

Evolución en la Provisión de Servicios de Laboratorio Remoto a través de Protocolos de Federación

Felix García-Loro

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Madrid, España
fgarcialoro@ieec.uned.es

Blanca Quintana

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Madrid, España
bquintana@ieec.uned.es

Martín Fernández

Facultad Regional San Nicolás (FRSN)
Universidad Tecnológica Nacional (UTN)
San Nicolas, Argentina
rmfernandez@frsn.utn.edu.ar

Alejandro Macho

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Madrid, España
amacho@ieec.uned.es

Pablo Baizán

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Madrid, España
pbaizan@ieec.uned.es

Pedro Plaza

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Madrid, España
pplaza@ieec.uned.es

Clara Pérez-Molina

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Madrid, España
clarapm@ieec.uned.es

Elio San Cristobal

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Madrid, España
elio@ieec.uned.es

Gabriel Díaz Orueta

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Madrid, España
gdiaz@ieec.uned.es

Manuel Castro

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII)
Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)
Madrid, España
mcastro@ieec.uned.es

Abstract— El Proyecto PILAR (Plataforma de Integración de Laboratorios basados en la Arquitectura de visiR) ha tenido como principal objetivo la federación de 5 nodos del laboratorio remoto VISIR (Virtual Instruments System in Reality), compartiendo recursos tanto técnicos como educativos. De esta forma, el proyecto ha alcanzado la creación de una red de laboratorios VISIR con un amplio repositorio de experiencias prácticas compartidas por las distintas instituciones participantes y abiertas a otras instituciones externas al proyecto. Además, este proyecto va más allá de los objetivos establecidos en el proyecto y ha establecido formalmente una alianza formada por las distintas instituciones que formaran los distintos nodos del proyecto y establecer las políticas relativas para la incorporación de nuevos nodos a la federación y las relativas a la explotación de la federación por parte de los usuarios finales (usuarios e instituciones).

Keywords— federación, laboratorio remoto, VISIR, electrónica, experimentación

I. INTRODUCTION

Distintos autores [1]-[6] aluden a los laboratorios presenciales, laboratorios remotos (LRs), laboratorios virtuales y los simuladores como las posibilidades que ofrecen las instituciones educativas con el fin de

complementar los contenidos teóricos y el desarrollo de cursos en los que la experimentación juega un papel importante:

Cada formato de laboratorio (presencial, remoto, virtual o simulado) tiene unas ventajas sobre los otros tanto para usuarios, instituciones, docentes y objetivos de aprendizaje. En este sentido, en [8], [2] o [9] los autores afirman que no es posible una comparación directa entre las distintas alternativas debido a la falta de un criterio uniforme para evaluar la efectividad de cada laboratorio. Naef [2] y Lindsay y Good [7] concluyen que no se puede concluir objetivamente que ningún tipo de laboratorio es superior a otro, ya que cada uno de ellos proporciona diferentes beneficios de aprendizaje. Por lo tanto, la mejor solución es una combinación de los métodos o el uso de aquellos que mejor se adecue al individuo y metas establecidas. Más recientemente, en el análisis realizado en [16] los resultados sugieren que en la mayoría de los estudios revisados (89%) demuestran que el logro de los resultados del aprendizaje de los estudiantes es igual o superior en los laboratorios no tradicionales en todas las categorías de resultados del aprendizaje (conocimiento y comprensión, habilidades de investigación, habilidades prácticas, percepción, habilidades analíticas y comunicación social y científica)

Los laboratorios remotos son laboratorios reales accesibles y controlables remotamente mediante una red — por lo general, internet—. Diferentes diseños de laboratorios web se han creado para aportar experiencias prácticas educativas en todo el mundo. Algunos ejemplos se describen en [10]-[15]. En [9] los autores subrayan que los laboratorios remotos y presenciales son muy similares. En esta línea, en [17] se señala que, tanto los laboratorios presenciales como los laboratorios remotos, son parte del mundo real y esa es la diferencia entre ellos y los laboratorios simulados y/o virtuales.

En [9] se apunta que lo que hace especiales a los laboratorios remotos es la distancia entre el experimento y el usuario. La diferencia fundamental impuesta por la operación a distancia es la separación física de los estudiantes y equipo experimental real, por lo tanto, los laboratorios remotos tienen una capacidad muy limitada para proporcionar habilidades manuales. Por otro lado, algunos autores, sostienen que la presencia física es sólo un elemento de la percepción de la realidad, una realidad subjetiva del estudiante [18][19]. Asimismo, apuntan, que la solución a este inconveniente se alcanza por medio de una interfaz que dote de una mayor inmersión de los estudiantes en el laboratorio.

Evidentemente, los laboratorios remotos trasladan inconvenientes de los laboratorios presenciales, especialmente en lo referente al apartado experimental. Factores como averías en los equipos e instrumentos, monitores/tutores de prácticas con baja experiencia, inconvenientes derivados del desconocimiento en el funcionamiento de los equipos e instrumentos, componentes defectuosos, etc [20]. Pero además, factores derivados de las limitaciones constructivas del laboratorio remoto, limitaciones de operación, etc., son inconvenientes propios de los laboratorios remotos[21]-[23].

Este artículo se centra en los resultados y trabajo llevado a cabo en los últimos 3 años dentro del proyecto Erasmus+ PILAR “Plataforma de Integración de Laboratorios basados en la Arquitectura de visiR (2016-1-ES01-KA203-025327)”. El proyecto PILAR se encuentra enmarcado dentro de una estrategia centrada en las TICs y en la mejora de cada sistema VISIR integrante en el proyecto a través de la federación y de los recursos abiertos. Asimismo, se esbozan las sinergias existentes con otro proyecto que se encuentra en fase de desarrollo: el Proyecto Erasmus+ e-LIVES “e-Learning Innovative Engineering Solutions project (585938-EPP-1-2017-1-FR-EPPKA2-CBHE-JP)”.

II. PROYECTO PILAR

El proyecto PILAR se ha basado en la integración de los 5 principales sistemas VISIR existentes en Europa en 2016 “Blekinge Tekniska Högskola (BTH), Suecia, institución de educación superior (tercer ciclo); Universidad de Deusto (UD), España, institución de educación superior (tercer ciclo); Instituto Politécnico do Porto (IPP), Portugal, institución de educación superior (tercer ciclo); Fachhochschule Kärnten - Gemeinnützige Privatstiftung (CUAS), Austria, institución de educación superior (tercer ciclo); Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), España, institución de educación superior (tercer ciclo)” dentro de un nuevo sistema coordinado y federado, conocido como Federación VISIR, que permiten un acceso abierto al hardware, software, cursos, actividades educativas

y repositorio de actividades y documentos, así como a la organización y gestión de la Federación VISIR.

Junto con los nodos de la federación VISIR, el proyecto cuenta con Espoon Seudun Koulutuskuntayhtymä OMNIA organismo público regional la región de Espoon, Finlandia, dedicada al desarrollo entornos de aprendizaje innovadores y proveedor multisectorial en los sectores de educación y formación profesional; EVM Project Management Experts SL, PYME, consultora especializada en la planificación de escenarios, aprendizaje de servicios, innovación de financiación y visualización de datos; Internationale Gesellschaft Fur Online Engineering Verein, IAOE, organización internacional sin ánimo de lucro cuyo objetivo es fomentar el desarrollo, distribución y aplicación más amplios de las tecnologías de Ingeniería online y su influencia en la sociedad.

Además, en el proyecto han colaborado: LabsLand Experimentia SL., PYME, spin off desarrollada desde la Universidad de Deusto y su Instituto de Investigación DeustoTech para desarrollar y establecer la intermediación de Actividades Educativas y Laboratorios Remotos/Virtuales como Servicios en todo el mundo; El Capítulo Español de la Sociedad de Educación del Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) junto con la Sociedad de Educación del IEEE brindan la oportunidad a los Socios del Proyecto PILAR de colaborar en el área de disciplinas CTIM en varios centros y actividades para involucrar a los jóvenes en Tecnología e Ingeniería; La Sociedad de Educación del IEEE desarrolló con la participación de los investigadores del Proyecto PILAR un nuevo Estándar Internacional, IEEE 1876-2019 - IEEE Standard for Networked Smart Learning Objects for Online Laboratories, en marzo de 2019.

III. LABORATORIO REMOTO VISIR

VISIR es un laboratorio abierto y remoto dedicado a la experimentación con circuitos eléctricos y electrónicos. Permite a los profesores y estudiantes interactuar con el mundo real, de forma remota y en tiempo real, con equipos de laboratorio e instrumentos de medición que se basan en una interfaz de usuario que replica los equipos y componentes prácticos. VISIR tiene su origen en BTH, Suecia [24][25]. Su uso está muy expandido y documentado a distintos niveles [11][20][26][27].

En el LR VISIR, los usuarios pueden cablear el circuito deseado con los componentes disponibles y utilizar varios instrumentos para analizar su comportamiento. En la figura 1 se muestra uno de los sistemas VISIR instalado en IPP; la figura 4 y 5 muestran dos partes de la interfaz VISIR, a saber, la protoboard virtual empleada para el diseño de experimentos, y el panel de interfaz de un instrumento (osciloscopio).

IV. PLAN DE TRABAJO DEL PROYECTO

La metodología y el plan de trabajo diseñados originalmente para el proyecto PILAR se basaban en una estructura de paquetes de trabajo (WPs), tareas e intellectual outputs (IOs) con el fin de establecer claramente qué actividades debían realizarse en cada momento y vincularlos con los productos obtenidos. Los cambios en la organización del proyecto PILAR fueron impulsados en la reunión celebrada con la Agencia Española - Erasmus+ en mayo de 2018. Se descartó la organización del proyecto en WPs y el



Fig. 1. Uno de los sistemas VISIR disponible en el nodo de IPP.

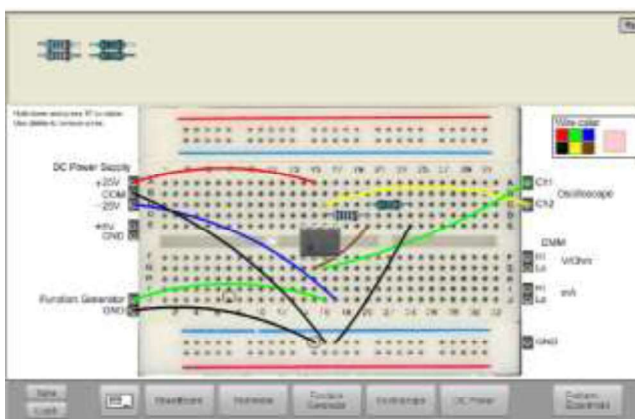


Fig. 2. Interfaz en VISIR: Protoboard.

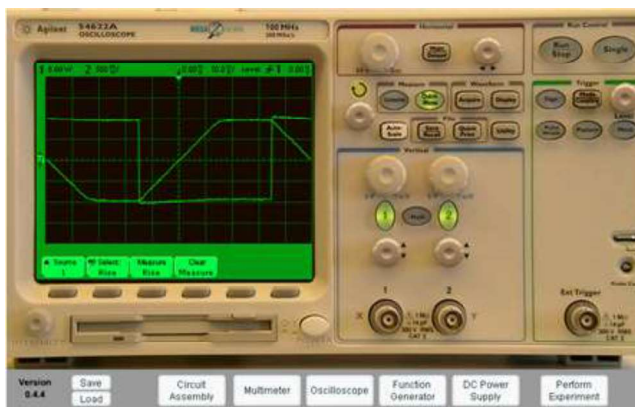


Fig. 3. Interfaz en VISIR: Osciloscopio.

desarrollo del proyecto se dividió en dos fases principales altamente diferenciadas:

- Fase de desarrollo piloto (01/09/2016 - 30/04/2018)
- Fase de explotación y productos (01/05/2018 - 31/10/2019)

A. PILAR: Fase Piloto

Durante esta fase, la primera versión de la arquitectura de la FV fue diseñada, definida y establecida por todos los socios. Esta tarea recayó especialmente en aquellos socios proveedores de VISIR y, por lo tanto, de Recursos Educativos Abiertos en el proyecto. El resultado terminó con el lanzamiento y explotación de un FV en una fase piloto. Las cinco instancias de sistemas VISIR disponibles en el

proyecto han sido el punto de partida de la FV. Al inicio del proyecto, cada socio proveedor de VISIR tenía implementado una configuración diferente para la gestión de los recursos, servicios y acceso al LR:

- UNED: el sistema VISIR se gestiona a través de un Sistema de Gestión de Laboratorios Remotos (SGLR) llamado WebLab-Deusto. Sin embargo, además, la UNED utiliza un sistema de reservas propietario que garantiza que, en algunos casos, sólo una persona a la vez puede acceder al sistema VISIR y el resto del tiempo, hasta 60 estudiantes concurrentes acceden al sistema. Este componente de reservas soporta el protocolo IMS LTI (Instructional Management Systems Learning Tools Interoperability).
- ISEP: el sistema VISIR era administrado a través del software OpenLabs que solía venir con VISIR. Sin embargo, en marzo de 2018, ISEP junto con la UNED implementó un nuevo sistema VISIR en sus instalaciones que emplea WebLab-Deusto para la gestión del LR y usuarios.
- UDEUSTO: el sistema VISIR de la Universidad de Deusto empleaba WebLab-Deusto para la gestión del LR VISIR.
- BTH: BTH empleaba el software OpenLabs (que venía con VISIR) para gestionar su sistema VISIR.
- CUAS: el sistema VISIR en CUAS se apoyaba en un software personalizado llamado edispatcher.

El diseño de la solución técnica para el depósito de lecciones de PILAR en la fase piloto se muestra en la figura 4. Las lecciones pueden ser alojadas en un sistema Moodle. Cada lección puede utilizar un sistema VISIR determinado, pero la solución técnica para acceder a ella es siempre la misma (IMS LTI) y los estudiantes pueden utilizar cualquier VISIR del consorcio de forma transparente. Los estudiantes no necesitan registrarse en cada plataforma. PILAR coloca las lecciones en Moodle ya vinculadas a un VISIR en particular, pero los estudiantes no necesitan saber qué VISIR deben utilizar. Los profesores pueden registrarse en Moodle utilizando las herramientas de Moodle para el registro sin tener su propia infraestructura. Y los profesores y los estudiantes pueden registrarse para que los estudiantes puedan ser enviados a diferentes lecciones para utilizar el

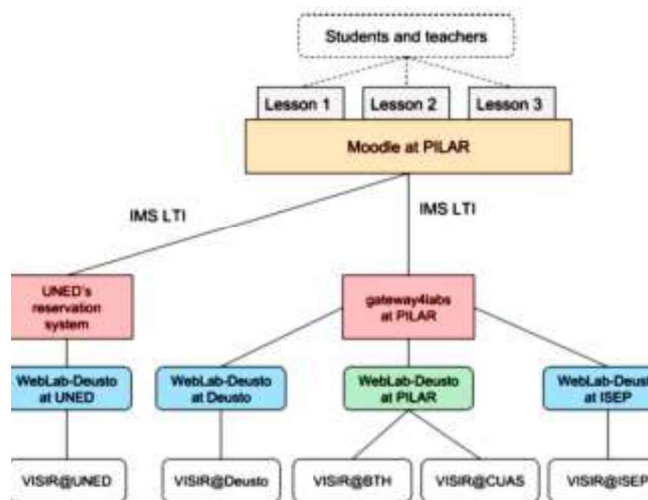


Fig. 4. Primera aproximación de federación.

equipo sin que los profesores posean una infraestructura diferente [21].

B. PILAR: Fase de Explotación

Esta fase ha abarcado todos los servicios, definiciones formales de los procedimientos y las metodologías de aprendizaje y formación que proporciona la FV resultante. Una vez completada la fase piloto de la federación, los socios definieron el marco final para la FV. En esta fase se ha aplicado un ciclo típico de Deming "Plan Do Check Act" desde la fase "antes de la prueba piloto" hasta la versión final, pasando por diferentes ciclos de mejora a lo largo de toda la vida del proyecto.

La FV permite la posibilidad de integrar todas las diferentes experiencias puestas a disposición por cada socio como una herramienta educativa complementaria para fomentar la adquisición de habilidades de laboratorio en los cursos que implican experimentos con circuitos eléctricos y electrónicos.

Al referirse a la FV como una federación de réplicas del mismo LR (VISIR) no es del todo correcto ya que cada entidad puede tener, y de hecho tiene, diferentes componentes instalados y, por tanto, diferentes experimentos disponibles. Por lo tanto, la base de la federación es la arquitectura común entre todos los proveedores de VISIR.

WebLab-Deusto es el Sistema de Gestión de Laboratorios Remotos (SGLR) empleado en la federación para la gestión de los servicios y administración del LR. WebLab-Deusto ya era utilizado por algunos de los sistemas VISIR del consorcio, como la Universidad de Deusto, la UNED o desde marzo de 2018 también el IPP. Este sistema soporta el acceso concurrente de un número limitado de usuarios predefinidos en VISIR, pero también soporta su integración en diferentes herramientas de integración de aprendizaje como gateway4labs. Adicionalmente, WebLab-Deusto soporta de forma nativa VISIR a través de sus diferentes versiones.

Una característica clave de WebLab-Deusto es que soporta su propio protocolo de federación que soporta la federación transitiva. Por federación en este contexto, nos referimos al hecho de que una instancia de WebLab-Deusto puede acceder a los laboratorios de otra instancia de WebLab-Deusto, por lo que los estudiantes de la primera pueden acceder a ciertos laboratorios de la segunda sin que cada estudiante esté inscrito en la segunda. Por federación transitiva, nos referimos a la propiedad de federación que permite que si una Universidad A comparte un laboratorio con la Universidad B, entonces la Universidad B puede volver a compartir el laboratorio con otra institución que se encuentre federado a esta. En definitiva, podemos hablar de una federación de experimentos, que permite dos formas de federar recursos basados en la práctica a través de la arquitectura VISIR:

- Federación transitiva: compartiendo experimentos, como si fueran diferentes laboratorios pero usando la misma arquitectura y provistos por la misma interfaz.
- Federación redundante de balanceo de carga distribuida: balanceando la carga de los usuarios entre las diferentes instancias replicadas de los experimentos de forma automática.

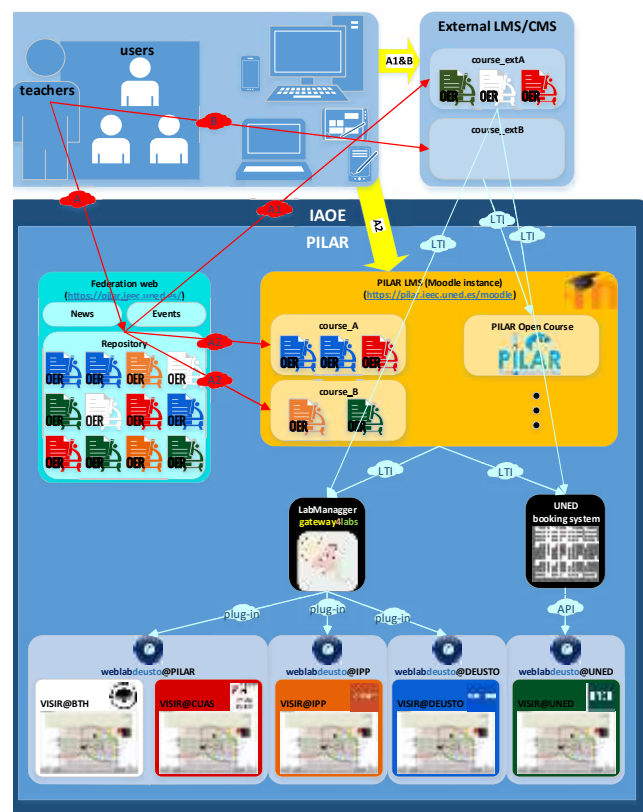


Fig. 5. Primera aproximación de federación.

Los Recursos Educativos Abiertos (REA), representados en la figura 5, no sólo están compuestos por accesos a los experimentos basados en VISIR, sino que están formados por guiones de práctica, capturas, vídeos, documentos adicionales (hojas de datos, documentos teóricos, etc.), e información para integrarlo en las diferentes plataformas educativas. Estos REAs están disponibles para cualquier docente de la federación y pueden ser empleados en la forma en que el docente opte. Podemos distinguir 3 tipos de docentes o profesores:

- Profesor consumidor: Este perfil está destinado a profesores que no pertenecen a una institución proveedora de VISIR y que no tienen el conocimiento técnico del funcionamiento interno de VISIR.
- Profesor desarrollador: Este perfil está destinado a docentes que, perteneciendo o no a una institución proveedora de VISIR, tienen el conocimiento técnico del funcionamiento interno de VISIR.
- Profesor gestor: Este perfil está destinado a docentes de instituciones proveedoras de VISIR que están a cargo del sistema VISIR.

Las flechas rojas representan cómo los profesores pueden interactuar y explotar los REAs dentro de PILAR; las flechas azul claro representan las comunicaciones entre entidades (comunicaciones entre entidades de weblabdeusto no representadas); las flechas amarillas anchas representan las formas de interacción de los estudiantes con PILAR.

Las instituciones y, por extensión, los docentes que forman parte de la federación pueden hacer uso de los REA basados en VISIR, provistos a través de credenciales PILAR LTI (clave y secreto), independientemente de su perfil. La

forma en que estos proporcionan los REAs a los usuarios finales (estudiantes) varía dependiendo de la existencia de una plataforma educativa empleada:

- Profesores que gestionan una plataforma externa:
 - Flechas rojas A-A1: los profesores pueden crear sus propios cursos basados en VISIR recogiendo los REAs deseados que se proporcionan en el repositorio.
 - Flecha roja B: los profesores pueden crear un enlace al curso abierto del PILAR; o, existiendo un acuerdo previo con el propietario, a cualquier curso alojado en el SGA de PILAR.
- Profesores que no controlan una plataforma externa, flechas rojas A-A2: los profesores pueden solicitar un espacio (curso) en el SGA de PILAR. En él, los profesores pueden crear su propio curso basado en VISIR recogiendo los REAs deseados que se encuentran en el repositorio.

Los objetivos conseguidos en la etapa final han sido[29]:

- Una Federación de sistemas VISIR segura y con alta disponibilidad, tanto en cuanto al tamaño de repositorio como a su provisión, que integra todos los diferentes recursos basados en el laboratorio remoto (LR) VISIR, utilizados en cada uno de los proveedores VISIR.
- EL establecimiento formal de la Federación VISIR, bajo el paraguas de la IAOE, que permite la evolución futura del sistema VISIR, de la Federación VISIR y la integración mundial de otros sistemas VISIR interesados, así como la de usuarios, investigadores, hardware, software y desarrolladores educativos en torno a la plataforma PILAR.
- La Federación VISIR está completamente abierta a otros socios en Europa, mediante los protocolos establecidos, lo que permite ampliar las capacidades de PILAR a muchas más instituciones educativas potencialmente interesadas.
- Un incremento en la variedad del repositorio de prácticas disponible basado en los desarrollos empleados por los sistemas VISIR en el pasado.
- Estos servicios se ofrecen a los estudiantes de todas las instituciones asociadas y a cualquier persona interesada en todo el mundo. Los resultados añaden valor a nivel de la Unión Europea (UE) porque las actividades disponibles se pueden realizar desde cualquier país.
- Estos servicios basados en el LR VISIR se proporcionan de forma transparente tanto para profesores y estudiantes.
- Un uso mucho más eficiente y eficaz de los recursos prácticos basados en el LR VISIR.
- La Federación VISIR proporciona a profesores la infraestructura necesaria para la explotación de Recursos Educativos Abiertos basados en el LR VISIR.

- Se ha implementado una web dentro de la federación que sirve como repositorio y como medio de difusión de la federación.
- La plataforma de la Federación permite un mejor control del proceso de aprendizaje de los estudiantes cuando éstos emplean los servicios proporcionados a través de los canales educativos de la federación VISIR.

V. EVALUACIÓN DE LA FEDERACIÓN VISIR

Los instrumentos empleados se basan en cuestionarios diseñados. El proceso de evaluación está integrado en el sistema de calidad. Los cuestionarios se ejecutaron en las dos etapas del proyecto para llevar a cabo un seguimiento efectivo. Además de los cuestionarios, las reuniones técnicas/educativas del proyecto y los diferentes eventos (talleres y eventos educativos) han sido utilizados como un lugar para el intercambio de ideas y mejoras.

Una vez procesada toda la información proporcionada por los cuestionarios, se llevó a cabo un análisis de los resultados con el fin de identificar aquellos parámetros críticos para la FV de la Federación VISIR. Estos parámetros han ayudado al consorcio en el diseño de la FV final.

Los cuestionarios se centraban en 4 aspectos evaluativos del proyecto sobre la eficiencia, usabilidad, utilidad e impacto de VISIR a través de la FV establecida en el proyecto PILAR durante su fase piloto.

Se llevó a cabo cuestionarios sobre dos grupos: estudiantes y profesores/técnicos. Si bien los usuarios finales son los estudiantes, el conjunto formado por profesores y técnicos suponen un grupo de control para los cuestionarios pre-post. Las encuestas eran voluntarias para ambos grupos. Si bien el número de docentes que han interactuado en la plataforma ha sido mucho más elevado que el número de respuestas recolectadas, 20 en la fase piloto y 24 en la fase de explotación, el elevado número de cuestiones (48) ha causado el abandono de la encuesta.

A. Cuestionario de Evaluación de la Fase Piloto

En la etapa piloto del proyecto, la finalidad principal de los cuestionarios era la identificación de factores clave a desarrollar en la siguiente fase del proyecto.

Los resultados en la fase piloto fueron, en términos generales, muy positivos. Además permitieron obtener conclusiones aclaratorias sobre el estado real del proyecto/FV en la fase piloto y las necesidades técnico-pedagógicas necesarias para una consecución satisfactoria del proyecto. La evaluación realizada por los profesores, especialistas y socios asigna, en promedio, el mismo nivel de eficacia, utilidad e impacto, 3,51, 3,53 y 3,52 respectivamente en una escala de 1 a 4. En términos generales, la utilidad fue la variable peor calificada 3,4 en una escala de 1 a 4. Sin embargo, las calificaciones otorgadas en las 4 categorías son relativamente similares y positivas. Los resultados más importantes se describen a continuación, aunque todos los temas han sido evaluados y considerados internamente como una estrategia de mejora.

En cuanto a la evaluación de la eficiencia, los tópicos peor evaluados han sido Q3-EFF03 “El grado y nivel de los estudiantes que utilizan el VISIR están completamente descritos en un documento”, 3.19 en una escala de 1 a 4, y Q5-EFF05 “Los estudiantes cuentan con propuestas de

mejora de los experimentos”, 3.19 en una escala de 1 a 4. Estos dos tópicos también muestran las mayores dispersiones, 0.73 y 0.66 respectivamente. En este sentido, se ha puesto de manifiesto la necesidad de contar con una información adecuada y actualizada de los diferentes objetivos y niveles educativos de los REA basados en VISIR. La acción correctiva implementada es la mejora de la información incluida en el repositorio de FV. Asimismo, se han requerido acciones correctivas para implicar más a los estudiantes en el proceso de aprendizaje respecto a la fase piloto.

Otros dos temas que destacaron para los integrantes del proyecto como cuestiones a mejorar fueron Q4-EFF04 “Los estudiantes cuentan con un conjunto completo de actividades de formación eléctrica y electrónica con VISIR a través de la Federación PILAR” y Q8-EFF08 “Las actividades de formación realizadas en PILAR están bien organizadas, estructuradas y planificadas”. Ambas estaban estrechamente relacionadas con el tamaño del repositorio. Sin embargo, este hecho se asumió como lógico durante la fase piloto ya que el número de experimentos integrados está limitado por los socios proveedores del VISIR.

La afirmación Q15-EFF15 “Estoy satisfecho con el uso de PILAR” también presentó una alta dispersión (0.66). Sin embargo, observando la clara concentración de respuestas en torno a “De acuerdo” y especialmente “Muy de acuerdo” que explica que su media alta sea de 3,48 en una escala de 1 a 4, esta dispersión se debió especialmente a la aparición de evaluaciones “En desacuerdo”. Además, al tratarse de una cuestión más general, se concluyó que las mejoras del resto de temas fomentarían una menor dispersión.

Entre los puntos fuertes, los profesores, especialistas y socios educativos, destacaron el potencial para los estudiantes (consumidores finales y objetivo final), tanto tecnológico como educativo, de la FV establecida en el la fase piloto del proyecto PILAR.

En cuanto al apartado de usabilidad, del que ya se ha comentado que fue el peor valorado en términos generales con una puntuación media de 3,4 en una escala de 1 a 4, todos los tópicos requirieron acciones correctivas. Cabe destacar la afirmación Q18-USA03 “El sistema VISIR permite detectar y resolver errores de funcionamiento” con una media asignada de 3,05 en una escala de 1 a 4 y baja dispersión. Por lo tanto, existe un alto consenso entre los profesores, especialistas y socios sobre la debilidad presente en el sistema VISIR en el aspecto evaluado. El proyecto PILAR no contaba entre sus objetivos la mejora del software VISIR, sin embargo la federación sí eliminó en un alto número de casos las limitaciones derivadas del software de un sistema VISIR explotado en solitario. La acción correctiva propuesta se centró en el diseño interno de los experimentos, con el fin de optimizar la flexibilidad de interconexión entre componentes en detrimento de los componentes disponibles dentro de la citada matriz de conmutación de relés, ya que esta variedad en el repositorio se obtiene del resto de socios proveedores de VISIR.

Analizando la utilidad, los tópicos peor valorados fueron Q24-USE01 <PILAR me ayuda en el aprendizaje y en la realización de las actividades formativas en los laboratorios como si fueran reales y de forma activa” y Q25-USE02 <VISIR y la Federación PILAR son útiles para las necesidades y el desarrollo profesional de los alumnos”, y en

menor medida <El uso del PILAR permite superar los problemas que pueden surgir del uso de un solo, laboratorio independiente” y Q33-USE10 <PILAR garantiza el contar con actividades formativas controladas y adecuadas, a cualquier hora y en cualquier lugar, que ayuden a incrementar el número de alumnos que las realizan en la carrera de ingeniería, que no hayan podido acceder a estas actividades formativas con anterioridad”. Se requirió una estrategia global para las acciones correctivas que cubra tanto los aspectos técnicos: un repositorio extenso, experimentos específicos, etc. como los aspectos pedagógicos: manuales, guiones de prácticas, materiales complementarios, etc. Algunas de las acciones correctivas aplicadas fueron previamente programadas para la fase de desarrollo; como por ejemplo el diseño de los experimentos basados en la FV.

El impacto del proyecto ha sido valorado muy positivamente en líneas generales. El análisis del impacto del proyecto sugirió acciones correctivas, para el tópico Q39-IMP04 “PILAR proporciona recursos educativos diseñados para hacer frente a los retos de la educación superior”. Sin embargo, el consorcio concluyó que la aplicación de las medidas diseñadas para la fase de desarrollo del FV debería ser suficiente, por lo que no se consideró medidas correctivas adicionales.

B. Cuestionario de Evaluación de la Fase de Explotación

Los resultados obtenidos de la evaluación de la FV en la fase de explotación han sido muy positivos. No hay ningún tópico que haya sido peor evaluado que la evaluación obtenida en la fase piloto. Los resultados permiten concluir un desarrollo satisfactorio del proyecto y un buen diseño y aplicación de las acciones correctivas resultantes de la fase piloto.

La evaluación realizada por los profesores, especialistas y socios asignó, de media, el mismo nivel para la eficiencia (figura 6), utilidad (figura 8) e impacto (figura 9), 3,880, 3,868 y 3,882 respectivamente en una escala de 1 a 4. La usabilidad (figura 7) ha sido evaluada con 3,823 en una escala de 1 a 4.

El tópico “PILAR facilita y mejora el proceso de enseñanza-aprendizaje de los usuarios “ ha obtenido un consenso absoluto, todos los participantes “están completamente de acuerdo”.

Además de este, se han evaluado 18 tópicos han obtenido una valoración con medias superiores a 3,9:

- Q08-EFF08 “Las actividades de formación llevadas a cabo en el PILAR están bien organizadas, estructuradas y planificadas”
- Q09-EFF09 “El contenido de las actividades formativas permite a los alumnos conocer, utilizar y estar conectados a VISIR a través de la Federación PILAR”
- Q12-EFF12 “La metodología empleada en el PILAR es motivadora y potencia el interés de los alumnos por los temas vistos”
- Q13-EFF13 “PILAR facilita y mejora el proceso de enseñanza-aprendizaje de los usuarios”

- Q14-EFF14 “El uso de la Federación PILAR y de VISIR facilita la realización de las actividades de formación en laboratorios remotos”
- Q15-EFF15 “Estoy satisfecho con el uso de PILAR”
- Q16-USA01 “El acceso a los laboratorios remotos de VISIR es fácil con PILAR”
- Q17-USA02 “Las especificaciones técnicas de VISIR (hardware y software) están bien definidas”
- Q20-USA05 “Los usuarios cuentan con documentos específicos sobre el proceso de aprendizaje y los resultados obtenidos al utilizar VISIR”
- Q27-USE04 “El uso del PILAR permite superar los problemas que pueden surgir al utilizar un único laboratorio independiente”
- Q29-USE06 “La plataforma PILAR es útil para las universidades”
- Q32-USE09 “Las actividades de formación realizadas con PILAR forman parte de programas de formación continua diseñados para la industria, los centros de enseñanza secundaria y la educación superior”
- Q34-USE11 “PILAR garantiza el contar con actividades formativas controladas y adecuadas, a cualquier hora y en cualquier lugar, que ayuden a incrementar el número de alumnos que las realizan en la titulación de ingeniero, que no hayan podido acceder previamente a estas actividades formativas”
- Q37-IMP02 “El uso de VISIR a través de la Federación PILAR ha favorecido el desarrollo de las competencias de profesores y alumnos”
- Q40-IMP05 “PILAR proporciona recursos educativos diseñados para afrontar tareas complejas y basadas en la resolución de problemas”
- Q41-IMP06 “Los estudiantes y profesores de las escuelas secundarias que participan en el estudio piloto contarán con un acceso en línea real y confiable a VISIR”
- Q44-IMP09 “La Federación PILAR mejora la calidad de la educación, de los programas de formación y del trabajo futuro de los jóvenes en Europa”
- Q45-IMP10 “La Federación PILAR permite contar con más herramientas de aprendizaje y disponer de diferentes laboratorios remotos”
- Q46-IMP11 “La Federación PILAR permite una nueva y creciente cooperación interregional de las autoridades educativas”

El tópico peor valorado fue Q18-USA03 “El sistema VISIR permite detectar y solucionar errores de funcionamiento” 3,54 en promedio, y también presentó la mayor dispersión, desviación estándar 0,576 de todo el cuestionario. Sin embargo, fueron notables las mejoras respecto a los resultados obtenidos en la fase piloto: de 3,05 en la fase de prueba a 3,54 en la fase de explotación. El resto de tópicos se situaron por encima de 3.7 de media. Este resultado muestra las mejoras obtenidas a través de las acciones correctivas implementadas.

La evaluación y el feedback aportado por los profesores se consideró clave por el consorcio PILAR ya que han evaluado ambas fases del proyecto y de la FV (fase piloto y



Fig. 6. Evaluación por parte de profesores y técnicos de la eficiencia de la federación.



Fig. 7. . Evaluación por parte de profesores y técnicos de la usabilidad de la federación.



Fig. 8. Evaluación por parte de profesores y técnicos de la utilidad de la federación.



Fig. 9. Evaluación por parte de profesores y técnicos del impacto de la federación.

fase de explotación), por lo que su punto de vista mostró una evaluación de la evolución del proyecto desde las necesidades hasta los resultados.

VI. SOSTENIBILIDAD DE LA FEDERACIÓN

Las actuales 5 Universidades implicadas en el proyecto (UNED, Universidad de Deusto, Instituto Politécnico de Oporto, BTH y CUAS) tienen una orientación mixta presencial y online, pública y privada, con más de 25 años de actividad en todas ellas, con una media cercana a los 50 años de actividad y en algunos casos llegando a más de 100 años de actividad, que aportar estabilidad al futuro de la Federación VISIR y a las actividades en este ámbito. Hay un interés y predisposición de los miembros técnicos del consorcio en seguir trabajando en nuevas investigaciones y actividades relacionadas con VISIR y la FV desarrollada como resultado de PILAR. Aumentando el alcance a nuevas áreas geográficas así como a nuevas áreas de investigación que complementen el actual status.

Todos los resultados y productos del proyecto, servidores web, servidores de cursos y sistemas VISIR están abiertos y seguirán estándolo en el futuro, ya que las instituciones asociadas tienen el acuerdo para hacerlo. La IAoE mantendrá la Federación VISIR bajo su paraguas como Asociación Internacional y el futuro de la FV entrará dentro de sus actividades.

Los estudiantes de todas las capas educativas: escuela secundaria, educación superior y formación profesional continuarán teniendo acceso a los sistemas abiertos y podrán obtener conocimientos de los resultados de desarrollo, así como de los resultados del proyecto.

VII. CONCLUSIONES

La federación final permite no solo un alcance mayor a cada nodo, sino que además el potencial y alcance de la federación es mayor que la suma individual de los 5 nodos. De esta forma, determinados nodos pueden utilizar los servicios de laboratorio disponibles en otro socio y, de esta forma, dedicar sus propios servicios de laboratorio a fin de fortalecer la redundancia del servicio (soportar mayor número de usuarios para determinados experimentos y aumentar la disponibilidad de servicio mediante la redundancia) o para proveer de experiencias y diseños alternativos abriendo el laboratorio a asignaturas más avanzadas, como por ejemplo las experiencias mostradas en [14].

El proyecto ha cerrado una investigación de los socios técnicos del proyecto PILAR e incrementó el nivel de colaboración y sinergia entre ellos, integrando en el grupo de trabajo nuevas visiones y capacidades en nuevas áreas como por ejemplo la formación profesional o la gestión.

PILAR se centra en tener una concepción diferente de los resultados pero sin olvidar nuevas metodologías, nuevas actividades educativas y nuevos documentos abiertos para evolucionar en las actividades de colaboración abierta.

Las prioridades del proyecto fueron establecer la FV así como llevar a cabo un acceso abierto a los usuarios, profesionales, investigadores y estudiantes identificaron en nuestros grupos objetivo de las áreas de ingeniería eléctrica/electrónica un sistema VISIR federado de alta disponibilidad a través de la plataforma PILAR, así como los mejores cursos educativos nuevos (y antiguos), documentos

y actividades. Todos ellos se han desplegado y desarrollado, llegando a las audiencias y grupos objetivo. El impacto del proyecto queda reflejado en el número de cartas de interés de nuevos grupos que quieran ser adheridos a la FV.

Desde el punto de vista local, todos los socios han mejorado su impacto, proporcionando a las instituciones locales de su entorno un nuevo nivel de disponibilidad y recursos de los laboratorios remotos, ofreciéndoles en lugar de su única solución individual VISIR un nuevo nivel: La solución de la Federada de PILAR, donde usuarios y estudiantes pueden utilizar desde su sistema local el sistema de la FV en cualquier momento, independientemente de la ubicación geográfica, y principalmente en el caso de fallo o pérdida de disponibilidad en cualquiera de los sistemas locales VISIR.

Desde el punto de vista regional, el consorcio creado entre los socios de España, Portugal, Austria, Suecia y Finlandia ha cubierto convenientemente todas las regiones europeas, proporcionando a los usuarios de los laboratorios remotos de ingeniería eléctrica/electrónica y a la comunidad un sistema de alto rendimiento y disponibilidad.

Finalmente, a nivel internacional, la experiencia y colaboración con asociaciones internacionales de primer nivel como IEEE e IAOE ha lanzado a la FV a un elevado nivel de visibilidad internacional y mundial que atrae a nuevas instituciones futuras a la FV como las nuevas instituciones y empresas.

El proyecto e-LIVES ("e-Learning InnoVative Engineering Solutions") tiene como objetivo ayudar a universidades de los países del sur del mediterráneo asociados a crear por sí mismas cursos de capacitación innovadores en materia de aprendizaje electrónico ("ingeniería electrónica") en una forma sostenible. Uno de los aspectos fundamentales del proyecto es el desarrollo de soluciones fiables prácticas en forma de laboratorio remoto, permitiendo el acceso a una formación completa en ingeniería electrónica. En este sentido, el proyecto PILAR y la FV puede servir tanto de apoyo, proporcionando la infraestructura disponible, como de espejo para la implementación de soluciones ad-hoc y potencialidades de la federación de recursos.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Madrid Regional Government and Structural Funds (FSE and FEDER) through the Project e-Madrid- CM under Grant P2018/TCS-4307, by the Industrial Engineering School of UNED as well as from the Innovation and Digitalization Vicerectorate of UNED under Project "Laboratorios de STEM y robótica educativa para la mejora de la experiencia del estudiante – STEM-SEC".

And partially supported by e-LIVES Project, e-Learning Innovative Engineering Solutions under Grant 2017-585938-EPP-12017-1-FR-EPPKA2-CBHE-J; I4EU Project, Key Competences for an European Model of Industry 4.0 - nº 2019-1-FR01-KA202-062965; IoE-EQ Project, Internet of Energy-Education and Qualification, under Grant 2017-1-IT01- KA202-006251, and finally by the PILAR Project, Platform Integration of Laboratories based on the Architecture of visiR, under Grant 2016-1-ES01-KA203-025327.

REFERENCES

- [1] Z. Nedic, J. Machotka, and A. Nafalski, "Remote laboratories versus virtual and real laboratories," *33rd Annual Frontiers in Education, 2003. FIE 2003*, Vol. 1 2003, pp. T3E.
- [2] O. Naef, "Real laboratory, virtual laboratory or remote laboratory: what is the most efficient way?" *International Journal of Online Engineering*, Vol. 2 2006.
- [3] J. E. Corter, J. V. Nickerson, S. K. Esche, and C. Chassapis, "Remote versus hands-on labs: a comparative study," *34th Annual Frontiers in Education, 2004. FIE 2004*. 2004, pp. F1G-17.
- [4] Hanson, B. Culmer, P. Gallagher, J. Page, K. Read, E. Weightman, A. Levesley, M., "ReLOAD: Real Laboratories Operated at a Distance," Aug 21, 2009.
- [5] P.A. Cotfas, D.T. Cotfas, and C. Gerigan, "Simulated, hands-on and remote laboratories for studying the solar cells," *2015 Intl Aegean Conference on Electrical Machines & Power Electronics (ACEMP), 2015 Intl Conference on Optimization of Electrical & Electronic Equipment (OPTIM) & 2015 Intl Symposium on Advanced Electromechanical Motion Systems (ELECTROMOTION)* Sep 2015, pp. 206-211.
- [6] A. Coble, A. Smallbone, A. Bhave, R. Watson, A. Braumann, and M. Kraft, "Delivering authentic experiences for engineering students and professionals through e-labs," *IEEE EDUCON 2010 Conference* Apr 2010, pp. 1085-1090.
- [7] E.D. Lindsay and M.C. Good, "Effects of laboratory access modes upon learning outcomes," *IEEE Transactions on Education*, Vol. 48, 4, Nov 2005, pp. 619-631.
- [8] D. Lang, C. Mengelkamp, R. S. Jäger, D. Geoffroy, M. Billaud, and T. Zimmer, "Pedagogical evaluation of remote laboratories in eMerge project," *European Journal of Engineering Education*, Mar 1, 2007, pp. Vol. 32, No. 1, 52-72.
- [9] J. Ma and J. Nickerson, "Hands-on, simulated, and remote laboratories," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, Vol. 38, 3, Sep 30, 2006, pp. 7-es.
- [10] F. Schauer, M. Krbec, 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)* 2016, pp. 238-241.
- [11] M. Tawfik, S. Monteso, F. Garcia-Loro, E. Sancristobal, E. Ruiz, G. Diaz, A. Colmenar Santos, J. Peire, and M. Castro, "Novel design and development of advanced remote electronics experiments," *Computer Applications in Engineering Education*, Vol. 23, 3 2015, pp. 327-336.
- [12] S.W. Tho and Y.Y. Yeung, "An implementation of remote laboratory for secondary science education," *Journal of Computer Assisted Learning*, Vol. 34, 5 2018, pp. 629-640.
- [13] 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, 2, May 2017, pp. 127-133.
- [14] M. Tawfik, S. Monteso, F. García-Loro, P. Losada, J. Antonio-Barba, E. Ruiz, E. Sancristobal, G. Díaz, J. Peire, and M. Castro, "Online Experiments With DC/DC Converters Using the VISIR Remote Laboratory," *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, Vol. 10, 4 2015, pp. 310-318.
- [15] F. Schauer, M. Krbec, P. Beno, M. Gerza, L. Palka, and P. Spilakova, "REMLABNET - open remote laboratory management system for e-experiments," *2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, Feb 2014, pp. 268-273.
- [16] J.R. Brinson, "Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research," *Computers & Education*, Vol. 87 2015, pp. 218-237.
- [17] J.E. Corter, J.V. Nickerson, S.K. Esche, C. Chassapis, S. Im, and J. Ma, "Constructing Reality: A Study of Remote, Hands-on, and Simulated Laboratories," *ACM Trans.Comput.-Hum.Interact.*, Vol. 14, 2, aug 2007, pp. 7-es.
- [18] T.B. Sheridan, "Descartes, Heidegger, Gibson, and God: Toward an Eclectic Ontology of Presence," *Presence: Teleoper.Virtual Environ.*, Vol. 8, 5, oct 1999, pp. 551-559.
- [19] F. Biocca, "Inserting the Presence of Mind into a Philosophy of Presence: A Response to Sheridan and Mantovani and Riva," *Presence: Teleoper.Virtual Environ.*, Vol. 10, 5, oct 2001, pp. 546-556.
- [20] Claesson and L. Håkansson, "Using an Online Remote Laboratory for Electrical Experiments in Upper Secondary Education," *International Journal of Online Engineering (iJOE)*, Vol. 8 2012.
- [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)* 2018, pp. 1518-1523.
- [22] T. Lynch and I. Ghergulescu, "Review Of Virtual Labs As The Emerging Technologies For Teaching Stem Subjects," 11th International Technology Education Development Conference 2017, pp. pp. 6082-6091.
- [23] 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," *2019 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, Apr 2019, pp. 102-106.
- [24] Gustavsson, J. Zackrisson, L. Håkansson, I. Claesson, and T. Lagö L., "The VISIR project — an Open Source Software Initiative for Distributed Online Laboratories, 2010.
- [25] 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.
- [26] M. Blázquez-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," *Computer Applications in Engineering Education*, Vol. 27, 4 2019, pp. 869-884.
- [27] J. García-Zubía and J. M. Sáenz Ruiz de Velasco, "Usando VISIR en el aula: Experiencia con Pre y Post Tests," *2014 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)* 2014, pp. 177-179.
- [28] F. Garcia-Loro, M.;Blázquez, P.;Baizan, P.;Plaza, A.;Macho, P.;Orduña, R.;Martin, E.;Sancristobal, M.;Castro,"A Federation of Remote Laboratory OERs: Grid of VISIR systems through PILAR Project". *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)*. Vol. 16, No. 04, 2020
- [29] I. F. García-Loro, P. Baizán, M. Blázquez-Merino, P. Plaza, A. M. Aroca, P. Orduña, E. S. Cristobal, and M. Castro, "Spreading Remote Laboratory Scope Through a Federation of Nodes: VISIR Case," *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, Vol. 14, 4 2019, pp. 107-116.

