

Expansión del Alcance de un Laboratorio Remoto a través de una Federación de Nodos: El Caso de VISIR

F. Garcia-Loro, Member, IEEE, P. Baizan, Member, IEEE, M. Blazquez, Member, IEEE, P. Plaza Member, IEEE, A. Macho, Member, IEEE, P. Orduña, Member, E. San Cristobal, Member, IEEE, and M. Castro, Fellow, IEEE

Title— Spreading Remote Laboratory Scope through a Federation of Nodes: VISIR Case.

Abstract— New social learning demands are fostered by continuous learning culture and self-learning environments. This demanding scenario requires ubiquitous educational environments without temporal restrictions. For these reasons, educational institutions increasingly rely on remote laboratories (RLs) as educational tools in order to provide real-world experiences in science education. RLs present several advantages to students which have been widely reported. Although quite powerful, RLs have intrinsically some drawbacks. While some of these drawbacks are inherent to the remote interaction and cannot be addressed, such as the impossibility to provide manual skill, many others derive from technical constraints. Traditionally, the approach to deal with these limitations on the performance is based on the redesign and improvement of the RL. However, due to the number of operating systems, an alternative approach is open for a RL: Virtual Instruments System in Reality (VISIR). VISIR is a RL designed to construct and test electrical/electronic circuits. The possibility of building a federation of VISIR nodes emerged from the actual needs detected by the VISIR community. In this paper, we describe a federation of VISIR nodes reporting the architecture implemented for the federation and the integration of the resulting federated resources into the different learning environments provided by the institutions to their students.

Index Terms— federation of remote laboratories, PILAR, remote laboratory, VISIR, RLMS.

F. Garcia Loro, P. Baizan, M. Blazquez, A. Macho P. Plaza, Member, E. San Cristobal, and M. Castro ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3559-4235>, are with the Electrical, Electronics, Control and Telematics Engineering and Chemistry Applied to Engineering Department (DIECTQAI) of the Industrial Engineering School (ETSII) of the Spanish University for Distance Education (UNED), Madrid, 28040. (e-mail: {fgarcialoro; pbaizan; mblazquez; amacho; pplaza; elio; mcastro} @ieec.uned.es).

P. Orduña is with LabsLand Experimentia S.L., Bilbao, 48007 Spain, and with DeustoTech, Bilbao, 48007 Spain. (e-mail: Pablo@labsland.com; pablo.orduna@deusto.es).

I. INTRODUCCIÓN

LAS demandas sociales en materia de educación han impulsado un enfoque basado en la premisa de “en cualquier lugar y a cualquier momento”. Muchas áreas de conocimiento son lo suficientemente flexibles, o no tienen requisitos estrictos, para adaptar sus entornos de aprendizaje a las condiciones antes mencionadas. Sin embargo, las áreas de conocimiento científicas requieren de un enfoque diferente.

En las áreas científicas se conoce la importancia de las prácticas de laboratorio para proporcionar un amplio espectro de experiencias de aprendizaje y dotar de escenarios que favorezcan el razonamiento [1-2]. La sociedad actual presenta necesidades variables que, lamentablemente, no pueden preverse en el medio plazo. Por lo tanto, las instituciones educativas deben transferir no sólo conocimientos y habilidades, sino también la capacidad de adaptarse a esta sociedad cambiante que requiere de individuos con competencias y habilidades dinámicas. En este sentido, las prácticas de laboratorio son cruciales para promover la actualización de un escenario de aprendizaje STEM (acrónimo en inglés de Science, Technology, Engineering y Mathematics; Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) a un escenario STEAM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas) [3]. Aspectos valiosos como la innovación, improvisación, curiosidad, la imaginación, adaptabilidad a distintos escenarios, enfrentarse a desafíos, etc. están involucrados en la “A” de STEAM. En consecuencia, la provisión de escenarios que faciliten el fomento de los aspectos citados se convierte en un elemento crucial. Para las áreas del STEM, los laboratorios, en general, favorecen la aparición de dichos escenarios.

Sin embargo, las sesiones de laboratorio están limitadas por varias razones: dificultades de acceso geográficas, disponibilidad horaria, la necesidad de personal cualificado durante las sesiones, puestos de trabajo duplicados para que permita abarcar la demanda, etc. Por estos motivos, los recursos educativos tradicionales de laboratorio (laboratorios presenciales) están limitados en las instituciones educativas ya que no son fácilmente adaptables a las condiciones anteriormente mencionadas o no es económicamente viable. En este sentido, los LR proporcionan entornos disponibles las 24 horas del día, los 7 días de la semana y, aparentemente,

para los estudiantes, escenarios sin supervisión que permiten, por ejemplo, la aparición de la curiosidad o la imaginación.

Los LR —equipos e instrumentos reales, controlados y monitorizados de forma remota, que operan en entornos reales y bajo condiciones de trabajo reales— han surgido como la respuesta de las áreas educativas científicas para proporcionar acceso ubicuo y disponibilidad temporal. Los LR, al igual que los laboratorios presenciales, pertenecen al mundo real: las medidas/resultados obtenidos provienen de la interacción con el mundo real. Los LR son una herramienta flexible que presenta unos elevados niveles de adaptación. El resultado de esta elevada adaptabilidad ha proporcionado nuevos escenarios de aprendizaje, tanto para profesores como para estudiantes, y ha permitido un enfoque flexible para las actividades basadas en la experimentación. Estos nuevos escenarios no solo son aplicables a la educación a distancia, sino que, por el contrario, algunos son exclusivos de la educación presencial. En cualquier caso, los LR no pretenden reemplazar a los laboratorios presenciales; ambos son recursos prácticos que se complementan entre sí y se puede concluir que los mejores resultados se obtienen de una combinación de los recursos disponibles [4]. Los LR proporcionan puestos de laboratorio controlables en tiempo real de forma remota a través de Internet por medio de tecnologías como el cloud computing, el Internet de las cosas (IoT) o las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs). Por lo tanto, los LR pueden considerarse como “un subconjunto del trabajo de laboratorio para emplear la tecnología más avanzada e innovadora” [2].

El ámbito y campo de aplicación de los LR es amplio en la literatura [2,5-6]; laboratorios remotos dedicados al diseño del control de sistemas dinámicos [7], o al estudio de la radiación infrarroja [8], son sólo un par de ejemplos. Los recursos diseñados varían desde experimentos específicos <<también conocidos como “experimentos receta”, basados en procedimientos preestablecidos y experimentación limitada>> hasta laboratorios “sandbox” que permiten plantear la pregunta “¿qué pasaría si...?”.

Por lo general, las instituciones educativas que han desarrollado un determinado LR, lo han diseñado basándose en las necesidades particulares detectadas u en unos objetivos establecidos [9]. Por lo tanto, se han desarrollado LR similares, pero diseñados con tecnologías diferentes y provistos por interfaces diferentes.

Este conjunto heterogéneo de LR con propósitos específicos, no facilita la fundación de una comunidad para desarrollar recursos comunes <<compartir recursos educativos, tanto experimentos como recursos adicionales>> y para aunar esfuerzos <<balanceando la carga de los usuarios>>. Sin embargo, hay un LR que supone una excepción a esta heterogeneidad de LR aplicados al mismo campo: el LR VISIR.

Virtual Instruments System in Reality (VISIR) es un LR para la experimentación remota de la electrónica o de la teoría de circuitos. Una de las principales características de VISIR es la posibilidad de acceso concurrente: hasta 60 usuarios pueden experimentar simultáneamente. En 2015, ha sido premiado como el mejor LR por el Global Online Laboratory Consortium (GOLC)[10].

El LR VISIR replica virtualmente un banco de trabajo de electrónica analógica tradicional. Se basa en una plataforma

de instrumentación y una matriz de conmutación para proporcionar a los usuarios un entorno experimental flexible. Permite a los estudiantes monitorizar señales, adquirir medidas, diseñar circuitos electrónicos y, esencialmente, interactuar de forma remota con un laboratorio de electricidad/electrónica. El LR VISIR se abordará en mayor profundidad en la sección II.

Las ya mencionadas réplicas existentes del LR VISIR permiten un marco que aproveche las sinergias entre los distintos sistemas VISIR. EL proyecto PILAR [11] <<<Erasmus+ Asociación Estratégica nº 2016-1-ES01-KA203-025327: Platform Integration of Laboratories based on the Architecture of visIR >>> se inició en 2016 con el objetivo de optimizar los escenarios de instrucción práctica en los campos de la ingeniería eléctrica y electrónica, basándose en la potenciación de los sistemas VISIR, tanto por separado y en su conjunto. El alcance del proyecto PILAR se describirá en la sección III.

Este artículo es una extensión del publicado dentro de las actas de la IEEE Global Engineering Education Conference 2019 (EDUCON2019) [11]. El artículo mencionado describe el proyecto Erasmus+ PILAR, justificando las necesidades técnicas de la federación y describiendo sus beneficios. En este documento extendido, presentamos el estado estable de la federación una vez alcanzada la fase final. Sin embargo, no se trata de una federación estática, sino de una comunidad flexible y activa articulada a través de la International Association of Online Engineering (IAOE, <http://online-engineering.org/>).

II. LABORATORIO REMOTO VISIR

Un sistema VISIR replica un puesto de laboratorio de electrónica analógica en un banco de trabajo virtual. Se basa en una plataforma de National Instruments, NI-PXI, para los instrumentos y equipos, y una matriz de conmutación, para los componentes. El resultado es un entorno de laboratorio flexible. El LR VISIR fue desarrollado en BTH (por el Departamento de Procesamiento de Señales) bajo el apoyo de un proyecto iniciado en 2006 e igualmente denominado VISIR [12].

La relevancia de VISIR puede entenderse atendiendo a la cobertura educativa proporcionada [21] y al número de sistemas instalados. Hasta la fecha, se han instalado 20 LR VISIR en 17 Instituciones de Educación Superior (IES) de 12 países diferentes: Argentina (2 IES, 2 LR), Austria (2 IES, 2 LR), Brasil (3 IES, 3 LR), Costa Rica (1 IES, 1 LR), Georgia (1 IES, 1 LR), Alemania (1 IES, 1 LR), India (1 IES, 1 LR), Marruecos (1 IES, 1 LR), Portugal (1 IES, 2 LR), España (2 IES, 3 LR), Suecia (1 IES, 2 LR) y Estados Unidos (1 IES, 1 LR).

Un sistema VISIR consiste en un sistema hardware en el lado de la institución proveedora y una capa de software en ambos lados <<usuario e institución>>. Además, requiere componentes reales, sus archivos de descripción y las conexiones físicas entre todos los distintos elementos.

El hardware y el software de VISIR han sido ampliamente descritos [12,13]. Por lo tanto, a continuación se analizarán los elementos de un sistema VISIR, centrándonos en aquellas características y restricciones más relevantes para la federación.

A. Hardware

Como se ha esbozado anteriormente, el hardware de un sistema VISIR puede dividirse en hardware de instrumentación (común y compatible en todos los sistemas) y hardware de experimentación (especialmente diseñado para cada sistema).

1. Hardware de Instrumentación

El hardware de instrumentación es el hardware necesario para que el LR sea operativo. Es independiente de los circuitos o componentes con los que experimentar. Incluye el conjunto de instrumentos y equipos de un laboratorio típico (multímetro, osciloscopio, fuente de alimentación, generador de funciones y protoboard).

Un sistema VISIR requiere, como mínimo, de los siguientes elementos para ser un laboratorio de electrónica funcional:

- a. **Plataforma de instrumentación:** La plataforma de instrumentación consiste en un chasis que alberga las tarjetas de equipos/instrumentos PXI de NI [13]. Cada tarjeta es un equipo/instrumento de laboratorio. También se encarga de las comunicaciones, energía, refrigeración, etc. En el caso del sistema VISIR que se muestra en la figura 1, el chasis también aloja un PC que actúa de controlador. Sin embargo, este PC puede ser externo utilizando la interfaz de comunicaciones apropiada. Al igual que en un típico laboratorio de electrónica, el LR VISIR debe contar al menos con un generador de funciones, una fuente de alimentación, un multímetro y un osciloscopio.
- b. **Matriz de conmutación:** La matriz de conmutación hace las veces de protoboard del laboratorio práctico tradicional. Se trata de un apilamiento de 4 tipos de tarjetas: tarjeta DMM, tarjeta osciloscopio, tarjeta de fuentes y tarjeta de componentes. Las comunicaciones entre la matriz de conmutación de relés y el controlador de instrumentación se realizan mediante un cable USB. Una matriz de conmutación de relés típica en un sistema VISIR cuenta con una tarjeta de osciloscopio, una tarjeta de fuentes, una tarjeta DMM y de 4 a 10 tarjetas de componentes. La matriz de conmutación de relés mostrada en la figura 1 cuenta con 10 placas de componentes.

2. Hardware de experimentación

El hardware de experimentación consiste en los elementos configurables para la construcción y diseño de los circuitos. Está formado por los componentes y sus conexiones en la matriz de nodos de la matriz de conmutación de relés. La muestra una placa de componentes (CB) con una resistencia conectada. Esta figura también muestra la matriz de nodos <A a I y X1 a X6> con la tira de transmisión de nodos en el centro, los pines de los componentes y la colocación de los relés en la placa; mientras que en la figura 1, se pueden observar circuitos externos conectados a la matriz para su uso a modo de cajas negras.

B. Software

El software necesario en un LR VISIR puede dividirse en el requerido para proveer un LR de electrónica analógica

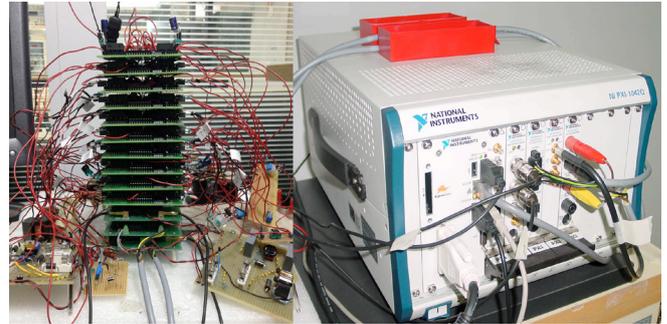


Fig. 1. Sistema VISIR instalado en la UNED: tarjetas de equipos e instrumentos PXI y el PC alojados en el chasis (derecha); Matriz de conmutación de relés instalada en la UNED: formada por 3 tarjetas para los equipos/instrumentos y 10 tarjetas de componentes.

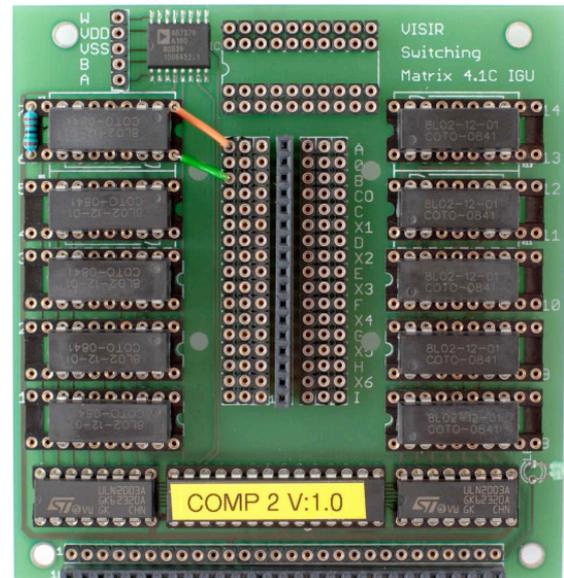


Fig. 2. Tarjeta de componentes con una resistencia conectada entre los nudos A y B.

operativo, y los archivos de configuración y descripción necesarios para los experimentos previamente diseñados y el uso de los componentes instalados.

- a. **Experimento cliente:** El cliente consiste en un banco de trabajo simulado donde el usuario interactúa con los diferentes instrumentos, los configura, y desde donde puede diseñar los experimentos y enviarlos al servidor de medida para que sean evaluados antes de ser construidos físicamente. En definitiva, es donde el alumno diseña el experimento.
- b. **Servidor de medida:** El servidor de medida recibe las peticiones del usuario de acceso al laboratorio. Comprueba la autenticación del usuario, gestiona la cola de solicitudes atendiendo a la prioridad del perfil de usuario y evalúa si el circuito diseñado por el usuario está permitido en los archivos *.max previamente diseñados por el profesor.
- c. **Servidor de equipos:** El servidor de equipos es responsable de configurar los instrumentos y construir físicamente el circuito de acuerdo con la solicitud validada por el servidor de medida.

C. Limitaciones de VISIR

La fiabilidad del LR VISIR, así como su flexibilidad a la hora de adaptarse a diferentes niveles educativos y escenarios, ha sido ampliamente documentada: Se ha empleado junto con

laboratorios presenciales de forma satisfactoria y a distintos niveles: escuela secundaria [16] o cursos de licenciatura [17]; también se ha integrado como una herramienta en el aula presencial [18]; y, obviamente, se ha proporcionado como la única herramienta práctica en cursos a distancia: desde educación no reglada, como en el primer Curso Online Abierto Masivo (MOOC, acrónimo del inglés Massive Open Online Course) [19], hasta cursos de postgrado para experimentos avanzados [20].

Como LR, VISIR presenta varias ventajas para los estudiantes que se enfrentan con restricciones o limitaciones de acceso a los recursos educativos prácticos, bien sea por motivos geográficos o de horarios: permite a estos estudiantes realizar experimentos el número de veces que necesiten desde cualquier lugar, permite una gestión flexible del tiempo, intentos ilimitados, adaptable a distintas metodologías de aprendizaje, proporciona un entorno seguro tanto para usuarios como laboratorio; los estudiantes pueden “jugar” dentro del laboratorio, los estudiantes se sienten libres sin ser observados por un profesor, teoría y práctica pueden ir de la mano; se puede acceder a VISIR utilizando cualquier tipo de dispositivo o el hecho de que los entornos de aprendizaje pueden enriquecerse con documentos y/o multimedia son algunas de las ventajas que presentan los LRs como VISIR frente a los laboratorios presenciales. Además, y debido a que los LRs son elementos del mundo real, también presentan esta ventaja sobre los laboratorios virtuales y simuladores.

A pesar del elevado potencial, un sistema VISIR tiene limitaciones en cuanto al número de componentes diferentes que puede alojar y circuitos que se pueden implementar. Existe una limitación en el número de CBs apilables (15) que soporta la matriz de conmutación, y, además, cada CB puede alojar un número limitado de componentes, dependiendo de su versión [21]:

- CB ver.C: Estas CBs están diseñados con diez relés reed bipolares DIL. Por lo tanto, se pueden instalar hasta 10 elementos (componentes de dos cables o cortocircuitos).
- CB ver.D/E: Estas CBs pueden configurarse como CB ver.C: utilizando diez relés bipolares DIL. Sin embargo, hasta seis de estos relés DIL pueden ser intercambiados por relés unipolares <<<2 relés reed SIL en lugar de un relé reed DIL>>. Esta configuración está pensada para componentes con tres o más polos. Sin embargo, si se emplea para cortocircuitos o para componentes de bipolares, un CB ver.D/E puede alojar hasta 14 elementos.
- CB-2C ver.B: Estas CBs pueden alojar sólo dos componentes bipolares. Sin embargo, cada polo del componente puede conectarse a cinco nodos distintos, lo que le confiere una elevada flexibilidad a la hora de diseñar circuitos con ellos. Estos CBs son especialmente interesantes cuando se utilizan componentes sin polaridad.

Las limitaciones físicas antes mencionadas implican que tanto el número de componentes como el número de circuitos es limitado, y ambos están inversamente relacionados entre sí. Esto se debe al mecanismo de cableado de la matriz de conmutación de relés. El uso de relés reed garantiza una rápida velocidad de conmutación junto con una baja resistencia interna. Sin embargo, los componentes están rígidamente conectados a la matriz de nodos, y el sistema

TABLA I
SISTEMAS VISIR EN LA FEDERACIÓN; CONFIGURACIÓN POR INSTITUCIÓN

Partner	Instrument Boards	Component Boards	2C Boards
BTH	4/4	6	2/2
UNED	3	10	0
CUAS	3	6	0
UDeusto	3/3	8+6	0
ISEP/IPP	3/3	4	3

sólo puede controlar o decidir la conexión/desconexión de los componentes conectados aguas abajo de los relés. Por lo tanto, si queremos proporcionar un entorno práctico flexible, que ofrezca la libertad de conexión como en los laboratorios prácticos, necesitamos utilizar más slots de la matriz de conmutación: más cortocircuitos o replicar componentes, con el fin de hacer posible más configuraciones que utilicen el mismo subconjunto de componentes.

En este escenario, es indudable el potencial de una federación de LRs VISIR basado en una comunidad sólida, y PILAR proporciona el marco formal para lograrlo.

III. PROYECTO PILAR

El proyecto PILAR aborda las necesidades identificadas por el Grupo de Interés Especial VISIR (VISIR-SIG) a lo largo de los años. El VISIR-SIG surge dentro de la IAOE como medio para compartir ideas, diseños, desarrollos y materiales, así como para discutir el desarrollo futuro de VISIR.

Las limitaciones antes mencionadas en el diseño de los circuitos se hacen más relevantes al analizar los sistemas involucrados en la federación (Tabla I). El número de CBs en los diferentes nodos revela las desventajas potenciales de cada nodo trabajando en modo isla. Aunque BTH, ISEP y UDEUSTO cuentan con 2 sistemas VISIR, uno de ellos está reservado para la investigación. Para paliar las dificultades reportadas por el VISIR-SIG de los sistemas aislados, el proyecto PILAR proporciona un marco final en el cual:

- se establece un protocolo estandarizado y compartido para acceder a los sistemas que forman la federación.
- se definen los mecanismos para añadir un nuevo sistema VISIR a la federación.
- se definen los requisitos de hardware y software tanto para el sistema VISIR como para la federación.
- se establece cómo federar sistemas y experimentos.
- se establece una definición de los diferentes tipos de acuerdos de nivel de servicio (SLA).
- se describen los perfiles y permisos de los usuarios.
- se establecen los acuerdos y políticas de uso en caso de emplear la plataforma proporcionada por la federación para la gestión de los recursos educativos (PILAR-Moodle).
- se establece una estructura jerárquica a la federación bajo la cobertura del IAOE.

El proyecto PILAR también está relacionado con el plan de acción de 2013 “Opening up Education” [14], con el objetivo de proporcionar una educación de alta calidad mediante el fomento de las competencias digitales que requerirán los puestos de trabajo del futuro a corto plazo; de acuerdo con algunos de sus principales objetivos:

- La creación de oportunidades para la aparición de enfoques innovadores: la federación permite nuevos escenarios de aprendizaje/enseñanza, proporcionando experimentos flexibles de una manera que un único sistema VISIR aislado no puede proporcionar.
- El aumento en el uso de los Recursos Educativos Abiertos (REA): PILAR tiene como objetivo favorecer la reutilización e intercambio de los recursos educativos basados en VISIR entre los socios VISIR (socios con un sistema VISIR). Además, a través del marco diseñado para la federación, y una vez establecidas las políticas para convertirse en miembro del consorcio y el tipo de SLA para cada uno de los servicios de LR ofrecidos, la federación se abrirá completamente a otros socios, lo que permitirá extender las capacidades de PILAR a las IESs interesadas.

En la federación participan 5 IESs de España, Suecia, Portugal y Austria <Universidad Nacional de Educación a Distancia, (UNED), Universidad de Deusto (UDEUSTO), Blekinge Tekniska Hogskola (BTH), Instituto Politécnico de Oporto (IPP) y Fachhochschule Kärnten (CUAS) >> cada una de las cuales aporta un sistema VISIR, recursos educativos y una amplia experiencia en la utilización de VISIR en diferentes entornos de aprendizaje. Junto con las IESs mencionadas, el consorcio PILAR está formado por la Internationale Gesellschaft fur Online Engineering Verein (IAOE), organización austriaca sin ánimo de lucro dedicada a la aplicación, difusión y desarrollo de la ingeniería en línea; Ecosistemas Virtuales y Modulares SL (EVM), una pequeña-mediana empresa española con amplia experiencia en el uso de la formación online como herramienta para la mejora de las competencias profesionales; y Espoon Seudun Koulutuskuntayhtymä Omnia (OMNIA), un proveedor de educación multisectorial finlandés centrado en la educación y la formación profesional en el segundo ciclo de secundaria, así como en la formación de aprendices para jóvenes y adultos.

La necesidad y los beneficios de una federación de nodos VISIR han sido ampliamente analizados y documentados por los socios [21-24]. Informes sobre el estado del arte de los sistemas VISIR, métricas de disponibilidad, necesidades particulares de cada institución, potenciales desarrollos posteriores o recursos clave compartibles han sido recogidos dentro del proyecto con el fin de identificar los aspectos clave para la federación. Las razones principales para una federación se basan en la escalabilidad, la disponibilidad y la optimización económica:

- Limitaciones constructivas sobre el número de CBs permitidas en una matriz de conmutación de relés.
- Limitaciones constructivas en el sistema sobre el número de componentes permitidos.
- Limitaciones constructivas acerca de las conexiones permitidas derivadas del diseño.
- Disponibilidad del servicio.
- Factores económicos en cuanto a personal cualificado, instalaciones físicas, etc.

A. Requisitos PILAR

La fase final del proyecto PILAR ha cumplido los siguientes requisitos para la federación:

- R1. Permite el acceso de profesores y alumnos a todos los sistemas VISIR federados.
- R2. La solución es federada, lo que significa que profesores y alumnos no tendrán que estar registrados en cada uno de los sistemas VISIR del consorcio.
- R3. Los estudiantes y profesores no necesitan saber qué sistema VISIR están utilizando. Deben ser capaces de pasar de un sistema a otro sin saber qué sistema VISIR soporta qué.
- R4. Los profesores pueden acceder a los recursos sin tener su propia infraestructura.
- R5. Los profesores pueden de utilizar los contenidos sin tener su propia infraestructura.
- R6. La federación soporta balanceo de carga de usuarios distribuido.
- R7. Los profesores y los estudiantes tienen contenidos en varios idiomas.
- R8. Los profesores tienen un único repositorio donde buscar lecciones y contenidos.
- R9. Los profesores pueden tomar los REAs y llevarlos a sus propios espacios.

B. Federación de LRs

VISIR viene con su propio sistema de gestión (OpenLabs [25]). OpenLabs fue creado ex profeso para VISIR, carece de la integración de herramientas externas y no considera protocolo de federación alguno, al contrario de los sistemas de gestión de laboratorios remotos (RLMS). Otro factor en contra sobre el uso de OpenLabs está relacionada con el seguimiento de los usuarios: no proporciona ninguna herramienta a los profesores o administradores para realizar un seguimiento de la actividad de los usuarios ni instrumento alguno de análisis de aprendizaje.

Los RLMS proporcionan herramientas de gestión y gestionan servicios comunes para los LRs [26-27]. La característica clave del RLMS es que cualquier capa implementada encima del RLMS, ésta se extiende automáticamente a todos los laboratorios que se encuentran bajo el RLMS [9]. Este es el caso del componente gateway4labs [28]: gateway4labs actúa como un puente que conecta a los usuarios desde un Sistema de Gestión de Aprendizaje/Contenido (LMSs/CMSs) con los LRs gestionados por el RLMS. Además, los RLMS incluyen protocolos de federación para los LRs [29,26]: dos instituciones que emplean el mismo RLMS, pueden compartir sus recursos de laboratorio a través de protocolos de federación. Por lo tanto, los sistemas VISIR bajo el sistema de gestión OpenLabs son entidades aisladas.

Los RLMS también proporcionan los mecanismos requeridos para establecer acuerdos de nivel de servicio entre las instituciones: Una institución, institución proveedora, puede proveer credenciales a los usuarios de otra institución, llamada institución consumidora, para que sus usuarios, una vez autenticados en su RLMS, tengan acceso a los recursos de laboratorios remotos de la institución proveedora gracias a los protocolos de la federación, y en los niveles acordados con la institución proveedora. Se pueden acordar distintos permisos/acuerdos con cada institución consumidora para cada recurso de laboratorio [9].

La federación PILAR cuenta con 5 réplicas de sistemas VISIR ubicados en 5 IESs diferentes. Normalmente, los RLMS se han centrado en la dotación y prestación de servicios

comunes (como autenticación, autorización, programación, administración de usuarios, seguimiento de usuarios o protocolos de federación) entre un conjunto heterogéneo de LR [9,30]. Este conjunto de recursos de laboratorio puede estar sostenido por varias instituciones y consumido a su vez por un grupo aún más amplio de instituciones [31]. Por ejemplo, la plataforma Go-Lab [21] cuenta con LR y laboratorios virtuales de 18 instituciones.

C. Arquitectura implementada

Los enfoques tradicionales seguidos en los RLMS [27,32] tienen un factor común: cada LR es considerado como una entidad individual. En [33] los autores exponen las ventajas de un sistema federado; En cuanto a compartir recursos de laboratorios: “Una vez que los estudiantes de una institución en particular pueden acceder a través de Internet a un laboratorio en particular, también pueden acceder a él los estudiantes de otras universidades”. Esta ventaja puede ser bidireccional a través de una federación.

Aunque los sistemas VISIR proporcionados por los socios (UNED, BTH, Deusto, IPP, CUAS) se basan en la misma arquitectura y el hardware instalado (hardware de instrumentación) es compatible entre los sistemas VISIR del consorcio, el sistema de gestión en la que se apoya cada socio difiere entre sí. Cada uno de ellos utiliza diferentes configuraciones para la gestión y el acceso, lo que es relevante para la arquitectura de la federación:

- UNED: el sistema VISIR se gestiona a través del RLMS WebLab-Deusto. Además, la UNED utiliza un sistema de reservas propias para garantizar que, en determinados casos, sólo una persona a la vez puede acceder al sistema VISIR, mientras que el resto del tiempo el sistema es concurrente. Este componente de reservas soporta el estándar IMS Learning Tool Interoperability (LTI), por lo que el sistema UNED no requiere el uso del componente gateway4labs.
- IPP: el sistema VISIR del ISEP utiliza WebLab-Deusto para la gestión de usuarios.
- UDEUSTO: el sistema VISIR utiliza WebLab-Deusto para gestionar el laboratorio.
- BTH: OpenLabs es el software encargado de gestionar su sistema VISIR.
- CUAS: Su sistema VISIR se basa en un software personalizado llamado e-dispatcher.

El diseño de la solución técnica para el repositorio PILAR se muestra en la figura 3. Los recursos prácticos pueden estar alojados en un SGA como Moodle o en cualquier plataforma que soporte el estándar LTI. Cada lección puede utilizar un sistema VISIR, pero la solución técnica para acceder a él es siempre la misma: IMS LTI. Los estudiantes pueden utilizar cualquier VISIR del consorcio de forma transparente (requisito 1). No es necesario que los usuarios se registren en cada plataforma (requisito 2). Los profesores disponen de los recursos vinculados a los distintos sistemas VISIR, pero los estudiantes no necesitan saber qué sistema VISIR están empleando (requisito 3). Los profesores pueden registrarse en el repositorio y acceder a los recursos (requisito 4). Los profesores pueden utilizar la infraestructura proporcionada por PILAR para sus estudiantes (requisito 5).

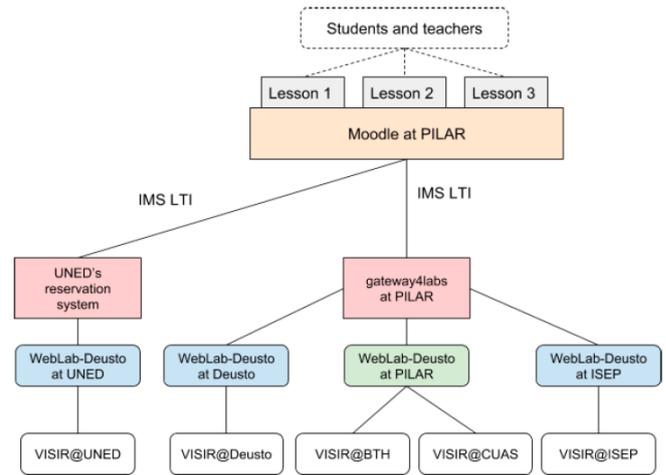


Fig. 3. Arquitectura empleada en la federación.

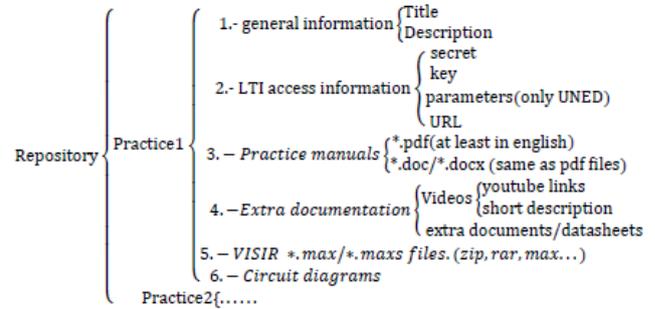


Fig. 4. Estructura de los contenidos en el repositorio.

file.max @VISIR1			
VFGENA_FGENA1	A 0	max:5	
VDC+25V_4	B	max:15	imax:0.5
VDCCOM_24_2		0	
SHORTCUT_1_5	A B		
SHORTCUT_1_11	B E		
SHORTCUT_1_14	B C		
R_3_6		C D	10K
R_5_2		D E	1K
SHORTCUT_2_7	C 0		
SHORTCUT_8_9	D 0		

file.max @VISIR2			
VFGENA_FGENA1	A 0	max:5	
VDC+25V_4	B	max:15	imax:0.5
VDCCOM_24_2		0	
SHORTCUT_1_4	A B		
R_3_6		C D	10K
SHORTCUT_1_7	D E		
R_5_2		E F	1K
SHORTCUT_8_9	F 0		

Fig. 5. Component board with resistor connected to the matrix of nodes.

D. Repositorio

Como primer paso para el repositorio se empleó una instancia de Moodle (PILAR-Moodle). Moodle soporta IMS LTI; protocolo que tanto gateway4labs como el sistema de reservas de la UNED soportan. Este sistema PILAR-Moodle ya no es necesario una vez que el repositorio se ha integrado en la web de la Federación (<http://pilar.ieec.uned.es>). Sin embargo, está disponible para profesores/instituciones que no disponen de una plataforma que tenga integrada el protocolo LTI (<https://pilar.ieec.uned.es/moodle/>).

La Web de la Federación ha sido desplegada durante el último tercio del proyecto. A partir de él, cualquier profesor

está en disposición de recoger los experimentos deseados e incluirlo en su propio LMS/CMS institucional. Como se ha comentado anteriormente, también es posible abrir un curso en PILAR-Moodle para aquellos profesores externos sin un LMS/CMS compatible con el protocolo LTI.

El repositorio incluye toda la información necesaria para el uso de los recursos prácticos federados. Cada recurso práctico incluye y describe la información que se muestra en la figura 4. El repositorio maneja 3 niveles diferentes dependiendo del perfil del usuario, y sus permisos para acceder y editar información difieren:

1. “Admin” <<<administradores de la plataforma>> y “Proveedor de VISIR” <<Responsable técnico en cada institución que provee un sistema VISIR>>; estos usuarios se encuentran en el nivel superior; ambos pueden crear nuevos recursos prácticos (nuevas prácticas), descargar y editar los ya disponibles.
2. “Profesor desarrollador”; estos profesores pueden tener acceso a toda la documentación disponible para cada recurso práctico. Por lo tanto pueden consultar los ficheros de configuración de los sistemas VISIR (ficheros *.max y component.list). Con esta información, un profesor desarrollador es capaz de reeditar guiones de prácticas creando nuevos experimentos basados en los archivos *.max ya incluidos o solicitando al proveedor VISIR correspondiente la inclusión de nuevas conexiones permitidas. Obviamente, los “profesores desarrolladores” deben conocer el funcionamiento interno del sistema VISIR.
3. “Profesor externo”: este perfil de profesores no tiene ningún conocimiento sobre el funcionamiento de VISIR, por lo que el acceso está limitado a los recursos educativos.

E. Balanceo de carga entre usuarios y “falsos amigos”

Una característica clave de RLMS WebLab-Deusto es que dos instituciones proporcionando el mismo LR, o la misma experiencia práctica de una LR específico, pueden equilibrar la carga de sus clientes/usuarios [9]. Una de las características clave dentro del marco de la federación está relacionada con la capacidad de balancear usuarios. Esta función se puede utilizar de dos maneras diferentes:

1. Sistema federado: Federar todos los experimentos de un sistema particular, que puede ser utilizado por cualquier socio perteneciente a la federación.
2. Federar experimentos replicados en dos o más sistemas para equilibrar la carga del usuario entre estos sistemas en función de las necesidades y situaciones temporales.

Según los informes sobre el estado del arte de los sistemas VISIR elaborados durante la primera fase del proyecto, varios circuitos son comunes para dos o más nodos VISIR del consorcio. En la actualidad, todos los socios han implementado un subconjunto análogo de prácticas destinadas a familiarizar a los estudiantes con la interfaz VISIR y con los instrumentos y equipos de laboratorio. Sin embargo, estas prácticas difieren ligeramente entre sí. Por lo tanto, estas pequeñas diferencias en la matriz (hardware de experimentación) o en los archivos (archivos max) convierten estos experimentos en diferentes.

La federación permite la posibilidad de construir, aparentemente, el mismo circuito en sistemas diferentes.

Sin embargo, algunas configuraciones internas en los circuitos pueden diferir. Estas diferentes configuraciones para un sistema VISIR pueden ser equivalentes en algunos subconjuntos de experimentos, pero no para todo el espectro de ellos. Por ejemplo, los archivos *.max de la figura 5 son equivalentes para un subconjunto de experimentos para el divisor de tensión $U_{cc} - 10\text{ k}\Omega - 1\text{ k}\Omega - \text{GND}$: caída de tensión en cualquier resistencia, amperímetro entre U_{cc} y $10\text{ k}\Omega$ y entre $1\text{ k}\Omega$ y GND, ambas configuraciones pueden utilizar el generador de funciones, etc.; sin embargo, el archivo *.max del sistema VISIR1 permite intercambiar resistencias, $U_{cc} - 1\text{ k}\Omega - 10\text{ k}\Omega - \text{GND}$, mientras que el sistema VISIR2 no. Por otro lado, el sistema VISIR2 permite conectar el amperímetro entre ambas resistencias mientras que en VISIR system1 es físicamente inviable (ambas resistencias están rígidamente conectadas en el nodo D).

Las pequeñas diferencias en cada sistema convierten la definición de los experimentos federados en una tarea muy delicada. La definición por software de las conexiones permitidas, la disposición física de los componentes dentro de la matriz y/o los cortocircuitos establecidos hace que cada sistema sea diferente entre sí: como si fueran laboratorios diferentes centrados en experimentos diferentes. Sin embargo, muchos experimentos, especialmente los más básicos, pueden ser usados para propósitos de balanceo de carga sin un rediseño complejo en la matriz o incluso sin la necesidad de aplicar ningún cambio.

IV. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Debido a que VISIR se basa en la experimentación en sobre el mundo real, conlleva limitaciones físicas del mundo real, por lo que un sistema aislado no es capaz de acomodar todas las necesidades en cuanto a la variedad de experimentos requeridos en un solo grado. La federación VISIR permite superar esta limitación actual, sin necesidad de llevar a cabo una inversión en equipamiento adicional. La federación PILAR multiplica y potencia los efectos positivos del uso de un LR VISIR. Así, la integración de los recursos de VISIR resulta en una federación en la que el resultado global es mayor que la suma de cada uno de los servicios.

La federación resultante de los sistemas VISIR ha paliado las desventajas mencionadas en el funcionamiento de un sistema VISIR. El primer resultado evidente es un repositorio extenso e intensivo de recursos reales online. Asimismo proporciona un sistema robusto y fiable a través de Internet para proveer los servicios de LR de forma estructurada, beneficiándose cada nodo VISIR de los recursos disponibles a través de la federación del resto de nodos.

La naturaleza de los servicios prestados en la federación garantiza que los estudiantes puedan acceder a los recursos desde sus países, es decir, garantiza la movilidad virtual sin financiación adicional. Además, los servicios son fácilmente adaptables y actualizables, lo que permite la construcción de nuevas y mejoradas prácticas de electricidad y electrónica remotas reales.

La disposición resultante de los componentes en la matriz de conmutación de relés, los archivos que describen los componentes instalados y las conexiones permitidas pueden ser replicados. Sin embargo, cada proveedor VISIR del consorcio ha diseñado la matriz de acuerdo con sus necesidades educativas particulares. Además, y como muestra

la tabla I, cada socio tiene una configuración diferente para la matriz de conmutación de relés. En este sentido, se requiere una estrategia de diseño global y consensuada para la matriz de conmutación de relés con el fin de optimizar los sistemas.

Hasta la fecha, 715 usuarios se han registrado en la plataforma PILAR-Moodle LMS. Los experimentos federados por el consorcio han registrado más de 10.000 accesos a los sistemas VISIR sólo desde la plataforma PILAR-Moodle LMS. Estas cifras ponen de manifiesto la necesidad de la estrategia de diseño acordada anteriormente, así como la proliferación de experimentos de equilibrio de carga distribuidos.

La comunidad se beneficia de la experiencia y de las capacidades más sólidas de cada socio, ofreciendo mejores recursos de experimentación pedagógica y técnicamente. Por ejemplo, los últimos avances del sistema VISIR (en su mayoría realizados en BTH) estarán disponibles para su uso y evaluación casi de inmediato por parte del resto de socios. Igualmente, el aumento de usuarios del LR VISIR permitirá una estrategia de desarrollo mejorada que, a su vez, beneficiará a todo el consorcio. Por lo tanto, un resultado esperado del proyecto PILAR es un crecimiento e implantación acelerado y mejorado de los entornos de experimentación remota, con beneficios considerables para un amplio conjunto de usuarios, no sólo para las organizaciones asociadas sino también para un amplio conjunto de universidades europeas y mundiales, escuelas secundarias, empresas privadas, etc. La federación VISIR proporciona un recurso de aprendizaje sustancial y grandes ganancias educativas que estarán disponibles para una amplia gama de instituciones educativas e industriales.

Como futuras líneas de trabajo, cabe destacar el desarrollo de herramientas informáticas para la identificación de los circuitos disponibles.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido cofinanciado por la Comunidad de Madrid, a través del proyecto e-Madrid-CM (P2018/TCS-4307). El proyecto e-Madrid-CM también está cofinanciado por los Fondos Estructurales (FSE y FEDER). Y cofinanciación parcialmente por la Escuela de Ingeniería Industrial de la UNED y sus proyectos 2019/IEQ-15, 2019/IEQ-14 y 2019/IEQ13; el proyecto IoT4SMEs, Internet de los objetos para la pequeña y mediana empresa europea - Erasmus+ Strategic Partnership 2016-1-IT01-KA202-005561; IoE-EQ, Internet of Energy - Education and Qualification. Erasmus+ - Cooperation for Innovation and the Exchange of Good Practices 2017-1-IT01-KA202-006251; PILAR, Platform Integration of Laboratories based on the Architecture of visIR - Erasmus+ Strategic Partnership 2016-1-ES01-KA203-025327; y e-LIVES, e-Learning InnoVative Engineering Solutions- Erasmus+ Capacity Building in Higher Education 2017-585938-EPP-12017-1-FR-EPPKA2-CBHE-J.

REFERENCIAS

- [1] A. Hofstein and R. Mamlok-Naaman, "The laboratory in science education: the state of the art," *Chem.Educ.Res.Pract.*, vol. 8, pp. 105-107, 2007.
- [2] S.W. Tho, Y.Y. Yeung, R. Wei, K.W. Chan and W.W. So, "A Systematic Review of Remote Laboratory Work in Science Education with the Support of Visualizing its Structure through the HistCite and CiteSpace Software," *International Journal of Science and Mathematics Education*, vol. 15, pp. 1217-1236, 2017.
- [3] A. Connor, S. Karmokar and C. Whittington, "From STEM to STEAM: Strategies for Enhancing Engineering & Technology Education," *International Journal of Engineering Pedagogy*, vol. 5, pp. 37-47, May, 2015.
- [4] J. Ma and J. Nickerson, "Hands-on, simulated, and remote laboratories," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 38, pp. 7-es, Sep 30., 2006.
- [5] T. Alkhalidi, I. Pranata and R.I. Athauda, "A review of contemporary virtual and remote laboratory implementations: observations and findings," *Journal of Computers in Education*, vol. 3, pp. 329-351, 2016.
- [6] R. Heradio, L. de la Torre, D. Galan, F.J. Cabrerizo, E. Herrera-Viedma and S. Dormido, "Virtual and remote labs in education: A bibliometric analysis," *Computers & Education*, vol. 98, pp. 14-38, 2016.
- [7] A. Chevalier, C. Copot, C. Ionescu and R. De Keyser, "A Three-Year Feedback Study of a Remote Laboratory Used in Control Engineering Studies," *IEEE Transactions on Education*, vol. 60, pp. 127-133, May, 2017.
- [8] S.W. Tho and Y.Y. Yeung, "An implementation of remote laboratory for secondary science education," *J Comput Assist Learn*, vol. 34, pp. 629-640, 2018.
- [9] P. Orduña, "Transitive and scalable federation model for remote laboratories," Ph.D. dissertation, Universidad De Deusto, Bilbao, Spain, 2013.
- [10] IAEOE/GOLC, "GOLC - Online Lab Award." [Online]. Available: http://online-engineering.org/GOLC_online-lab-award.php. [Accessed: 01 Sept 2019]
- [11] F. Garcia-Loro, E.S. Cristobal, G. Diaz, M. Castro, P. Orduna, W. Kulesza, K. Nilsson, A. Fidalgo, G. Alves, U. Hernandez-Jayo, J. Garcia-Zubia, C. Kreiter, A. Pester, M. Auer, C. Garcia, R. Tavio, K. Valtonen and E. Lehtikangas, "PILAR: Sharing VISIR Remote Labs Through a Federation," in *Proc. 2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pp. 102-106, Apr. 2019.
- [12] I. Gustavsson, J. Zackrisson, J.S. Bartunek, H. Åkesson, L. Håkansson and T. Lagö L., "An Instructional Electronics Laboratory Opened for Remote Operation and Control," *International Conference on Engineering Education*, 2006.
- [13] M. Tawfik, S. Monteso, F. Garcia-Loro, P. Losada, J. Antonio-Barba, E. Ruiz, E. Sancristobal, G. Diaz, J. Peire and M. Castro, "Online Experiments With DC/DC Converters Using the VISIR Remote Laboratory," *IEEE Revista Iberoamericana De Tecnologias Del Aprendizaje*, vol. 10, pp. 310-318, 2015.
- [14] European Commission, "Press release - Commission launches 'Opening up Education' to boost innovation and digital skills in schools and universities", *Europa.eu*, 2019. [Online]. Available: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-13-859_en.htm. [Accessed: 09 Jan 2019]
- [15] IAEOE, "VISIR Special Interest Group" [Online]. Available: <http://online-engineering.org/>. [Accessed: 01 Sept 2019]
- [16] M. Blazquez-Merino, F. Garcia-Loro, P. Plaza-Merino, A. López-Rey, E. San Cristobal-Ruiz, M. Castro-Gil and M.J. Albert, "Gender comparative research on learning strategies applying the cognitive-motor model methodology and VISIR remote lab," *Comput Appl Eng Educ*, vol. 27, pp. 869-884, 2019.
- [17] A. V. Fidalgo, G. R. Alves, M. A. Marques, M. C. Viegas, M. C. Costa-Lobo, U. Hernandez, J. Garcia-Zubia and I. Gustavsson, "Using remote labs to serve different teacher's needs A case study with VISIR and RemotElectLab," *2012 9th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, pp. 1-6, 2012.
- [18] J. Garcia-Zubia, J. Cuadros, S. Romero, U. Hernandez-Jayo, P. Orduña, M. Guenaga, L. Gonzalez-Sabate and I. Gustavsson, "Empirical Analysis of the Use of the VISIR Remote Lab in Teaching Analog Electronics," *IEEE Transactions on Education*, vol. 60, pp. 149-156, 2017.
- [19] F. García, G. Díaz, M. Tawfik, S. Martín, E. Sancristobal and M. Castro, "A practice-based MOOC for learning electronics," *2014 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pp. 969-974, 2014.
- [20] M. Tawfik, S. Monteso, F. Garcia-Loro, E. Sancristobal, E. Ruiz, G. Díaz, A. Colmenar Santos, J. Peire and M. Castro, "Novel design and development of advanced remote electronics experiments," *Comput Appl Eng Educ*, vol. 23, pp. 327-336, 2015.
- [21] F. Garcia-Loro, A. Macho, E. S. Cristobal, G. Diaz, M. Castro, W. Kulesza, I. Gustavsson, K. Nilsson, A. Fidalgo, G. Alves, A. Marques, U. Hernandez-Jayo, J. Garcia-Zubia, C. Kreiter, R. Oros, A. Pester, D. Garbi-Zutin, M. Auer, C. Garcia-Hernandez, R. Tavio, K. Valtonen and E. Lehtikangas, "Experimenting in PILAR federation: A common path for the future," *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pp. 1518-1523, 2018.

- [22] F. Garcia-Loro et al., "PILAR: a Federation of VISIR Remote Laboratory Systems for Educational Open Activities," 2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE), pp. 134-141, 2018.
- [23] G. R. Alves et al., "Spreading remote lab usage a system — A community — A Federation," 2016 2nd International Conference of the Portuguese Society for Engineering Education (CISPEE), pp. 1-7, 2016.
- [24] [3] W. Kulesza, I. Gustavsson, D. Garbi-Zutin, M. Auer, A. Marques, A. Fidalgo, G. R. Alves, C. Garcia-Hernandez, R. Tavio, U. Hernandez-Jayo, J. Garcia-Zubia, K. Valtonen, C. Kreiter, R. G. Oros, A. Pester, F. Garcia-Loro, A. Macho, E. Sancristobal, G. Diaz and M. Castro, "A federation of VISIR remote laboratories through the PILAR Project," 2017 4th Experiment@International Conference (Exp.at'17), pp. 28-32, 2017.
- [25] I. Gustavsson, J. Zackrisson and J. Lundberg, "VISIR work in progress," 2014 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), pp. 1139-1148, 2014.
- [26] P. Orduña, S. Botero Uribe, N. Hock Isaza, E. Sancristobal, M. Emaldi, A. Pesquera Martin, K. DeLong, P. Bailey, D. López-de-Ipiña, M. Castro and J. Garcia-Zubia, "Generic integration of remote laboratories in learning and content management systems through federation protocols," 2013 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), pp. 1372-1378, 2013.
- [27] F. Schauer, M. Krbecsek, P. Beno, M. Gerza, L. Palka, P. Spilaková and L. Tkac, "REMLABNET III — Federated remote laboratory management system for university and secondary schools," 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), pp. 238-241, 2016.
- [28] P. Orduña, D. G. Zutin, S. Govaerts, I. L. Zorrozuza, P. H. Bailey, E. Sancristobal, C. Salzmann, L. Rodriguez-Gil, K. DeLong, D. Gillet, M. Castro, D. López-de-Ipiña and J. García-Zubia, "An Extensible Architecture for the Integration of Remote and Virtual Laboratories in Public Learning Tools," IEEE Revista Iberoamericana De Tecnologías Del Aprendizaje, vol. 10, pp. 223-233, 2015.
- [29] V. J. Harward, J. A. del Alamo, S. R. Lerman, P. H. Bailey, J. Carpenter, K. DeLong, C. Felknor, J. Hardison, B. Harrison, I. Jabbour, P. D. Long, T. Mao, L. Naamani, J. Northridge, M. Schulz, D. Talavera, C. Varadarajan, S. Wang, K. Yehia, R. Zbib and D. Zych, "The iLab Shared Architecture: A Web Services Infrastructure to Build Communities of Internet Accessible Laboratories," Proceedings of the IEEE, vol. 96, pp. 931-950, 2008.
- [30] L. Zapata-Rivera and M. Larrondo-Petrie, "A Reliability Assessment Model for Online Laboratories Systems," in 19th Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation, REV2019, pp. 252-260, 2019.
- [31] F. Schauer, M. Krbecsek, P. Beno, M. Gerza, L. Palka and P. Spilaková, "REMLABNET - open remote laboratory management system for e-experiments," in Proc. 2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), pp. 268-273, Feb. 2014.
- [32] Go-Lab, European Commission-CORDIS: Projects and Results: Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School", Cordis.europa.eu, 2018. [Online]. Available: http://cordis.europa.eu/project/rcn/105919_en.html. [Accessed: 03 Sept 2019].
- [33] P. Orduña, P.H. Bailey, K. DeLong, D. Lopez-De-Ipiña and J. Garcia-Zubia, "Towards Federated Interoperable Bridges for Sharing Educational Remote Laboratories," Comput.Hum.Behav., vol. 30, pp. 389-395, jan. 2014.



Felix Garcia Loro tiene un Doctorado en Ingeniería, un Máster en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control y es Ingeniero Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) de la Universidad de Educación a Distancia de España (UNED), 2018, 2014 y 2008 respectivamente.

Actualmente trabaja como investigador en el Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Control y Telemática y Química Aplicada a la Ingeniería (DIECTQAI) de la UNED. También está involucrado como profesor, tutor y tutor práctico dentro del departamento. Ha colaborado y colabora en diversos proyectos de investigación.

El Dr. Garcia Loro es miembro del IEEE, de la IEEE Education Society, de la International Association of Online Engineering (IAOE) y del Global Online Laboratory Consortium (IAOE/GOLC). También colabora activamente con la rama estudiantil del IEEE de la UNED como tesorero desde 2015.



Pablo Baizán tiene un Máster en Ingeniería Industrial, Electrónica y Control por la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), Madrid, España, y licenciado en Electrónica Industrial e Ingeniería de Control por la Universidad de Oviedo, Gijón, España en 2016 y 2014 respectivamente. Ha colaborado en numerosos proyectos de investigación electrónica para los sectores metalúrgico e inalámbrico.

Actualmente trabaja en una empresa de desarrollo de sistemas electrónicos para el sector aeroespacial y de defensa. Anteriormente ha estado conectado profesionalmente a una compañía de sensores inalámbricos e IOT.



Manuel Blázquez-Merino es miembro del IEEE (SM'08 - M'16) y nació en Madrid (España) en 1969. Es Ingeniero Industrial y actualmente candidato al doctorado en el Departamento de Ingeniería de la E.S.T.I.I. de la Universidad Española de Educación a Distancia (UNED), profesor de Tecnologías y TIC desde 1996 en el Instituto Ramiro de Maeztu de Madrid, profesor en el Departamento de Educación

de la Universidad Antonio de Nebrija y colaborador investigador en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Control Electrónico de la UNED. Es autor de veintiséis libros de texto sobre Tecnología y Tecnologías de la Información para la enseñanza secundaria con editoriales como Anaya, Santillana, Bruño y Algaída de España. Ha publicado más de treinta artículos en revistas de ingeniería y conferencias educativas en la última década. Ha

sido galardonado con el premio al mejor Proyecto de Fin de Carrera de 2009 por el Capítulo Español de la IEEE Education Society y con la mención a la Excelencia Docente por la Universidad Antonio de Nebrija en 2016. Antes de su carrera docente, trabajó en empresas de ingeniería líderes como Indra, Ena-Telecomunicaciones y Remica en España. (e-mail: manuel.blazquez.merino@gmail.com).



Pedro Plaza actualmente cursa el doctorado en Ingeniería Industrial en la ETSII de la UNED. Obtuvo el título de Máster por la ETSII (Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales) de la Universidad Española de Educación a Distancia (UNED), Madrid, España, en 2013. Además, es Ingeniero Industrial por la Universidad Carlos III de Madrid (UC3M), en 2010. Actualmente es ingeniero de proyectos de I+D en Siemens Rail

Automation. Pedro Plaza es miembro del Consejo Editorial de International Journal of Automation and Robotic Technology in Inderscience. Es autor de varias publicaciones en prestigiosas conferencias y revistas. Pedro Plaza ha colaborado en varios proyectos de investigación. Es miembro senior del IEEE, miembro de la IEEE Robotics and Automation Society, de la IEEE Education Society, de IEEE Young Professionals y de IEEE Women in Engineering (WIE). Asimismo, es presidente y presidente del WIE en la rama estudiantil del IEEE de la UNED.



Alejandro Macho Aroca (S'12-M'15-GS'16) Máster en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control por la Universidad Española de Educación a Distancia (UNED), Madrid, España - 2016, y Licenciada en Electrónica Industrial e Ingeniería de Control por la Universidad de Castilla - La Mancha (UCLM), Albacete, España - 2014, persigue actualmente su doctorado en Ingeniería Industrial. Miembro del IEEE desde 2011.

Trabajó en Deloitte de 2014 a 2018 como Consultor Senior de Tecnología, luego se trasladó a Fever Labs Inc. como Jefe de Operaciones durante un año, desde entonces trabaja en Iberdrola en Governance and IT Architecture. El Sr. Macho es presidente de la Asociación Nacional Qubic, una asociación para estudiantes, profesores e instituciones educativas que buscan un gran impacto e innovación en la educación. Ha sido vicepresidente del Foro Estados Unidos España de 2011 a 2016 y ha colaborado con empresas como Microsoft. Alejandro tiene un doctorado. Candidata a Electrónica Avanzada en el departamento de IEEC (UNED) y está inscrita en el grupo de investigación G-eLios y en el grupo de innovación G-TAEL.



Pablo Orduña obtuvo su doctorado en la Universidad de Deusto, con una estancia investigadora en el Instituto Tecnológico de Massachusetts; así como también se graduó en el Programa de Soluciones Globales de la Singularity University de la NASA Ames.

Es co-fundador y CEO de LabsLand; una red global de laboratorios remotos donde universidades y escuelas

pueden acceder a laboratorios de otras instituciones. Como parte de su investigación en DeustoTech, ha publicado más de 150 artículos científicos y ha participado en proyectos europeos como Go-Lab (FP7) o Next-Lab (H2020), con diferentes premios internacionales entre los que se encuentra el MIT TR35 Spain para los 10 mejores innovadores de España de la MIT Technology Review.



Dr Elio Sancristobal tiene un doctorado en ingeniería de la ETSII (Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales) de la Universidad de Navarra.

Universidad Española de Educación a Distancia (UNED), en 2010. Es Ingeniero Superior en Informática por la Universidad Pontificia de Salamanca (UPS), Madrid, en 2002, e Ingeniero Técnico en Redes Informáticas (UPS), Madrid, en 1998. Ha trabajado para

el Instituto Universitario de Educación a Distancia (IUED) de la UNED. En la actualidad, trabaja como profesor asistente.

en el Departamento de Electricidad, Electrónica y Control de la UNED. Es autor de varias publicaciones en revistas y congresos de prestigio. El Dr. Sancristobal ha colaborado en varios proyectos de investigación. Es miembro de la IEEE y de la IEEE Education Society.



Manuel Castro (M'87-SM'94-F'08) es Ingeniero Industrial y Doctor Ingeniero por la ETSII/Universidad Politécnica de Madrid, España. Ha recibido el Premio Extraordinario de Doctorado en la UPM y el Premio Viesgo a la Tesis Doctoral 1988, mejorando la Investigación Científica sobre la Aplicación de la Electricidad en Procesos Industriales. Recibió el Premio del Consejo Social de la UNED en 1997 y 1999 a los

Mejores Materiales Didácticos en Ciencias Experimentales y el Premio a la Excelencia Innovadora en la Enseñanza, el Aprendizaje y la Tecnología 2001 del Centro para el Avance de la Enseñanza y el Aprendizaje. Trabaja como investigador, coordinador y director en diferentes proyectos, cubriendo temas que van desde aplicaciones de sistemas de técnicas de simulación, sistemas solares y simulación de sistemas avanzados de microprocesadores hasta aplicaciones y sistemas de telemática y educación a distancia, así

como ingeniería eléctrica asistida por ordenador (CAEE). Actualmente se desempeña como director técnico senior.

Actualmente es Catedrático de Tecnología Electrónica y Director del Departamento de Ingeniería Eléctrica e Informática de la UNED (Universidad de Educación a Distancia). Anteriormente fue Vicerrector de Nuevas Tecnologías de la UNED, Director del Centro de Servicios de Información de la UNED, Vicerrector de Investigación y Doctorado, Vicerrector de Asuntos Académicos de la Facultad de Ingeniería de la UNED y Director del Departamento. Trabajó durante 5 años en Digital Equipment Corporation como ingeniero de sistemas senior. Publica diferentes libros y artículos técnicos, de investigación y docencia para revistas y congresos, así como materiales multimedia, radio, programas de televisión y webinars.

Prof. Castro pertenece al comité organizador de IEEE EDUCON (presidente), IEEE FIE (Presidente Internacional y de Europa, 2000-2006), IEEE EDUNINE, IEEE LWMOOCs (presidente), ISES, conferencias de TAEED y SAAEI y miembro de los comités de programación y planificación, revisor y presidente de varios otros; copresidente de la conferencia COMPSAC 2020, LWMOOCs 2018, REV 2016, FIE 2014, EDUCON 2010, TAEED 2010 e ICECE 2005, así como co-editor de IEEE-RITA y del Electronic Journal of Spanish Chapter of the IEEE Education Society. Es miembro del IEEE (por sus contribuciones al aprendizaje a distancia en la enseñanza de la ingeniería eléctrica e informática) y miembro de la Junta Directiva del IEEE como Director de la División VI (2019-2020), miembro del Comité de Administración y de la Junta de Gobierno (AdCOM/BoG) (2005-2021) y Presidente (2013-2014) de la Sociedad de Educación del IEEE; así como Presidente Emérito de la IEEE Education Society (2017), Fundador y Pasado Presidente (2004-2006) del Capítulo Español de la IEEE Education Society, y Presidente de la Sección Española de la IEEE (2010-2011), Presidente del Subcomité de Actividades Educativas de la Región 8 de la IEEE (2015-2016). Ha sido galardonado con el Premio IEEE William E. Sayle al Éxito en Educación 2019 de la IEEE Education Society, Premio Madrid Convention Bureau 2017 como Embajador Honorífico de Madrid. 2017 Premio IGIP Nikola Tesla, Premio IEEE EDUNINE 2017 al Servicio Meritorio, TAEED 2012 (Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica) a la Vida Profesional, Premio IEEE EDUCON 2011 al Servicio Meritorio (junto con Edmundo Tovar), y el Premio al Miembro Distinguido 2010 de la IEEE Education Society, el Premio Edwin C. Jones, Jr. 2009. Meritorious Service Award de la IEEE Education Society, el 2006 Distinguished Chapter Leadership Award y por el trabajo colectivo dentro del capítulo español de la IEEE Education Society, con el Best Chapter Award 2011 (por la IEEE Region 8) así como con el Chapter Achievement Award 2007 (por la IEEE Education Society). Es miembro del Consejo de Administración de la Sociedad Internacional de Energía Solar (ISES).