, cuenta con tres articulaciones de revolución (J1, J2 y J3, mostradas en la Figura 3b) y opcionalmente, cuando se le conecta el efector final, con una articulación de revolución adicional (denominada J4). La posición 3D del efector final se mide respecto el origen de coordenadas de sus ejes cartesianos que, tal y como se muestra en la Figura 3b, se sitúa a la altura de la segunda de las articulaciones. Finalmente, también permite la conexión de señales digitales o analógicas externas, por lo que se le puede conectar algún sensor para la toma de decisiones durante los experimentos realizados con el brazo robótico.

En esta práctica, el alumno debe obtener los parámetros de Denavit-Hartenberg del robot a partir de la información que se le proporciona. Una vez obtenida la tabla de parámetros, debe calcular las matrices  ${}^{i-1}A_i$  e implementar en Matlab una función para la cinemática directa del robot. Finalmente, debe verificar, utilizando el laboratorio remoto, que el Dobot Magician se comporta de la misma forma que predicen las funciones que ha implementado en Matlab.

Una vez comprobado que conoce el funcionamiento del Dobot, debe diseñar el movimiento necesario para llevar a cabo una operación de montaje sencilla con los elementos disponibles en la Figura 3 y programarlo a través de la interfaz proporcionada. Información adicional de este laboratorio remoto puede encontrarse en [1].

## 5.3. Cuatrirrotor

El planeador de 3 grados de libertad de Quanser, en la Figura 4a, consiste en un marco planar montado en una articulación que le permite rotar libremente en los ejes de alabeo, cabeceo y guiñada (roll, pitch, yaw). El ángulo en cada eje se mide con un encoder óptico de alta resolución, de la familia de terminales de entrada salida Beckhoff EtherCAT, y se controla con 4 motores DC que gobiernan sus respectivos propulsores y también están conectados a la tarjeta de salidas analógicas Beckhoff EtherCAT.

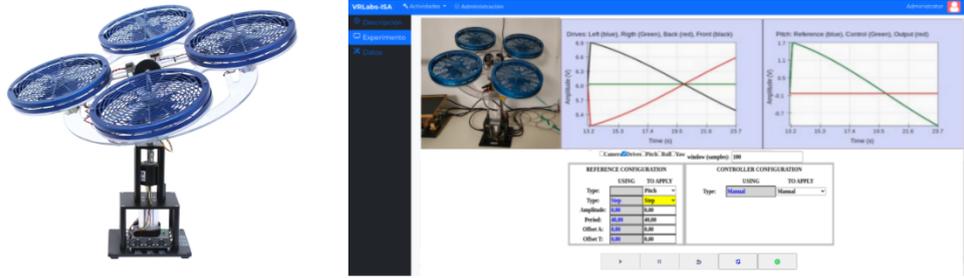


Figura 3: Planeador 3GdL de Quanser y su laboratorio remoto en ReNoLabs.

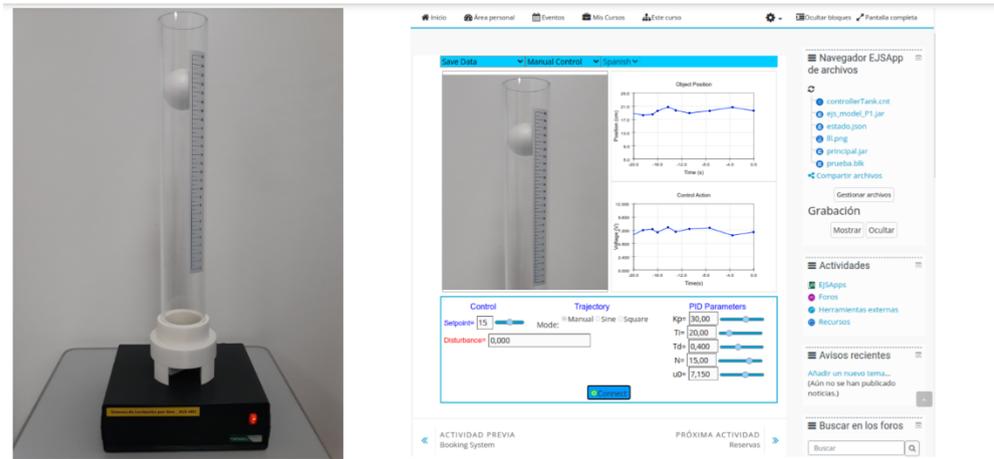


Figura 4: Sistema de levitación por aire.

El sistema es adecuado para enseñar conceptos básicos de control automático en cursos introductorios de grado, tales como reguladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo), o más avanzados como control en modo deslizante (SM, del inglés Sliding Mode) o por linealización de la realimentación (FL, del inglés Feedback Linearization), más adecuados a nivel de master. En los diferentes cursos, las actividades realizadas consisten en 1) identificar un modelo del sistema observando la respuesta temporal entrada-salida, y 2) el ajuste y validación del controlador PID, SM o FL, según el caso. La figura 4b muestra la interfaz de ésta última. Información adicional sobre este laboratorio remoto pueden encontrarse en ([2]).

#### 5.4. Sistema de levitación por aire

El sistema de levitación por aire ([3, 4]) consiste, esencialmente, en un tubo con un ventilador acoplado en uno de los extremos y abierto por el otro extremo (ver Figura 5). El flujo de aire dentro del tubo generado por el ventilador puede ser utilizado para hacer levitar un objeto ligero en la posición que se desee. Este sistema permite enseñar conceptos de modelado de sistemas lineales, procesamiento de señales y control de sistemas. Una característica interesante de este sistema es que se ha construido desde cero, haciendo uso de tecnologías de prototipado rápido y componentes de bajo coste, con la idea de poder replicar el sistema de forma sencilla y económica. Al tratarse de un sistema inestable en lazo abierto, resulta adecuado para ilustrar la necesidad de contar con un lazo de realimentación para garantizar el comportamiento adecuado del sistema. Además, su rápida dinámica permite una ágil experimentación.

Entre las actividades que se pueden realizar sobre esta planta destacan 1) la identificación de un

modelo del sistema observando la respuesta temporal entrada-salida, y 2) el diseño, implementación, ajuste y validación de un controlador PID o por realimentación de estados. La figura 5b muestra la interfaz del laboratorio remoto del levitador. En este caso, se muestra la versión integrada en la plataforma Moodle LMS.

## Referencias

- [1] D. Goncalves-López-Medrano, J. Chacón, and E. López-Orozco, J.A andy Besada-Portas, “Laboratorio remoto para el robot educativo Dobot Magician,” in *XLII Jornadas de Automática*, 2021.
- [2] J. Chacón, E. Besada-Portas, L. García-Pérez, and J. López-Orozco, “Efficient deployment of remote laboratories with TwinCAT-PLCs and EjsS plugins,” in *13th IFAC Symposium on Advances in Control Education.*, 2022.
- [3] J. Chacon, J. Saenz, L. D. l. Torre, J. M. Diaz, and F. Esquembre, “Design of a low-cost air levitation system for teaching control engineering,” *Sensors*, vol. 17, no. 10, 2017.
- [4] D. Chaos, J. Chacón, E. Aranda-Escolástico, and S. Dormido, “Robust switched control of an air levitation system with minimum sensing,” *ISA Transactions*, vol. 96, 2019.