

Experimentación para tod@s sin barreras

FÉLIX GARCÍA LORO, BLANCA QUINTANA GALERA, ELIO SAN CRISTÓBAL RUIZ, ROSARIO GIL ORTEGO, SERGIO MARTÍN GUTIÉRREZ, CLARA PÉREZ MOLINA, FRANCISCO MUR PÉREZ, MANUEL ALONSO CASTRO GIL
Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Control, Telemática y Química Aplicada a la Ingeniería. UNED

Una Las demandas sociales han promovido un enfoque educativo basado en la premisa «en cualquier lugar y en cualquier momento». En este contexto, la provisión de entornos dedicados a la experimentación práctica, fundamental en el ámbito de la ingeniería, requiere de soluciones innovadoras para ofrecer contenidos curriculares acordes a las necesidades educativas.

La asimilación social y el rápido desarrollo de las tecnologías de la información y de la comunicación (TICs) han transformado la forma en la que interactuamos con el mundo. En el ámbito educativo, esta integración ha sido impulsada, sin lugar a dudas, por la educación a distancia. Tradicionalmente la educación a distancia, a través de las instituciones involucradas en esta metodología, ha promovido la exploración de tecnologías innovadoras a fin de ayudar al alumnado a alcanzar los objetivos curriculares. El resultado no ha sido sólo paliativo en cuanto a los inconvenientes respecto a su homólogo presencial, sino que ha universalizado su presencia más allá de determinados grupos de consumidores. De hecho hoy en día es impensable que una institución educativa no aplique metodologías consideradas exclusivas de la educación a distancia pocos años atrás.

Por otro lado, en el ámbito de la ingeniería, el aspecto experimental y práctico de sus contenidos es un factor esencial en las competencias necesarias a adquirir. Las prácticas de laboratorio no sólo permiten contrastar la validez de los modelos teóricos, sino que también permiten conocer sus límites o implementar metodologías activas de aprendizaje centradas en el estudiante y, de esta forma, proporcionar un entorno que permita desarrollar conceptos más complejos y cercanos a lo científico.

En este complejo escenario, el área de Electrónica y Control del Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Control, Telemática y Química Aplicada a la Ingeniería (DIECTQAI) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (ETSII) de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), ha apostado



por el desarrollo de soluciones «no tradicionales» para la provisión los laboratorios. A este tipo de laboratorios se los conoce de múltiples formas: laboratorios en línea (*online labs*), laboratorios basados en web (*web-based labs*), laboratorios web (*web labs*) o laboratorios a distancia (*distance labs*) son algunos de los sinónimos empleados para referirse a este tipo de laboratorios. Su principal característica es la disponibilidad de acceso al laboratorio sin restricciones horarias (24 horas al día, 7 días a la semana) o geográficas, ya que la interacción laboratorio-consumidor se lleva a cabo mediante soluciones webs.

Dentro de los laboratorios web se pueden identificar claramente dos grandes grupos atendiendo al sistema sobre el que recae la experimentación: cuando el sistema está basado únicamente en soluciones software y, por tanto, se trata de una simulación del laboratorio actuando sobre un modelo instalado en un servidor de la institución proveedora, se los denomina laboratorio simulado web o, más comúnmente, **laboratorio virtual**; mientras que, cuando la experimentación se lleva a cabo sobre un sistema físico, ubicado en las instalaciones de la institución proveedora, al que se accede, controla y monitoriza mediante soluciones web, se lo denomina **laboratorio remoto**.

Las prácticas de laboratorio se caracterizan cada vez más por la integración de Sistemas de Control Y Adquisición de Datos (SCADA, *Supervisory Control And Data Acquisition*) para el control y la medición de variables experimentales.

La arquitectura de los laboratorios online, tanto virtuales como remotos, se inicia con unos servicios web gestionados bien desde un servidor web ad-hoc para el laboratorio, o bien desde un Sistema de Gestión de Laboratorios Remotos (RLMS, *Remote Laboratory Management System*) encargado de los servicios de autenticación, acceso, reserva, etc. Desde el ex-

perimento cliente, interfaz gráfica, el usuario interactúa con el laboratorio en la forma preestablecida: puede tratarse de únicamente la monitorización de un proceso en el que el usuario no puede intervenir (sistema cerrado), un sistema en el que el usuario puede controlar ciertas variables o un sistema «sandbox». Si, además, focalizamos en los laboratorios remotos, la interacción con el laboratorio puede ser en tiempo real o mediante la formación de colas de solicitudes de acceso; de uso privado o concurrente; o incluir otros servicios, como por ejemplo webcams en vez de interfaces de trabajo simuladas. Asimismo, los laboratorios online cuentan con el servidor de laboratorio desde el que se validan las solicitudes de control y acceso, y gestiona todo lo relacionado con la comunicación cliente-laboratorio. El servidor de laboratorio se encarga de recibir y validar la solicitud de acceso al laboratorio, de implementar, bien en el modelo de software para un laboratorio virtual o bien en el sistema físico en el caso de un laboratorio remoto, el experimento diseñado en el cliente y, finalmente, devolver las lecturas. Evidentemente, toda esta arquitectura y proceso de experimentación depende en gran medida del diseño y de las necesidades del laboratorio.

Gracias al desarrollo de este tipo de herramientas prácticas a distancia, la ETSII de la UNED, cuenta con laboratorios web, tanto virtuales como remotos, a fin de facilitar nuevos escenarios de aprendizaje a los estudiantes, especialmente de escenarios acordes a las necesidades y demandas tanto laborales, sociales como personales de la, cada vez más presente, Industria 4.0. Asimismo, permiten un aumento en la flexibilidad del acceso y los tiempos de experimentación. Este hecho resulta fundamental en un modelo educativo a distancia centrado en la autogestión del aprendizaje. Los laboratorios remotos proporcionan entornos seguros de experimentación, fomentan el desarrollo de nuevas competencias y la mejora de las existentes,

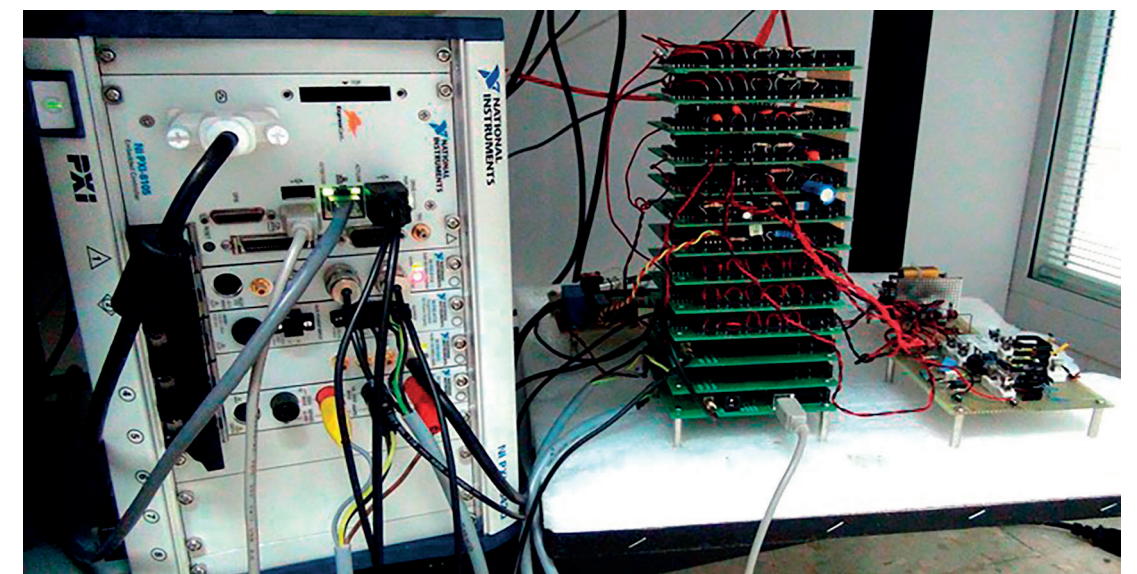
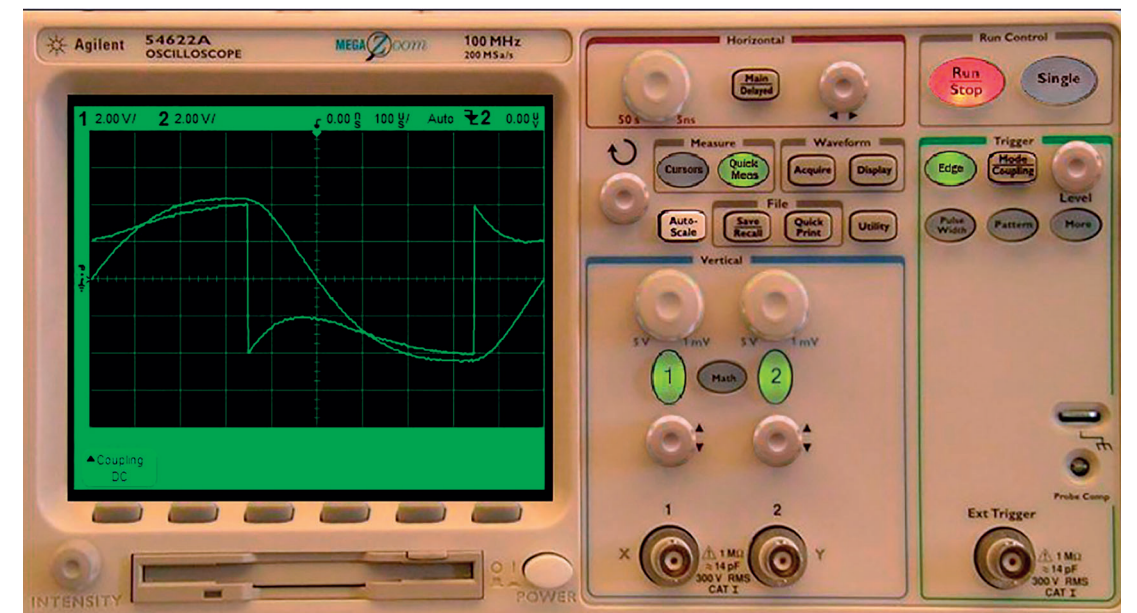


Figura 1. Laboratorio remoto VISIR: hardware integrado por la plataforma de equipos e instrumentos y la matriz de conmutación (arriba); interfaz del osciloscopio (abajo).

aumentan la disponibilidad de recursos educativos e incluso pueden ser la única opción de experiencia de laboratorio real disponible como es el caso de la educación 100% a distancia o, más recientemente, la situación social provocada por el COVID-19.

La ETSII se encuentra a la vanguardia de este tipo de laboratorios. En concreto, el DIECTQAI cuenta con dos laboratorios web reconocidos mundialmente por la *International Association of Online Engineering (IAOE)* a través de los premios concedidos anualmente por la Global On-

line Laboratory Consortium (GOLC). En 2015, el laboratorio remoto Virtual Instrument Systems in Reality (VISIR), laboratorio dedicado a la electrónica analógica y circuitos eléctricos (Figura. 1), fue galardonado como el mejor laboratorio remoto del mundo.

Como se observa en la imagen de la figura 1, el interfaz de usuario en el laboratorio remoto VISIR se trata de un banco de trabajo simulado desde el que el usuario final puede interactuar sobre los equipos e instrumentos. Por su parte el hardware está compuesto por la plataforma de instrumentación y la matriz de conmutación.

La plataforma de instrumentación de VISIR se basa en extensiones PCI para Instrumentación (PXI) de National Instruments (NI). La plataforma NI PXI consiste en una tarjeta controladora (es decir, un PC embebido), tarjetas de instrumentos (la fuente de alimentación de CC, multímetro digital, osciloscopio y generador de funciones) y un chasis al que todas las tarjetas se conectan. Los terminales de los módulos NI-PXI están a su vez interconectados a la matriz de componentes. La matriz de conmutación se comunica con el controlador a través de un cable USB.

La matriz de conmutación de relé es un apilamiento de tarjetas PCI/104. Los circuitos se generan mediante la manipulación —apertura y cierre de los distintos relés de acuerdo con el diseño de circuito recibido desde el controlador— y la interconexión entre los terminales de los módulos NI-PXI y los componentes empleados se genera mediante los 10 nodos comunes (A-I, 0) de las tarjetas PCI/104 de la matriz. La matriz cuenta con tres tarjetas de instrumentos y con 10 tarjetas de componentes. Cada tarjeta de componentes dispone de 10 tomas para componentes y cada toma está conectada a un interruptor de doble polo y tiro simple (DPST, Double-Pole Single-Throw); 4 de estas tomas pueden sustituir el DPST por dos interruptores

de polo simple y tiro simple (SPST, Single-Pole Single-Throw).

Asimismo, en la figura 1 se observa como alrededor de la matriz de conmutación existen unos circuitos externos que se conectan a esta mediante las tomas de los relés. Éste es el enfoque seguido en el DIECTQAI de la ETSII de la UNED. Con esta configuración se han implementado experimentos avanzados que pueden ser empleados tanto de forma aislada como en cascada con otros elementos (empleando estos circuitos externos como si de cajas negras se trataran). De esta forma se pueden analizar y comparar la eficiencia de un convertidor CC/CC lineal regulado sin aislamiento frente a un convertidor CC/CC conmutado regulado sin aislamiento, monitorizar los efectos en la corriente de la saturación del núcleo de una bobina, o el uso de termoresistencias (NTCs) como sensores de temperatura para evaluar los efectos de la disipación de potencia o del comportamiento de componentes electrónicos (diodos, transistores, etc.) ante condiciones adversas de funcionamiento. Por otro lado, queremos llamar la atención sobre nuestro laboratorio virtual dedicado a electrónica digital, Labs and Video-Lectures for Digital Electronics (VILDE), que ha sido galardonado como el mejor laboratorio virtual en 2019 (Figura. 2).

Estos se completan con laboratorios dedicados a la conceptualización de la energía eólica y solar, control de brazos robóticos, programación de microprocesadores y microcontroladores PIC's, programación en VHDL de FPGAs, PSoC o física de la luz, entre otros. Este laboratorio introduce el uso de animaciones interactivas en un enfoque de aprendizaje combinado. Estas animaciones interactivas ayudan a los estudiantes en la adquisición de conceptos, gracias a sus características visuales e interactivas. Las animaciones diseñadas incluyen todo tipo de compuertas lógicas (OR, AND, NOR; NAND; EXOR, etc.), álgebra de Boole, muchos circuitos combinacionales

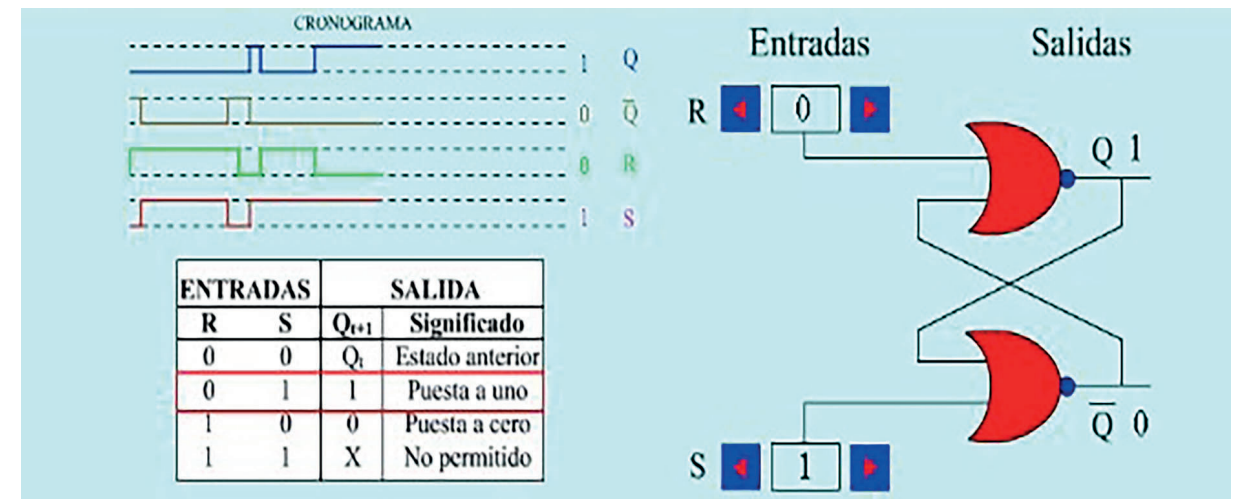


Figura 2. Biestable R-S en el laboratorio virtual VILD.

y secuenciales (codificadores, decodificadores, multiplexores, demultiplexores, comparadores, biestables síncronos y asíncronos, cronogramas, contadores síncronos y asíncronos, y registros de turnos). Estas animaciones interactivas se han diseñado como elementos aislados y autónomos que se han reutilizado en diferentes recursos educativos, como descripciones de teoría, ejemplos, ejercicios y exámenes resueltos. Por lo tanto, los recursos desarrollados se reutilizan en diferentes materiales de aprendizaje.

Asimismo, queremos destacar la fuerte apuesta en esta línea por parte de la ETSII de la UNED, que se plasma en nuestra elevada presencia en proyectos de investigación e innovación, centrados en el desarrollo de laboratorios, su integración o asesorando y transfiriendo a otras instituciones la extensa experiencia atesorada. Algunos de estos proyectos internacionales son: *Building an Ecology of Online Laboratories*, *Remote-labs access in Internet-based Performance-centred Learning Environment for Curriculum Support (RIPLECS)*, *Modernizing Undergraduate Renewable Energy Education: EU Experience for Jordan (MUREE)*, *Global Online Science Labs for Inquiry Learning at School (GoLab)*, *Educa-*

tional Modules for Electric and Electronic Circuits Theory and Practice (VISIR+) o Internet of Things for European Small and Medium Enterprises (IoT4SMEs).

Queremos destacar el proyecto internacional **Platform Integration of Laboratories based on the Architecture of visIR (PILAR)**, dentro del programa Erasmus+, en el que la ETSII de la UNED, a través del grupo de investigadores del DIECTQAI, coordinó el proyecto y cuyo resultado fue señalado como «ejemplo de buenas prácticas» por la Unión Europea. El proyecto estableció la primera federación de un mismo sistema de laboratorio remoto, (VISIR) desplegado en varias instituciones, en concreto en 5 universidades europeas (la Universidad de Deusto de España, el Instituto Politécnico de Oporto de Portugal, la Escuela Técnica de Blenkinge de Suecia, la Universidad de Ciencias Aplicadas de la región de Carintia de Austria y la UNED de España) y contó con la colaboración de prestigiosas organizaciones en el sector, como la IAOE o empresas como y LabsLand. El resultado final destaca la potencia y alcance que un laboratorio remoto robusto y versátil puede abarcar mediante un enfoque global. **Otro hito**

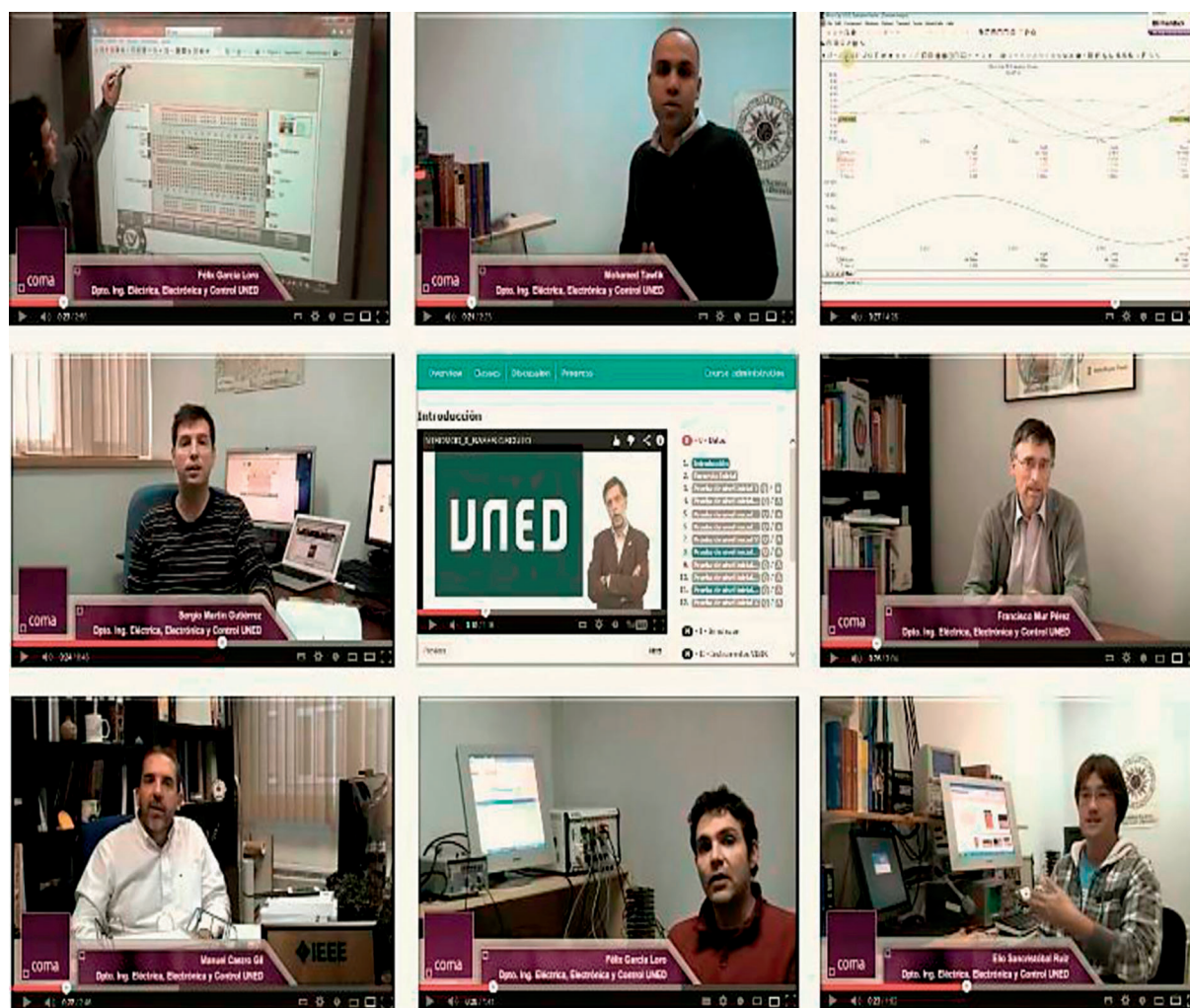


Figura 3. Píldoras del MOOC «Bases de Circuitos y Electrónica Práctica».

destacable de la ETSII de la UNED fue el lanzamiento en 2013 del curso online masivo abierto (MOOC, Massive Open Online Course), que incluía el uso intensivo de un laboratorio remoto (Figura 3).

El laboratorio empleado se encuentra físicamente desplegado en las instalaciones del laboratorio de investigación en ingeniería eléctrica, electrónica y control industrial de la ETSII de la UNED. Se trata del primer MOOC a nivel mundial que proporcionaba un laboratorio remoto

en un entorno educativo de estas características. En este curso estuvieron matriculados más de 6.000 personas en las 3 ediciones que estuvo disponible, realizando más de 3 millones de solicitudes de acceso al hardware de laboratorio sin interrupciones en el servicio.

Al mismo tiempo que se explotan los recursos existentes, se investigan nuevas soluciones adaptadas a las necesidades de aprendizaje actuales e integrando los avances técnicos disponibles. Proyectos de investigación internacionales

en desarrollo como *e-Learning Innovative Engineering Solutions (e-LIVES)* o *Key Competences for an European Model of Industry 4.0 (I4EU)* afianzan aún más la presencia de la ETSII en el campo de los laboratorios web y, especialmente, en el de los laboratorios remotos, en España, la Unión Europea y mundialmente. Se

puede concluir que, la ETSII de la UNED a través del DIECTQAI, lleva más de una década realizando notables esfuerzos en la investigación de la experimentación a distancia a fin de proporcionar a los estudiantes un entorno en el que disponer de las herramientas necesarias para alcanzar competencias clave. ■



G-eLios

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS EN EDUCACIÓN Y SU ESTANDARIZACIÓN, ELECTRÓNICA, CONTROL, COMPUTADORES, ENERGÍAS RENOVABLES, SOSTENIBILIDAD, MOVILIDAD, TELEMÁTICA Y CIBERSEGURIDAD, BIOINGENIERÍA, INTELIGENCIA DE DATOS, CONTROL OPTIMIZADO ADAPTATIVO Y QUÍMICA APLICADA A LA INGENIERÍA

El video al que linka el código QR (abajo) es introducción al Grupo de la UNED, G-eLios, Grupo de Investigación en Ingeniería Eléctrica y Tecnologías Avanzadas en Educación y su Estandarización, Electrónica, Control, Computadores, Energías Renovables, Sostenibilidad, Movilidad, Telemática y Ciberseguridad, Bioingeniería, Inteligencia de datos, Control Optimizado Adaptativo y Química Aplicada a la Ingeniería, así como las actividades básicas que se realizan dentro del grupo. Se presenta igualmente la relación y sinergia existente con el Grupo de la UNED, G-TAEI Grupo de Innovación Docente en Tecnologías Avanzadas en Educación y su Estandarización en la Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Control, Computadores, Energías Renovables, Sostenibilidad, Movilidad, Telemática y Ciberseguridad, Bioingeniería, Inteligencia de datos, Control Optimizado Adaptativo y Química Aplicada a la Ingeniería.



(link)