

BORDÓN

Revista de Pedagogía

NÚMERO MONOGRÁFICO / *SPECIAL ISSUE*

Educación STEM: tecnologías emergentes para
el aprendizaje científico
STEM education: emerging technologies for science learning

Alicia Palacios Ortega, Daniel Moreno Mediavilla
y Virginia Pascual López (editores invitados / *guest editors*)



Volumen 74
Número, 4
2022

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE PEDAGOGÍA

EXPERIENCIA *BLENDED LEARNING* APOYADA EN UN LABORATORIO VIRTUAL PARA EDUCACIÓN DE MATERIAS STEM

Blended learning experience supported by a virtual laboratory for STEM subjects training

ELENA ARCE⁽¹⁾, FRANCISCO ZAYAS-GATO⁽¹⁾, ANDRÉS SUÁREZ-GARCÍA⁽²⁾, ÁLVARO MICHELENA⁽¹⁾, ESTEBAN JOVE⁽¹⁾, JOSÉ-LUIS CASTELEIRO-ROCA⁽¹⁾, HÉCTOR QUINTIÁN⁽¹⁾ Y JOSÉ LUIS CALVO-ROLLE⁽¹⁾

⁽¹⁾ *Universidade da Coruña (España)*

⁽²⁾ *Centro Universitario de la Defensa de la Armada Española (España)*

DOI: 10.13042/Bordon.2022.95592

Fecha de recepción: 14/07/2022 • Fecha de aceptación: 27/07/2022

Autor de contacto / Corresponding author: Francisco Zayas-Gato. E-mail: f.zayas.gato@udc.es

Cómo citar este artículo: Arce, E., Zayas-Gato, F., Suárez-García, A., Michelena, Á., Jove, E., Casteleiro-Roca, J. L., Quintián, H. y Calvo-Rolle, J. L. (2022). Experiencia *blended learning* apoyada en un laboratorio virtual para educación de materias STEM. *Bordón, Revista de Pedagogía*, 74(4), 125-143. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2022.95592>

INTRODUCCIÓN. La reciente pandemia provocada por la COVID-19 ha supuesto numerosos cambios en los protocolos de salud pública, así como un profundo impacto socioeconómico. Políticas como el distanciamiento social y los confinamientos han condicionado las relaciones interpersonales y derivado en consecuencias dramáticas para muchas empresas y trabajadores. Concretamente, en el marco educativo, las universidades se han visto obligadas a adaptar las metodologías docentes a causa de las políticas de control implantadas por las autoridades. Por ello, el uso de herramientas para la docencia *online*, combinadas con experiencias en docencia presencial (*blended learning*, BL), constituye un interesante enfoque dentro de este contexto. **MÉTODO.** BL permite la reducción de la ratio de estudiantes por aula, evitando la supresión total de la presencialidad, y permitiendo también aprovechar las ventajas de ambas modalidades. En este sentido, una interesante propuesta es la implementación de un entorno de simulación virtual para estudiantes de ingeniería, cuyo objetivo es la emulación de un sistema real de control de nivel de líquido, disponible en los laboratorios de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Ferrol, de la Universidad de A Coruña. Con el objetivo de evaluar el efecto de la metodología BL en el rendimiento académico del alumnado, se compararon las calificaciones obtenidas en el trabajo tutelado en dos cursos académicos. **RESULTADOS.** Para llevar a cabo este trabajo, se propone una experiencia BL apoyada en un laboratorio virtual construido a partir de la integración de dos novedosas la frase correcta sería: “herramientas de *software*”. Factory I/O como sistema de virtualización y emulación de escenas y plantas industriales reales y Node-RED como entorno de programación para el diseño de sistemas de control y comunicación. Con base en los resultados académicos, se concluye que esta metodología tiene un efecto positivo en el rendimiento de los estudiantes. **DISCUSIÓN.** Este entorno realista de simulación y de visualización 3D en tiempo real aporta flexibilidad a los estudiantes facilitando la organización de sus tareas y les permite trabajar de forma autónoma aplicando los conceptos base de la ingeniería de control. Además, esta experiencia BL ayuda a los estudiantes a desarrollar competencias básicas (duras) y transferibles (blandas).

Palabras clave: *Blended learning, Educación en ingeniería, Aulas virtuales, COVID-19.*

Introducción

El impacto de la COVID-19 ha derivado en graves y dramáticas consecuencias para la sociedad a nivel mundial. Desde la declaración de pandemia por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la mayoría de los Gobiernos han aplicado medidas urgentes con el objetivo de prevenir la rápida propagación del coronavirus y evitar el colapso de los centros sanitarios. En este contexto, con la aplicación de políticas de restricción de movilidad la sociedad se ha visto obligada a adaptarse a esta nueva situación, condicionando notablemente tanto la vida laboral como las relaciones sociales (R.D.L. 21/2020, de 9 de junio; R.D. 926/2020, de 25 de octubre).

Con respecto a la comunidad educativa, la mayoría de los centros han tenido que suspender la actividad docente (Nicola *et al.*, 2020) de forma presencial, atendiendo a las directrices de las autoridades. Por ello, la implantación de la modalidad *online* se ha convertido en esencial para dar continuidad a los cursos. Estas circunstancias han supuesto un reto para estudiantes y profesores, al condicionar notablemente las metodologías docentes (Jena, 2020).

Por otra parte, metodologías docentes como las prácticas de laboratorio, que se realizan en espacios especiales, con equipamiento especializado (laboratorios, aulas de informática, etc.) y con un carácter eminentemente presencial, se han visto especialmente afectadas por estas circunstancias excepcionales, al precisar de material y espacios específicos para su desarrollo. En este sentido, es común que exista una limitación en el número de equipos o herramientas, lo cual hace necesaria la organización de las prácticas de laboratorio en grupos de varios estudiantes. En el contexto de pandemia, no ha sido factible ni recomendable la realización presencial de prácticas en grupos debido a la naturaleza contagiosa del coronavirus SARS-CoV-2. Por ello, surgió la necesidad de proponer una estrategia alternativa. Hay que señalar que los grados STEM (*Science, Technology, Engineering*

and Mathematics), junto con los del ámbito de ciencias de la salud, se han visto especialmente afectados por esta coyuntura, debido a la carga horaria asociada a la realización de prácticas de laboratorio dentro del plan de estudios de las titulaciones.

En el ámbito STEM, las prácticas de laboratorio, entendidas como actividades de aplicación de conocimientos a situaciones concretas y de adquisición de habilidades básicas y procedimentales relacionadas con la materia objeto de estudio, representan un importante complemento a las sesiones expositivas, al poder aplicar ese conocimiento a través del manejo de equipos y la realización de experimentos (De Jong *et al.*, 2013). La literatura ha demostrado que el aprendizaje de la ciencia por indagación, en el que el alumnado realiza investigaciones, en comparación con la enseñanza clásica, que incluye exclusivamente conferencias o demostraciones del profesor, presenta innumerables ventajas (Singer *et al.*, 2005). Las prácticas de laboratorio ofrecen a los estudiantes la oportunidad de interactuar directamente con los materiales y/o equipos utilizando herramientas, técnicas de recogida de datos, modelos y teorías científicas (Comisión Europea, 2007). Si se considera la dificultad de realizar las prácticas de laboratorio de manera presencial, una solución alternativa es el manejo y control remoto de las plantas de laboratorio. Aunque este enfoque es interesante, podría no ser factible en algunos casos, ya que necesita de infraestructura de telecomunicaciones y aplicaciones informáticas a medida para poder acceder a dichos equipos. A esto se suma la carencia de interfaces físicos del equipamiento para poder establecer dicha conexión. Por todo ello, la aplicación de experiencias de aprendizaje mixto o *blended learning* (BL), con el apoyo de modernas herramientas para emulación y virtualización, surgen como una alternativa interesante para abordar esta problemática.

La metodología BL se basa en la combinación de actividades de enseñanza *online* y *offline* (Deschacht y Goeman, 2015). Considerado como un

modelo mixto de aprendizaje, la principal ventaja de esta herramienta es su flexibilidad en términos de planificación para los estudiantes (Fernández-Miranda *et al.*, 2022). Además, BL permite ofrecer una enseñanza personalizada, centrada en las necesidades de los alumnos, brindando también un entorno colaborativo para alumnos y docentes (Al-Samarraie y Saeed, 2018). Una de las desventajas de este método es la alta dependencia tecnológica. Esto podría derivar en un desperdicio de recursos, en caso de que los estudiantes desconozcan la tecnología utilizada (Míguez-Álvarez *et al.*, 2020).

Se ha demostrado que los estudiantes necesitan desarrollar una combinación de habilidades, adquiriendo competencias básicas (duras) y transferibles (blandas) (Clarke, 2018). El desarrollo de habilidades blandas se considera esencial dentro de la OCDE y la UE, debido a la relevancia de estas habilidades a nivel laboral (Llamas *et al.*, 2019). Además, desde el ámbito educativo universitario se debe promover el desarrollo de competencias y habilidades que no están específicamente incluidas en el currículo, pero que son demandadas en el mercado laboral (habilidades blandas). Sin embargo, los planes de estudio convencionales se desarrollan en función de las competencias básicas o duras (Yildiz *et al.*, 2021). De este modo, los docentes deben promover el desarrollo de competencias o habilidades, por lo que la elaboración de materiales y experiencias no debe centrarse exclusivamente en los contenidos (Rizzi *et al.*, 2020).

En este contexto, es necesario un rediseño de la metodología docente con el apoyo de los últimos avances de las tecnologías de la información (TI). Hoy en día, gracias a la digitalización, es posible la combinación de aplicaciones de *software* para la implementación de laboratorios virtuales (Daniel, 2020). Por ello, se propone la integración de dos aplicaciones: Factory I/O y Node-RED, en el marco de la materia de Tecnología de Sistemas de Control dentro del Máster Universitario en Ingeniería Industrial. Estas aplicaciones se utilizaron para la construcción

de un escenario virtual que emula el aspecto y el comportamiento de las plantas de laboratorio reales, sirviendo como herramienta de apoyo para una experiencia BL. Adicionalmente, esta propuesta didáctica buscó abordar algunas de las deficiencias encontradas en el diseño de metodologías de aprendizaje virtual convencionales (p. ej., conseguir emular los dispositivos reales tanto en comportamiento como en apariencia) y lograr el desarrollo de habilidades del siglo XXI. La propuesta implicó la integración de la teoría y la práctica, la aplicación de los conocimientos y el desarrollo de habilidades duras y blandas.

Método

Asignatura de Tecnología de Sistemas de Control

El Máster Universitario en Ingeniería Industrial tiene una carga total de 120 ECTS. Es importante destacar que se trata de un máster que habilita para el ejercicio de la profesión de ingeniero industrial (Orden CIN/311/2009). El plan de estudios del Máster Universitario en Ingeniería Industrial consta de dos cursos académicos y está dividido en módulos, siguiendo la estructura que marca la Orden CIN/311/2009.

La asignatura de Tecnología de Sistemas de Control pertenece al Módulo 1 de Tecnologías Industriales, es de carácter obligatorio y tiene una carga total de 3 ECTS. Esta asignatura se imparte en el segundo cuatrimestre del primer curso. El alumnado que accede al máster tiene diversos perfiles, en función de los estudios de grado cursados previamente. Así, tal y como se recoge en la propia memoria, se considera como perfil de acceso recomendado estar en posesión de un título de Grado en Ingeniería Industrial que cumpla la Orden Ministerial CIN/351/2009. Por ello, el planteamiento de la materia, así como la selección de recursos y materiales, debe adaptarse a un amplio abanico de perfiles.

Las actividades formativas de esta asignatura se dividieron en clases magistrales, seminarios de resolución de problemas y prácticas de laboratorio. El sistema de evaluación consistió en un trabajo tutelado que supuso el 100% de la nota final. Los laboratorios virtuales se emplearon, en el presente curso, como metodología para el desarrollo del trabajo tutelado. Las metodologías de evaluación se han mantenido sin modificaciones en los últimos cuatro cursos académicos. Esto es, desde el curso 2018-2019, que fue cuando se realizó la última modificación del plan de estudios del máster.

Participantes

Con el objetivo de evaluar el efecto de la nueva metodología de prácticas de laboratorio virtuales en el rendimiento del alumnado, se compararon las calificaciones obtenidas en el trabajo tutelado en dos cursos académicos: curso 2020-2021 (con prácticas de laboratorio tradicionales presenciales) y curso 2021-2022 (con laboratorios virtuales). Los trabajos tutelados se realizaron en grupos de 2 a 3 estudiantes.

La muestra de estudiantes para el curso 2020-2021 estaba formada por 35 alumnos, de los cuales 10 eran mujeres (28.57%) y 25 eran hombres (71.43%). La edad de los participantes oscilaba entre los 23 y los 42 años ($M = 25.94$, $DT = 3.66$). Se desarrollaron un total de 13 proyectos.

La muestra de estudiantes para el curso 2021-2022 estaba formada por 29 alumnos, de los cuales 6 eran mujeres (20.69%) y 23 eran hombres (79.31%). La edad de los participantes oscilaba entre los 23 y los 38 años ($M = 25.55$, $DT = 3.11$). Se desarrollaron un total de 12 proyectos.

Prácticas de laboratorio tradicionales

Los laboratorios de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Ferrol (EPEF) de la Universidad de A Coruña (UDC) están equipados con varias

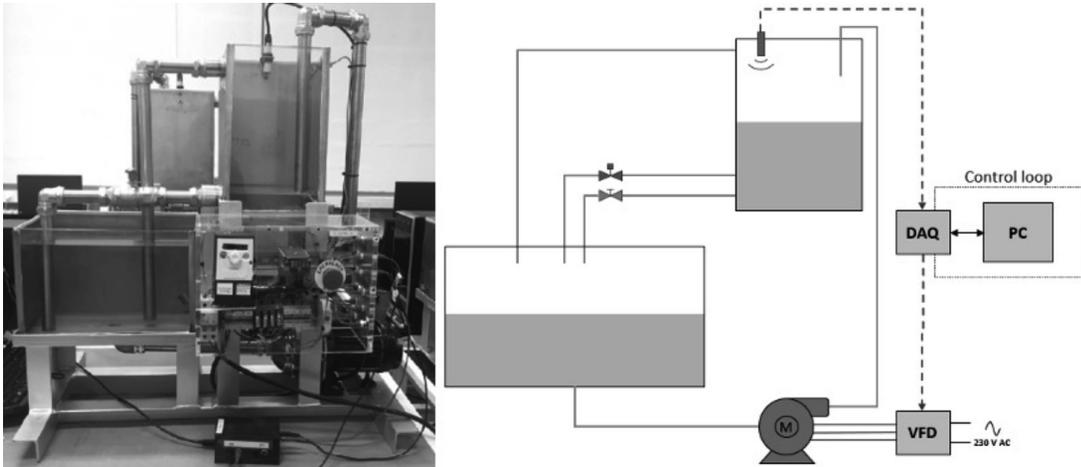
maquetas a escala que emulan plantas industriales reales. Algunos de los procesos más comunes en industria, como el control de temperatura, control de nivel de líquido, etc., son emulados a partir de estas plantas de laboratorio. Este marco permite a los estudiantes recibir formación práctica y trabajar en sus proyectos a través de la interacción física con estos equipos.

Una de las maquetas disponibles en el laboratorio es la planta de control de nivel, usada para realizar experimentos de control de nivel de líquido en el interior de un tanque. Sin embargo, no se dispone de suficientes plantas de control de nivel para trabajar de forma individual, por tanto, es necesario confeccionar varios grupos de estudiantes para cada sesión de laboratorio. En concreto, en los laboratorios de la EPEF hay un total de cinco plantas de control. Esto supone un hándicap en un contexto COVID, ya que se debe respetar el distanciamiento social. Además, el hecho de tener que trabajar exclusivamente en grupo y en los espacios y tiempos disponibles en la EPEF limita el tiempo que los estudiantes pueden interactuar con los equipos de forma individual y, por tanto, también restringe el desarrollo de las competencias.

La planta de nivel está construida a partir de dos tanques a diferentes alturas (figura 1). El tanque inferior cumple la función de reserva de líquido y el superior se emplea para el control de nivel de líquido. Se utiliza una bomba centrífuga para realizar el bombeo desde el tanque inferior al superior. El sistema dispone de una válvula manual y otra eléctrica proporcional para evacuar líquido del tanque superior. Para la medición de nivel, se utiliza un sensor de ultrasonidos analógico. La tasa de llenado del tanque superior se controla a partir de un motor trifásico conectado a la bomba, a su vez controlado por un variador de frecuencia (VFD).

El sistema de control se desarrolla desde un PC, implementando un controlador proporcional integral derivativo (PID). La señal de entrada al controlador PID (señal de error) resulta de la

FIGURA 1. Planta de control de nivel y esquema de control de nivel de líquido



diferencia entre el nivel de líquido deseado (*set point*) y el nivel actual de líquido medido a través del sensor (*process value*). La señal de salida del controlador PID (señal de control o *control signal*) es enviada hacia el VFD a través del DAQ, cerrando el lazo de control.

Nuevos laboratorios virtuales

Planta de control de nivel con Factory I/O

Factory I/O es una herramienta para la simulación de procesos industriales. Su principal objetivo es servir como plataforma de automatización con visualización en 3D (Factory I/O, 2022). Esta herramienta incorpora muchos de los elementos presentes en entornos industriales (p. ej., motores, bombas, sensores, cilindros o cintas de transporte). Esto permite que los estudiantes tengan la posibilidad de integrar los elementos disponibles en la librería del programa y construir una planta industrial customizada o incluso una fábrica virtual completa.

Factory I/O sirve como plataforma de escenas y plantas susceptibles de ser controladas externamente. Sin embargo, no incluye herramientas

de ingeniería de control. Por tanto, se necesitan componentes adicionales para construir un sistema de control completo. Esta herramienta incluye un amplio abanico de protocolos de comunicación (p. ej., OPC UA o Modbus TCP) ampliamente utilizados en aplicaciones industriales. Esto permite controlar las plantas virtuales a partir de *software* de terceros.

FIGURA 2. Virtualización de planta de nivel en 3D con Factory I/O



La figura 2 muestra el modelo virtual de la planta de nivel en 3D creada con Factory I/O que se propone como alternativa a la planta real de laboratorio. La planta virtual comparte muchas características con la real (p. ej., depósito principal de vidrio, válvulas de llenado y vaciado, sensor de nivel, cuadro eléctrico de maniobra). Este diseño aporta una visión realista del equipo a la vez que mejora la experiencia de los estudiantes.

Node-RED

Node-RED es una herramienta de programación gráfica de propósito general para desarrollo a través de navegador web. En los últimos años, su uso se ha extendido debido a su simplicidad y potencial integración en entornos IoT. Esta herramienta puede ser integrada tanto en ordenadores convencionales como en dispositivos electrónicos con recursos limitados, ofreciendo soporte para varios sistemas operativos.

A diferencia de otros lenguajes de programación más comunes, Node-RED se basa en la interconexión de bloques (nodos) (figura 3), a través de los cuales se produce el flujo de información. Por defecto, Node-RED se instala con

una librería básica (*node palette*) con un set de nodos con funcionalidades preconfiguradas. Esto incluye operaciones básicas, funciones *ad hoc*, interfaz gráfico o comunicaciones.

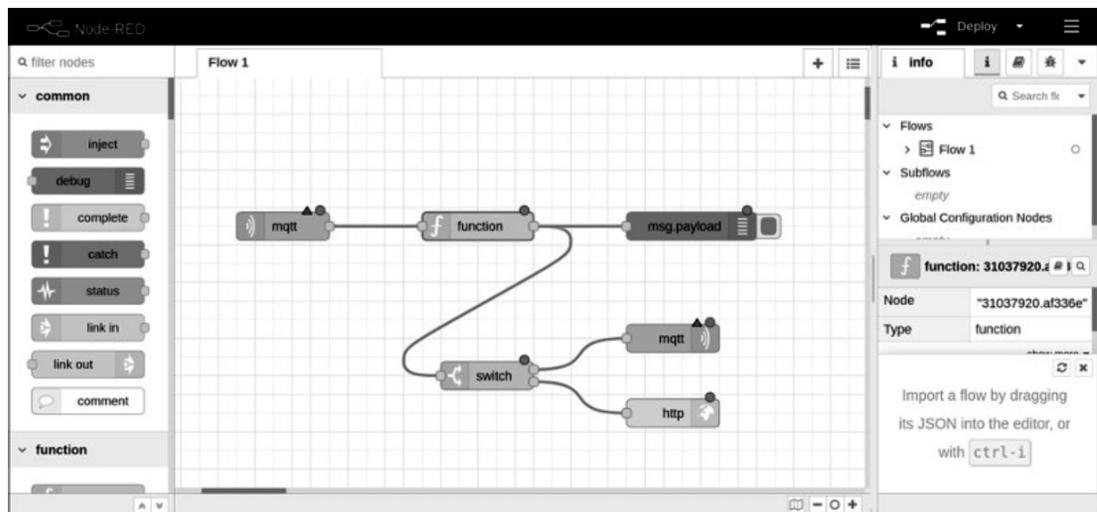
Node-RED no necesita de la instalación de un entorno de desarrollo, ya que cuenta con un servidor web para tal efecto. Esto constituye una importante ventaja, puesto que únicamente se requiere de un PC con navegador web para el desarrollo de aplicaciones. Además, se puede acceder al entorno de programación a través de dispositivos como *smartphones* o *tablets* que se encuentren conectados a la misma red de área local (LAN).

En el ámbito didáctico, la principal ventaja de este *software* reside en su flexibilidad para la integración de protocolos de comunicación industriales y herramientas de ingeniería de control. A través de un único PC permite construir una plataforma completa de ingeniería de control, incorporando e interconectando aplicaciones.

Modbus TCP

Como se ha indicado, es necesario implementar un enlace entre Factory I/O y Node-RED para

FIGURA 3. Entorno de programación de Node-RED



realizar el intercambio de información. Una opción es la integración del protocolo de comunicación Modbus TCP. Modbus se ha convertido en un estándar *de facto* en industria al ser aceptado e implementado por la mayoría de los fabricantes del sector. En los últimos años, se han publicado variantes del protocolo (p. ej., Modbus ASCII, RTU, TCP). El Modbus TCP presenta una gran ventaja en el contexto educativo, ya que permite integrar equipos o aplicaciones dentro de redes LAN existentes. Esto permite ejecutar Factory I/O y Node-RED de forma independiente a través de equipos diferentes. En esta propuesta se buscó la comunicación entre aplicaciones usando los recursos internos del sistema operativo, sin depender de redes locales, y ejecutando las aplicaciones con el uso de un simple PC.

Regulador PID

Aunque existen nuevos algoritmos de control, la mayoría de los controladores de procesos continuos siguen usando la ley de control PID básica. Además, gracias a su simplicidad, el algoritmo de control (Jove *et al.*, 2021) PID puede ser implementado en prácticamente cualquier dispositivo electrónico, incluso con recursos limitados de procesamiento y memoria.

La figura 4 ilustra el esquema tipo de regulador PID en un sistema de control de lazo cerrado. En esta figura se muestran los distintos componentes o nodos del sistema. El *set point* (SP) representa el punto de operación deseado para la planta (p. ej., nivel de agua deseado para el

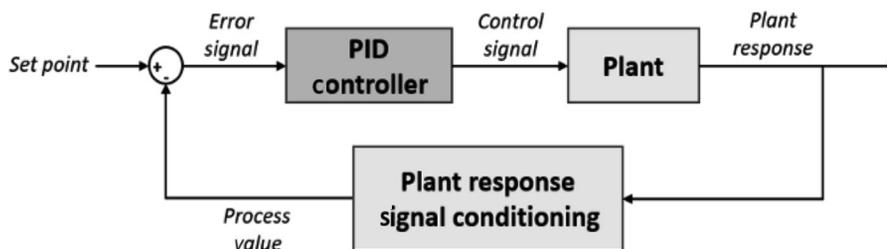
dépósito virtual). El *process value* (PV) es el punto actual medido en la planta (p. ej., el nivel actual de agua en el tanque medido a través del sensor de nivel). Para un correcto funcionamiento del sistema, el valor de PV debe ser acondicionado y escalado al mismo rango de trabajo del SP. La señal de error, que es la entrada de control PID, se obtiene como la resultante de la diferencia entre los valores de SP y de PV. La señal de control es calculada y actualizada por el algoritmo de control PID, y representa su salida, la cual es enviada a la planta y cierra el lazo de control.

Etapas

Esta propuesta didáctica se estructura en cuatro etapas:

- *Etapa 1. Construcción entorno virtual.* Esta etapa tiene como objetivo que los alumnos se familiaricen y utilicen Factory I/O para configurar y personalizar la escena del control de nivel. Uno de los integrantes del grupo asume el rol de programador y se encarga de coordinar y dirigir la etapa. Los alumnos deben estudiar las herramientas del programa (p. ej., entorno simulación, *drivers* de comunicación). Se facilita un manual y también ayuda *online* del programa (<https://docs.factoryio.com/manual/>).
- *Etapa 2. Desarrollo programa.* Esta etapa tiene como objetivo que los alumnos empleen el programa Node-RED para aplicar conceptos de ingeniería de control. Los

FIGURA 4. Regulador PID en sistema de control de lazo cerrado



alumnos deben también implementar el enlace de comunicación entre Node-RED y Factory I/O. Uno de los integrantes del grupo asume el rol de programador y se encarga de coordinar y dirigir la etapa.

- *Etapa 3. Visualización y comprobación de resultados.* Los alumnos deben aplicar técnicas de ingeniería de control para visualizar y comprobar los resultados obtenidos.
- *Etapa 4. Análisis de resultados.* Se comprueban y comparan los resultados obtenidos. En una sesión práctica se realizan exposiciones grupales de resultados, explicando al resto de grupos la metodología utilizada y las dificultades encontradas. Una vez expuestos todos los trabajos, se analiza la mejor técnica empleada. Esto permite estudiar los motivos que pueden haber llevado a que alguno de los grupos no haya alcanzado los objetivos propuestos.

Metas educativas

Las metas educativas de esta propuesta didáctica pueden ser divididas en dos grupos: metas relacionadas con las habilidades duras y metas relacionadas con las habilidades blandas. Las cinco metas educativas de esta propuesta didáctica son:

- Familiarizarse con la planta experimental.
- Identificar los diferentes métodos para el control de la planta.
- Conocer diferentes herramientas de *software*.
- Gestionar el aprendizaje autónomo.
- Colaborar y comunicarse con los compañeros para el desarrollo de un proyecto.

Uno de los objetivos de esta experiencia es alinear competencias y metodología. Esta actividad busca combinar el trabajo individual y en equipo. Así, en el diseño se utilizaron las áreas de la Escala de Habilidades Blandas de Malasia (My3S), que resume las 36 habilidades blandas clave identificadas por el proyecto SkillsMatch. Las habilidades blandas cubren siete áreas consideradas clave para la empleabilidad: comunicación, pensamiento crítico y resolución de problemas, trabajo en equipo, ética moral y profesional, liderazgo, aprendizaje a lo largo de toda la vida y capacidad de emprendimiento (Abdul-Karim *et al.*, 2012). Las habilidades blandas que se desarrollan en cada etapa de esta práctica se muestran en la figura 5.

Hay habilidades que no se desarrollan en todas las etapas. Cada etapa tiene una serie de características que las hacen distintas. Todas las etapas se realizan en equipo, por lo que esta habilidad es necesaria en todas ellas. El liderazgo es algo que se desarrolla cuando los alumnos

FIGURA 5. Habilidades blandas desarrolladas

| | Etapa 1 | Etapa 2 | Etapa 3 | Etapa 4 |
|---|---------|---------|---------|---------|
| Comunicación | | | | |
| Pensamiento crítico y resolución de problemas | | | | |
| Aprendizaje a lo largo de toda la vida | | | | |
| Trabajo en equipo | | | | |
| Capacidad de emprendimiento | | | | |
| Ética moral y profesional | | | | |
| Liderazgo | | | | |

tienen que ponerse de acuerdo y tomar decisiones, de modo que esta habilidad no se desarrolla ni en la etapa 3 ni en la 4. Las etapas 1 y 2, al ser iniciales y clave en el desarrollo y éxito del proyecto, suponen la puesta en práctica de más competencias. La etapa 4, aunque se desarrolla en equipo, consiste en la presentación del proyecto y su evaluación, por lo que tampoco se desarrolla la capacidad de emprendimiento, al igual que en la etapa 3.

La metodología BL puede ser una herramienta eficaz para el cumplimiento de los objetivos educativos de sostenibilidad. Tal y como destaca la UNESCO (Mula y Tilbury, 2009), los docentes tienen un papel clave en la transformación social de cara a una educación para el desarrollo sostenible. Los objetivos de esta experiencia se valoraron en función de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de Naciones Unidas para el desarrollo sostenible aprobada por los líderes mundiales en septiembre de 2015. Esta experiencia se centró en 5 de los 17 ODS (figura 6). Cada objetivo se divide en una serie de metas (Naciones Unidas, 2021). Esta actividad contribuye al desarrollo de ocho metas: 4.4, 7.1, 7.b, 9.5, 9.b, 12.1, 12.8 y 13.3. El laboratorio virtual desarrollado busca, aplicando herramientas de control remoto, que el alumnado trabaje en la gestión del consumo de una planta industrial real.

Los laboratorios virtuales, a diferencia de las tradicionales prácticas de laboratorio presenciales, reducen, en gran medida, la barrera económica que, muchas veces, limita o impide la interacción con equipos y el desarrollo de prácticas. Esto contribuye a aumentar el número de estudiantes que desarrollan competencias técnicas y profesionales para el empleo en el ámbito STEM (meta 4.4). No siempre se puede garantizar la eliminación de la barrera económica. El laboratorio virtual presentado requiere del uso de ordenadores y la adquisición de licencias que, aunque tienen un coste reducido, no es nulo. Si queremos que se garantice el acceso a

servicios energéticos asequibles, fiables y modernos, debemos dar herramientas a los estudiantes de grados STEM que les permitan aprender a optimizar equipos y recursos. Los laboratorios virtuales, como el diseñado, permiten mejorar la tecnología que ayuda a prestar servicios energéticos, lo que contribuye al desarrollo de las metas 7.1 y 7.b. La literatura ha demostrado que el aprendizaje de la ciencia por indagación, en el que los estudiantes realizan investigaciones, en comparación con la enseñanza centrada exclusivamente en lecciones magistrales por parte del profesor, presenta innumerables ventajas (De Jong *et al.*, 2013). El modelo de laboratorio virtual desarrollado permite potenciar la investigación científica, mejorando las capacidades tecnológicas del alumnado y, por su carácter virtual, es fácilmente exportable a países en vías de desarrollo (metas 9.5 y 9.b). Si introducimos sistemas de control a cualquier equipo, se posibilita una producción y consumo responsable, en tanto se puede regular y optimizar su funcionamiento (metas 12.1 y 12.8). La implementación de sistemas de control y comunicación para regular tanques con fluido ayuda al alumnado a identificar formas de ahorro de agua, mejorando la educación respecto de la mitigación del cambio climático (meta 13.3).

FIGURA 6. ODS incluidos en los proyectos



Esta metodología buscó la integración de distintos enfoques de enseñanza (p. ej., conductista y algorítmico), asumiendo el profesor un rol de facilitador del proceso de enseñanza-aprendizaje, en lugar de trabajar los contenidos en cajas estancas. Esto implica que el docente deba ser flexible y capaz de integrar información de diferentes ámbitos del conocimiento. Esta propuesta didáctica, *a priori*, puede parecer una sobrecarga en el plan de estudios. Sin embargo, si se tienen en cuenta las sinergias existentes entre las competencias que se buscan y las competencias recogidas en la memoria del título, la enseñanza sobre temas de sostenibilidad no incrementa la sobrecarga curricular. En esta experiencia se hace hincapié en la toma de decisiones, el pensamiento crítico y creativo, la resolución de problemas, el análisis, el aprendizaje cooperativo y las habilidades de comunicación.

Trabajo tutelado

El sistema de evaluación de la materia en la que se implementó esta nueva metodología se basa en la realización de un trabajo tutelado. El trabajo consistió en el ajuste de un controlador P, PI y PID en lazo cerrado-*relay/feedback* y la comparativa de las especificaciones en función de las expresiones de ajuste empleadas. Las instrucciones para la realización del trabajo fueron homólogas en el desarrollo con la planta virtual (curso 2021-2022) en comparación con el laboratorio presencial (anteriores cursos académicos). El trabajo tiene un peso del 100% de la evaluación. El profesorado de la materia ha sido el mismo durante los cursos académicos analizados. En la tabla 1 se recogen los puntos o especificaciones que figuraban en el enunciado del trabajo.

El trabajo queda totalmente abierto en determinados aspectos. Esto permite dar libertad de diseño. En lo que concierne a la estructuración de los trabajos por etapas, descritas previamente, los ítems 1, 6, 7 y 9 pertenecen a la etapa 2, mientras que los ítems 2, 3, 4, 5 y 8 a la etapa 3.

TABLA 1. Ítems del trabajo tutelado

| Ítem | Descripción |
|------|---|
| 1 | Se empleará un bloque de control PID (proporcional, integral y derivativo) en el que se pueda dar valores a los parámetros típicos de reguladores de este tipo (K_p , T_i y T_d). Existirá la posibilidad de que el regulador pueda ser: P, PI, PD o PID. Se programará el parámetro N de la acción derivativa que permite eliminar la acción del ruido |
| 2 | Se compararán las siguientes variables: tiempo de pico, tiempo de establecimiento, tiempo de respuesta y sobreoscilación |
| 3 | Se probará el sistema para tres consignas de nivel indicadas en el documento de la descripción del modelo |
| 4 | Se empleará un tiempo de muestreo que permita ver de forma satisfactoria las curvas generadas |
| 5 | Además del nivel de líquido, se visualizará la consigna (% nivel), el error (% nivel) y la señal de control (%) |
| 6 | Se programará un regulador proporcional con cuatro ganancias diferentes, dos menores que uno y dos mayores |
| 7 | Se programará un PI con <i>anti-windup</i> y sin él |
| 8 | Se emplearán expresiones en función de la segunda cifra numérica empezando por la derecha (Zayas et al., 2020, pp. 47 a 51): 0, 2, 4, 6, 8 à Z&N, Z&N No Overshoot 1, 3, 5, 7, 9 à Tyreus Luyben, Z&N Some Overshoot |
| 9 | Se deberá añadir ruido aleatorio a la lectura del sensor de $\pm 1.5\%$ y hacer el control PID de las tres consignas |

La evaluación del trabajo se hizo con base en la entrega de una memoria de proyecto y una defensa pública. Ambas tareas pertenecen a la etapa 4, descrita anteriormente. En referencia a la memoria, los trabajos tenían que cumplir una serie de normas:

- Secciones obligatorias: “Objeto”, “Alcance”, “Antecedentes”, “Normas y referencias”, “Definiciones y abreviaturas”, “Requisitos de diseño”, “Análisis de las soluciones” y “Resultados finales”.

- Contenido mínimo: además de lo que el alumno estime oportuno incluir a mayores, el trabajo incorporará cálculos y simulaciones. Se tendrá en cuenta de forma muy significativa la implementación práctica.
- Documentación que entregar: documento con extensión de entre 9 y 15 páginas más documentos generados a mayores si se usa la plantilla (portadas, índices, etc.). La parte de resultados y su análisis deberá suponer al menos el 70% de la extensión total del trabajo.

La presentación de los trabajos tutelados tuvo una duración delimitada de entre 8 y 10 minutos, a los que se añadía un turno de preguntas de aproximadamente 2 minutos. En la presentación y defensa debían intervenir todos los miembros del grupo. La evaluación de los trabajos se hizo con base en la defensa pública, la memoria del proyecto y el desarrollo de los ítems (tabla 2). Se procedió con un análisis de comparación de medias para muestras independientes (*t* de Student) para conocer los efectos del tipo de docencia (laboratorio virtual vs. presencial) sobre el rendimiento académico (calificaciones) de los estudiantes. Adicionalmente, se ejecutaron análisis descriptivos.

El control y desarrollo de los trabajos tutelados se hizo a través del Campus Virtual (Moodle). El alumnado volcó en Moodle las distintas tareas y

evidencias de desarrollo y los docentes les pudieron proporcionar retroalimentación continua, a fin de conformar una evaluación formativa. Las tutorías y atención personalizada se hicieron principalmente a través de la plataforma Microsoft Teams.

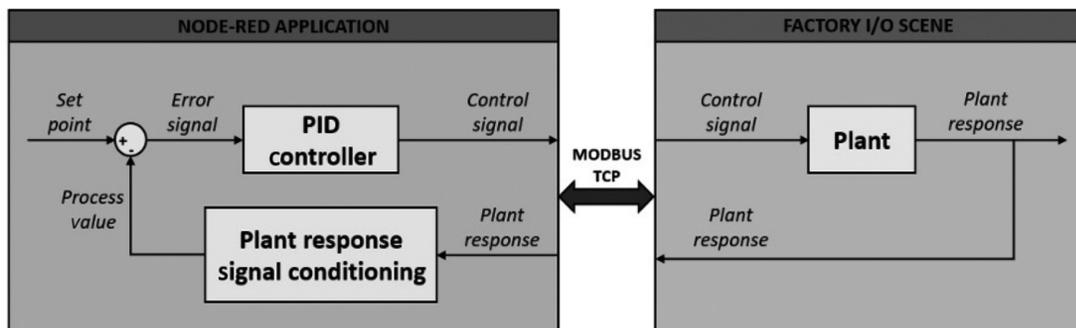
Resultados

El sistema de control para la planta real de nivel está basado en un regulador PID. Este regulador está implementado a través de Matlab/Simulink, lo cual aporta un enfoque interesante en términos didácticos. Sin embargo, aun tratándose de un *software* flexible para simulación y diseño de reguladores PID, carece de ciertos módulos de comunicación industriales.

Node-RED ofrece nodos con algoritmos de control PID, lo cual representa una alternativa funcional a Matlab/Simulink. Al igual que con bloques PID de Matlab/Simulink, un nodo PID de Node-RED recibe la señal de error a través de su entrada, el algoritmo actualiza la señal de control y esta se envía a través de su salida. Así, no existe la necesidad de recodificar el algoritmo y los estudiantes pueden enfocar su trabajo exclusivamente en el aprendizaje de los conceptos de ingeniería de control.

El repositorio de Node-RED incluye también librerías para el protocolo de comunicación

FIGURA 7. Esquema de interconexión entre aplicaciones



Modbus TCP. Esto representa un gran beneficio, al habilitar la integración de ambas funcionalidades en una única herramienta.

Los *drivers* Modbus TCP tanto de la escena de control de nivel de Factory I/O como de Node-RED deben ser habilitados y debidamente configurados (direcciones IP, puertos y direcciones de registros). El *driver* Modbus TCP asume el rol de servidor a la escucha, atendiendo peticiones de la aplicación con el rol de cliente (Node-RED). Configurados ambos agentes de comunicación, el enlace entre aplicaciones permite el intercambio necesario de datos, incluyendo el *process value* y la señal de control PID. La figura 7 muestra la solución obtenida para la interconexión entre aplicaciones.

En ingeniería de control, un aspecto clave para el ajuste de reguladores PID es la visualización de la respuesta de la planta. Para ello se emplean técnicas como *relay feedback* u oscilación mantenida, que requieren de una representación precisa de las variables en el dominio del tiempo. Node-RED dispone de la librería *node-red-dashboard* para el graficado en tiempo real. Los elementos de la librería pueden ser ensamblados para construir una interfaz gráfica de usuario, y, así, proponer una plataforma de laboratorio educativa completa y adaptada.

El entorno virtual desarrollado puede ser evaluado y clasificado de acuerdo con los cuatro criterios de Potkonjak *et al.* (2014). Estos criterios se basan en un requisito clave: el estudiante debe sentirse como si estuviera trabajando con dispositivos reales en un espacio real. Así, esta

propuesta cumple con tres de los cuatro puntos, a saber: 1) la interfaz de usuario de cada equipo es idéntica a la de los dispositivos reales; 2) el comportamiento del sistema virtual es equivalente al comportamiento del sistema físico; y 3) el entorno proporciona una visualización que permite que los estudiantes sientan que están viendo un entorno real. Sin embargo, no desarrolla el criterio 4 (p. ej., el espacio de laboratorio 3D permite la comunicación y la colaboración entre los estudiantes y con el supervisor del laboratorio [o experto en la materia]). El criterio 1 es especialmente importante para los laboratorios destinados a la formación de operadores del sistema. Hay que tener en cuenta que puede haber problemas de derechos de autor a la hora de copiar aspectos del dispositivo real y, por tanto, puede ser necesario disponer de permisos para hacerlo (Potkonjak, 2010). Es importante destacar que de los veinte proyectos de laboratorio virtual analizados en el trabajo de Potkonjak *et al.* (2014), solo siete cumplían con tres de los cuatro criterios y tan solo uno desarrollaba los cuatro, exponiendo en el resto de propuestas dos o menos criterios.

El rendimiento del alumnado, en términos de calificaciones obtenidas, fue estudiado. Los resultados de los efectos del factor tipo de docencia (laboratorio virtual vs. laboratorio presencial) en la evaluación del trabajo tutelado mostraron que los alumnos del grupo presencial ($M = 6.81$) tienen una evaluación inferior, $t(60.3) = -2.23$, $p < .05$, $d = 0.55$ (tamaño del efecto moderado), que los que realizaron las prácticas en formato virtual ($M = 7.43$). La tabla 2 resume las calificaciones obtenidas.

TABLA 2. Calificaciones según el tipo de docencia

| | M [95% CI] | Mediana | Desviación estándar | Rango | |
|---------------------------------------|------------|---------|---------------------|-------|------|
| | | | | Mín. | Máx. |
| Laboratorios presenciales (2020-2021) | 5.00 | 9.50 | 6.78 [6.38, 7.25] | 6.50 | .904 |
| Laboratorios virtuales (2021-2022) | 6.00 | 9.00 | 7.43 [7.10, 7.76] | 7.00 | .904 |

Este nuevo método presenta la ventaja de facilitar el trabajo autónomo, pudiendo hacer las tareas en cualquier lugar y momento. Los estudiantes realizan los proyectos en entornos abiertos y flexibles, marcándose su propio ritmo. Esta experiencia BL ayuda a los estudiantes a desarrollar habilidades duras y blandas. Concretamente, habilidades blandas como comunicación, manejo de TI, colaboración, pensamiento crítico, resolución de problemas e iniciativa, a la vez que promueve la adquisición de habilidades duras, incluyendo la comprensión de la materia. La propuesta e implementación de esta propuesta ha buscado la integración de conocimiento y competencias.

Lecciones aprendidas

Desde la experiencia adquirida, se pueden resumir algunas lecciones aprendidas:

- En primer lugar, los recursos técnicos de la universidad son un factor clave para desarrollar y promover esta metodología. La infraestructura tecnológica de la EPEF soporta la práctica de BL (p. ej., aula móvil con ordenadores portátiles en préstamo, campus virtual [Moodle], acceso gratuito a Internet en el campus universitario, etc.). La UDC a través de Microsoft Teams ofrece un medio de conexión entre el profesor y el alumno. Esta plataforma, junto con el campus virtual, facilita el seguimiento y control.
- En segundo lugar, la práctica sobre el desarrollo de sistemas de control eficientes, los métodos experimentales presenciales y *online* están relacionados con los ODS (Lin y Wang, 2012).
- En tercer lugar, la posible retención del profesorado a aplicar nuevos métodos de enseñanza y a transformar sus prácticas docentes puede ser el principal obstáculo para promover esta metodología. Por ello, las políticas universitarias de incentivos son clave para el éxito de la

enseñanza (p. ej., Programa Docente, convocatorias de proyectos de investigación docentes).

- Por último, la importancia del papel del docente en el seguimiento de las tareas. Los estudiantes pueden experimentar una apreciación contextual más amplia si se ven obligados a desarrollar tareas individuales, pero están supervisados por el profesor (*in situ* y a través de plataformas virtuales) y acompañados por el resto de los integrantes del grupo.

Conclusiones

En este trabajo se propone una experiencia BL apoyada en un laboratorio virtual como entorno de simulación para estudiantes de máster de ingeniería. Los trabajos tutelados se centraron en el desarrollo del ajuste de un controlador P, PI y PID en lazo cerrado-*relay/feedback*. Con este enfoque, los estudiantes tienen la flexibilidad de organizar sus tareas sin la necesidad de un laboratorio físico real. Esta metodología, además de permitir una mayor interacción con el sistema, reduce la barrera económica que puede suponer el tener que adquirir equipamiento industrial de laboratorio y facilita el desarrollo de docencia semipresencial y/o a distancia. En asignaturas ligadas a la habilitación para el ejercicio profesional es muy importante que los alumnos comprueben la utilidad y aplicabilidad de los contenidos teóricos. Esta propuesta permitió poner en práctica todos los contenidos estudiados. El seguimiento del desarrollo de los trabajos se hizo a través de plataformas de apoyo a la docencia. La metodología BL resulta útil para la creación de una experiencia de aprendizaje holística para los estudiantes.

Esta propuesta representa una alternativa para minimizar los cambios de planificación de la docencia en un contexto de pandemia. Adicionalmente, gracias al rápido crecimiento de la tecnología, el modelo *e-learning* sigue en auge,

permitiendo la combinación de las modalidades *online* y presencial.

En esta propuesta, al implementar Factory I/O para la virtualización y emulación de escenas se consigue que el estudiante se sienta como si estuviera trabajando con dispositivos reales en un espacio real, a diferencia de otras propuestas en las que se emplea únicamente Node-RED (Domínguez *et al.*, 2020) o Matlab/Simulink (Granado *et al.*, 2007). Esta premisa se considera clave en el desarrollo de laboratorios docentes virtuales.

A lo largo de las cuatro etapas del proyecto, los estudiantes desarrollan las siete áreas consideradas cruciales para la empleabilidad (basadas en la Escala de Habilidades Blandas de Malasia [My3S]). La metodología BL también facilita los vínculos entre el contenido y los 17 ODS, sin agravar el problema de la sobrecarga curricular. Esto supone un aliciente para la utilización de esta metodología en futuras ediciones de esta asignatura.

Cabe destacar los buenos resultados obtenidos con este trabajo, ya que a partir de esta propuesta se ha conseguido mejorar el rendimiento académico de los estudiantes. Se ha encontrado un efecto positivo en las calificaciones en las tareas en formato virtual respecto de las tareas en formato presencial. Estos resultados son acordes con lo reportado en estudios previos (Herga *et al.*, 2014).

No obstante, este trabajo está sujeto a limitaciones de diseño. En primer lugar, la asignación a los grupos fue aleatorizada natural. En consecuencia, la equivalencia entre grupos no es total. En segundo lugar, el tamaño de los grupos limita la potencia de los resultados.

Finalmente, en trabajos futuros se podrá considerar la aplicación de la metodología BL a partir de la virtualización de otros experimentos y plantas de laboratorio. Además, otras asignaturas pueden beneficiarse de la aplicación de este enfoque.

Referencias bibliográficas

- Abdul-Karim, A. M., Abdullah, N., Abdul-Rahman, A. M., Noah, S. M., Wan-Jaafar, W. M., Othman, J. *et al.* (2012). A nationwide comparative study between private and public university students' soft skills. *Asia Pacific Education Review*, 13(3), 541-548. <https://doi.org/10.1007/s12564-012-9205-1>
- Al-Samarraie, H. y Saeed, N. (2018). A systematic review of cloud computing tools for collaborative learning: opportunities and challenges to the blended-learning environment. *Computers & Education*, 124, 77-91. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.016>
- Comisión Europea (2007). *Science education now: a renewed pedagogy for the future of Europe* (vol. 22845). Office for Official Publications of the European Communities.
- Daniel, S. J. (2020). Education and the COVID-19 pandemic. *Prospects*, 49(1), 91-96. <https://doi.org/10.1007/s11125-020-09464-3>
- De Jong, T., Linn, M. C. y Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, 340(6130), 305-308. <https://doi.org/10.1126/science.1230579>
- Deschacht, N. y Goeman, K. (2015). The effect of blended learning on course persistence and performance of adult learners: a difference-in-differences analysis. *Computers & Education*, 87, 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.03.020>
- Domínguez, M., González-Herbón, R., Rodríguez-Ossorio, J. R., Fuertes, J. J., Prada, M. A. y Morán, A. (2020). Development of a remote industrial laboratory for automatic control based on Node-RED. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 17210-17215. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.1741>
- Fernández-Miranda, M., Dios-Castillo, C. A., Sosa-Córdova, D. M. y Camilo Cépeda, A. (2022). Método invertido y modelo didáctico: una perspectiva motivadora del aprendizaje virtual en contextos de pandemia. *Bordón, Revista de Pedagogía*. <https://doi.org/10.13042/2022.92677>

- Granado, E., Colmenares, W., Strefezza, M. y Alonso, A. (2007). A web-based virtual laboratory for teaching automatic control. *Computer Applications in Engineering Education*, 15(2), 192-197. <https://doi.org/10.1002/cae.20111>
- Herga, N. R., Grmek, M. I. y Dinevski, D. (2014). Virtual laboratory as an element of visualization when teaching chemical contents in science class. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, 13(4), 157-165. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1043246>
- Jena, P. K. (2020). Impact of Covid-19 on higher education in India. *International Journal of Advanced Education and Research (IJAER)*, 5(3), 77-81. <http://www.alleducationjournal.com/archives/2020/vol5/issue3/5-3-27>
- Jove, E., González-Cava, J. M., Casteleiro-Roca, J. L., Quintián, H., Méndez-Pérez, J. A., Vega-Vega, R. et al. (2021). Hybrid intelligent model to predict the Remifentanyl Infusion Rate in patients under general anesthesia. *Logic Journal of the IGPL*, 29(2). <https://doi.org/10.1093/jigpal/jzaa046>
- Llamas, B., Storch-de Gracia, M. D., Mazadiego, L. F., Pous, J. y Alonso, J. (2019). Assessing transversal competences as decisive for project management. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 125-137. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.11.009>
- Míguez-Álvarez, C., Crespo, B., Arce, E., Cuevas, M. y Regueiro, A. (2020). Blending learning as an approach in teaching sustainability. *Interactive Learning Environments*. Publicación anticipada en línea. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1734623>
- Mula, I. y Tilbury, D. (2009) A United Nations decade of education for sustainable development (2005-14). What difference will it make? *Journal of Education for Sustainable Development*, 3(1), 87-97. <https://doi.org/10.1177/097340820900300116>
- Naciones Unidas (2021). *The 17 goals*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. Desarrollo sostenible. Sustainable development. <https://sdgs.un.org/goals>
- Nicola, M., Alsafi, Z., Sohrabi, C., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Iosifidis, C. et al. (2020). The socio-economic implications of the coronavirus pandemic (COVID-19): a review. *International Journal of Surgery*, 78, 185-193. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2020.04.018>
- Perignat, E. y Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: an integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 31-43. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.10.002>
- Potkonjak, V., Gardner, M., Callaghan, V., Mattila, P., Guetl, C., Petrović, V. M. y Jovanović, K. (2016). Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: a review. *Computers & Education*, 95, 309-327. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>
- Potkonjak, V., Vukobratović, M., Jovanović, K. y Medenica, M. (2010). Virtual mechatronic/robotic laboratory—A step further in distance learning. *Computers & Education*, 55(2), 465-475. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.02.010>
- Rizzi, V., Pigeon, C., Rony, F. y Fort-Talabard, A. (2020). Designing a creative storytelling workshop to build self-confidence and trust among adolescents. *Thinking Skills and Creativity*, 38, 100704. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2020.100704>
- Sa, M. J. y Serpa, S. (2018). Transversal competences: their importance and learning processes by higher education students. *Education Sciences*, 8(3), 126. <https://doi.org/10.3390/educsci8030126>
- Singer, S. R., Hilton, M. L. y Schweingruber, H. A. (2005). America's lab report: investigations in High School science. En *America's lab report: investigations in High School science*. <https://doi.org/10.17226/11311>
- Spooren, P., Mortelmans, D. y Denekens, J. (2007). Student evaluation of teaching quality in higher education: development of an instrument based on 10 Likert-scales. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 32(6), 667-679. <https://doi.org/10.1080/02602930601117191>

Yildiz, İ, Topçu, E. y Kaymakci, S. (2021). The effect of gamification on motivation in the education of pre-service social studies teachers. *Thinking Skills and Creativity*, 42, 100907. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100907>

Zayas-Gato, F., Quintián, H., Jove, E., Casteleiro-Roca, J. L. y Calvo-Rolle, J. L. (2020). *Diseño de controladores PID*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de A Coruña.

Abstract

Blended learning experience supported by a virtual laboratory for STEM subjects training

INTRODUCTION. The recent pandemic caused by COVID-19 has led to numerous changes in public health protocols, as well as a deep socioeconomic impact. Policies such as social distancing and lockdowns have conditioned interpersonal relations and resulting in dramatic consequences for many companies and workers. Specifically, in the educational context, universities have been forced to adapt teaching methodologies due to the control policies applied by authorities. Therefore, the use of on-line teaching tools, combined with face-to-face teaching experiences (blended learning, BL), represents an interesting approach within this context. **METHOD.** BL allows the reduction of the student's ratio per classroom, avoiding a total suppression of face-to-face teaching, taking advantage of both modalities. Hence, an interesting proposal is the implementation of a virtual simulation environment for engineering students, with the aim of emulating a real liquid level control system, located at the laboratories of the Escuela Politécnica of Engineering of Ferrol, of the University of A Coruña. The marks obtained in the tutored work in two academic years were compared to evaluate the effect of the BL methodology on students' academic performance. **RESULTS.** To carry out this work, we propose a BL experience supported by a virtual laboratory built from the integration of two novel software tools: Factory I/O as a virtualization and emulation system of real industrial scenes and plants and Node-RED as a programming environment for the design of control and communication systems. Based on the academic results, it can be concluded that this methodology has a positive effect on students' performance. **DISCUSSION.** This realistic real-time 3D simulation and visualization environment provides flexibility to students by simplifying the organization of their tasks and allowing them to work autonomously by applying the basic concepts of control engineering. In addition, this BL experience helps students to develop hard and soft skills.

Keywords: *Blended learning, Engineering education, Virtual classrooms, COVID-19.*

Résumé

Une expérience d'apprentissage mixte (blended learning) soutenue par un laboratoire virtuel pour l'enseignement des matières STEM

INTRODUCTION. La récente pandémie causée par la COVID-19 a entraîné des nombreux changements dans les protocoles de santé publique, ainsi qu'un profond impact socio-économique. Des politiques de distanciation sociale et les confinements ont conditionné les relations interpersonnelles et ont entraîné des conséquences dramatiques pour beaucoup d'entreprises et travailleurs. Plus

précisément, dans le cadre éducatif, les universités ont été obligées d'adapter leurs méthodes d'enseignement à cause des politiques de contrôle mises en œuvre par les autorités. Par conséquent, l'utilisation des outils pour l'enseignement en ligne, combinée avec des expériences d'enseignement en présentiel constitue une approche (d'apprentissage mixte ou *blended learning*, BL), intéressante dans ce contexte. **MÉTHODE.** Le BL permet de réduire le ratio des étudiants par classe en évitant l'élimination totale de l'enseignement en présentiel et en permettant, également, d'en profiter des avantages des deux modalités. Dans ce sens, une proposition intéressante est la mise en œuvre d'un environnement de simulation virtuelle pour les étudiants en ingénierie, dont l'objectif est la simulation d'un système réel de contrôle du niveau de liquide, étant disponible dans les laboratoires de l'École Polytechnique d'Ingénierie de Ferrol de l'Université de A Coruña. Afin d'évaluer l'effet de la méthodologie BL dans le rendement académique des étudiants, nous avons comparé les notes obtenues lors du travail tutoré au cours de deux années académiques. **RÉSULTATS.** Pour réaliser ce travail, nous avons proposé une expérience BL soutenue par un laboratoire virtuel construit à partir de l'intégration de deux logiciels innovants : le Factory I/O comme système de virtualisation et d'émulation de scènes et des installations industrielles réelles, et le Node-RED comme environnement de programmation pour la conception de systèmes de contrôle et de communication. Sur la base des résultats académiques observés, il est conclu que cette méthodologie a un effet positif sur le rendement des étudiants. **DISCUSSION.** Cet environnement réaliste de simulation et de visualisation en temps réel en 3D offre un cadre d'étude flexible aux étudiants en leur facilitant l'organisation de leurs tâches et en leur permettant de progresser de manière autonome en appliquant les concepts de base de l'ingénierie de contrôle. En outre, cette expérience BL aide les étudiants à développer autant des compétences de base (dures) que transférables (douces).

Mots-clés : Apprentissage mixte, Formation en ingénierie, Classes virtuelles, COVID-19.

Perfil profesional de los autores

Elena Arce

Elena Arce es profesora en el área de Expresión Gráfica en la Ingeniería en la Escuela Politécnica de Ingeniería de Ferrol en la Universidade da Coruña (España). Es autora y coautora de más de 40 artículos en revistas científicas indexadas en bases de datos de referencia. La mayor parte de su investigación la ha desarrollado en el campo del aprovechamiento energético. En el ámbito de la docencia cuenta con diversas publicaciones científicas en revistas de alto impacto, además de varios proyectos de innovación docente. Sus intereses de investigación incluyen la simulación y optimización de sistemas, el aprovechamiento energético, el diseño y la innovación docente.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7222-7827>

Correo electrónico de contacto: elena.arce@udc.es

Francisco Zayas-Gato (autor de contacto)

Francisco Zayas-Gato es docente e investigador del Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidade da Coruña. Es autor y coautor de once artículos en revistas indexadas en el Journal Citations Report, más de veinte comunicaciones en congresos internacionales y de tres libros de carácter investigador, entre otros. Sus líneas de investigación están enfocadas en la educación y

también en la aplicación de técnicas de inteligencia artificial para la predicción y la detección de anomalías en el sector de la medicina e industrial.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0994-1961>

Correo electrónico de contacto: f.zayas.gato@udc.es

Dirección para la correspondencia: Escuela Politécnica de Ingeniería de Ferrol. Calle Mendizábal, s/n, 15403 Ferrol, A Coruña.

Andrés Suárez-García

Andrés Suárez-García es investigador del Departamento de Ingeniería Mecánica en el Departamento de Ingeniería Mecánica del Centro Universitario de la Defensa de la Escuela Naval Militar (Universidad de Vigo). Es autor y coautor de artículos científicos en revistas y congresos internacionales y sus líneas de investigación se centran en las energías renovables, el diseño para la fabricación aditiva, la optimización y la educación.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6471-0261>

Correo electrónico de contacto: andres.suarez@tud.uvigo.es

Álvaro Michelena

Álvaro Michelena Grandío tiene el Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática y el Máster Universitario en Informática Industrial y Robótica por la Universidade da Coruña. Desde mayo de 2021 trabaja como técnico de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (CITIC) de la Universidad de A Coruña, donde ha colaborado en diferentes proyectos de investigación. Sus principales áreas de investigación están relacionadas con la detección de anomalías y el modelado de sistemas.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0134-5660>

Correo electrónico de contacto: alvaro.michelena@udc.es

Esteban Jove

Esteban Jove es actualmente ayudante doctor en el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidade da Coruña. Sus principales líneas de investigación se centraron inicialmente en los sistemas híbridos inteligentes para modelar sistemas no lineales mediante técnicas de inteligencia artificial combinadas con métodos de agrupamiento. Esta propuesta se aplica de manera exitosa en un amplio rango de aplicaciones del ámbito industrial y médico, entre otras. Posteriormente, incorpora a su carrera investigadora una nueva línea que trata la detección de anomalías mediante técnicas *one-class* y métodos proyeccionistas en sistemas industriales y ciberseguridad.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0625-359X>

Correo electrónico de contacto: esteban.jove@udc.es

José-Luis Casteleiro-Roca

José-Luis Casteleiro-Roca forma parte del personal docente e investigador de la UDC como profesor ayudante doctor en el Departamento de Ingeniería Industrial. Es coautor de más de 50 publicaciones en revistas con factor de impacto en JCR, y más de 50 contribuciones a congresos científicos internacionales, más de 10 en congresos nacionales y varios capítulos de libros, así como libros completos. Sus temas de investigación principal se han centrado en la aplicación de tecnologías de sistemas

expertos a los sistemas de diagnóstico y control y en sistemas inteligentes para la ingeniería de control y la optimización.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9740-6477>

Correo electrónico de contacto: jose.luis.casteleiro@udc.es

Héctor Quintián

Héctor Quintián es profesor ayudante de la Universidade da Coruña en el Departamento de Ingeniería Industrial. Sus principales líneas de investigación se centraron inicialmente en la inteligencia artificial y el aprendizaje no supervisado desarrollando varios algoritmos con aplicación a sistemas de modelado industrial. En este periodo se destaca la publicación de 47 artículos en revistas indexadas, todas ellas en JCR. Ha publicado un total de 41 artículos en congresos internacionales de reconocido prestigio. Cabe destacar la participación en un total de 8 convenios, proyectos y contratos de investigación, 3 de ellos proyectos europeos, 1 internacional y 4 nacionales.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0268-7999>

Correo electrónico de contacto: hector.quintian@udc.es

José Luis Calvo-Rolle

José Luis Calvo-Rolle es ingeniero técnico industrial por la Universidade da Coruña, ingeniero industrial y doctor en Sistemas Inteligentes en la Ingeniería por la Universidad de León en 1998, 2004 y 2007, respectivamente. Es catedrático de universidad perteneciente al área de Ingeniería de Sistemas y Automática, adscrito al Departamento de Ingeniería Industrial de la Escuela Politécnica de Ingeniería de la Universidade da Coruña, España. Sus principales áreas de investigación están relacionadas con la optimización, el modelado, la detección de anomalías y el control aplicados a múltiples tipos de sistemas.

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2333-8405>

Correo electrónico de contacto: jose.rolle@udc.es

