

## INTRODUCCIÓN AL NÚMERO ESPECIAL DE LABORATORIOS VIRTUALES Y REMOTOS EN AUTOMÁTICA: REALIZACIONES Y EXPERIENCIAS

**Sebastián Dormido Bencomo y Fernando Torres Medina**  
Comité de redacción invitado

### **Laboratorios virtuales/remotos: Una taxonomía**

Es evidente que el cambio tecnológico que hemos experimentado en las últimas décadas hace posible imaginar nuevos escenarios que hasta hace bien poco nos parecían del dominio de la "ciencia ficción". Estos avances de la tecnología tienden a capturarlos en sus redes y conviene tenerlo muy presente para que no nos atrapen. No debemos confundir los fines con los medios y no darles a estos últimos el papel de protagonismo. No podemos caer en el error de que el alumno considere al computador como el oráculo de Delfos y que su visión quede reducida a los límites que impone una pantalla. El protagonismo con mayúscula en el aprendizaje lo deben tener los propios alumnos y el profesor debe servir de motivador y de catalizador de las inquietudes que nuestros estudiantes tienen. La tecnología con toda la importancia que tiene, en cualquier caso tiene un carácter meramente instrumental.

La aplicación de las nuevas tecnologías en la enseñanza en el ámbito específico de la realización de prácticas ha dado lugar a la aparición de diferentes modalidades de entornos de experimentación. Desde el punto de vista del estudiante/usuario, los criterios que permiten establecer una clasificación muy clara de estos nuevos entornos son dos: 1) la forma de acceder a los recursos sobre los que se experimenta y 2) la naturaleza del sistema sobre el que se opera. Atendiendo al primer criterio, se puede discernir entre acceso remoto a través de una red y acceso local, es decir, que no implica la utilización de una conexión a Internet para poder operar con los componentes. En lo referente a la naturaleza del recurso, hay que distinguir entre recurrir a modelos simulados o trabajar con plantas reales. De la combinación de estos dos criterios se obtienen cuatro clases de entornos muy diferentes, pero que abarcan todas las formas de experimentación posibles:

1. Acceso local-recurso real. Representa el laboratorio de prácticas tal y como lo conocemos, en el que el alumno se sitúa frente a un ordenador conectado a un sistema real para proceder a la realización de la práctica correspondiente.
2. Acceso local-recurso simulado. Todo el entorno de trabajo es software y la interfaz de experimentación opera sobre un sistema simulado, virtual e inexistente físicamente que reside en el mismo ordenador que la interfaz.
3. Acceso remoto-recurso real. Constituye el acceso al equipamiento de un laboratorio real a través de una red. El usuario opera y controla de forma remota sistemas reales mediante una interfaz de experimentación que se ejecuta en un ordenador conectado a una red.
4. Acceso remoto-recurso simulado. Esta forma de experimentación es similar a la anterior en cuanto al acceso pero el sistema real se sustituye por un modelo, por lo que el estudiante trabaja con su interfaz de experimentación sobre un sistema virtual accesible a través de Internet.

Esta clasificación proporciona una guía clara de los distintos tipos de entornos posibles. Sin embargo, un sistema de experimentación completo no debería estar restringido a la utilización de sólo una de estas clases. Un entorno de experimentación debería atender a los cuatro tipos descritos anteriormente ya que un usuario podría desear experimentar sobre un sistema real o simulado de forma local o remota. Tal flexibilidad podría permitir a un usuario ser más autónomo en la organización de su tiempo para la realización de las prácticas basado en su movilidad y frecuencia de sus conexiones a Internet.

Por otro lado, la aplicación de experimentación por sí sola no proporciona todos los recursos de los que dispone un estudiante en una sesión de prácticas tradicional. En particular, las preguntas directas al profesor o la propia interacción con los

compañeros de clase constituyen un recurso valioso el cual podría verse mermado cuando se realizan las prácticas de forma remota. Además, en una sesión tradicional los estudiantes disponen de un guión de prácticas perfectamente definido cuyo seguimiento permite la realización de las actividades de forma natural e intuitiva. Lo anterior sugiere la inclusión de estos conceptos cuando se piensa en el diseño y desarrollo de un entorno de experimentación a través de Internet como el que se describe en este trabajo.

### **Laboratorios remotos: El proyecto AutomatL@bs**

AutomatL@bs es una red de laboratorios virtuales/remotos para la enseñanza de la automática que se constituye mediante la integración de los recursos que aportan los grupos que participan en el proyecto. Proporciona un sistema de reserva de tiempos para la realización de los experimentos y un entorno de trabajo común que facilita su aprendizaje por parte del alumno. Esta red de laboratorios remotos en automática es algo más que la suma de las partes que la constituyen ya que debe ser percibida por sus usuarios como un laboratorio con una estructura uniforme independientemente de donde se encuentre la localización física de las plantas. Todo lo que el alumno necesita para conectarse a AutomatL@bs es un navegador y estar dado de alta para la realización de las prácticas. Todos los laboratorios comparten un mismo esquema de trabajo y los materiales que se proporcionan a los alumnos se han cuidado de forma tal que el desarrollo de las prácticas se pueda hacer de manera autónoma.

AutomatL@bs ha puesto de manifiesto no sólo la viabilidad técnica sino lo que es más importante, la viabilidad del desarrollo de prácticas con equipos experimentales efectuadas de forma remota sin necesidad de que el alumno tenga que realizar ningún tipo de desplazamiento. En nuestro conocimiento no existe en este momento en la comunidad internacional un proyecto en este campo tan ambicioso y con resultados tan positivos como el que ha proporcionado este proyecto, en el que participan 7 grupos del Área de Ingeniería de Sistemas y Automática de las siguientes universidades españolas:

- Universidad Nacional de Educación a Distancia (coordinadora del proyecto)
- Universidad de Almería
- Universidad de Alicante
- Universidad Politécnica de Valencia
- Universidad Politécnica de Cataluña
- Universidad Miguel Hernández
- Universidad de León.

La idea primigenia de este proyecto se remonta al año 2000 cuando en la Universidad Politécnica de Valencia se organizaron las I Jornadas de Trabajo sobre “Enseñanza vía Internet/Web de la Ingeniería de Sistemas y Automática (EIWISA00)”. Allí, todos los grupos de trabajo participaron y se plantearon el objetivo a largo plazo de diseñar y construir un laboratorio remoto de Automática mediante compartición de recursos provenientes de cada Universidad. Estas Jornadas tuvieron su continuación en EIWISA01 (UNED, Madrid), EIWISA02 (Alicante), EIWISA05 (Granada) y EIWISA07 (Zaragoza), estas dos últimas ya dentro del marco del Congreso Español de Informática (CEDI).

El compromiso de los grupos participantes en el proyecto se concreta en los siguientes puntos:

1. Poner a disposición de la red un sistema físico que quede destinado, con carácter exclusivo durante los meses que el laboratorio esté abierto a la realización de prácticas dentro de la iniciativa.
2. Preparar la estructura del laboratorio virtual/remoto de acuerdo con el estándar que se establezca desde el punto de vista externo del laboratorio.
3. Generar todo el material necesario: explicación de la interfaz del laboratorio, protocolo de tareas, guiones de los experimentos, etc. para que las prácticas puedan ser desarrolladas de forma autónoma por los alumnos.
4. Mantener en estado operativo la planta durante el período de ejecución de los laboratorios.
5. Contestar las dudas que planteen los alumnos de su universidad sobre las prácticas que realicen.
6. Evaluar el trabajo de los alumnos de su universidad que realicen las prácticas.

## Laboratorios remotos: Una mirada hacia el futuro

Aunque la tecnología de producción de laboratorios remotos puede considerarse que ha adquirido un cierto grado de madurez puede decirse que su diseño e implementación se hacen sin una voluntad expresa de pensar en su reutilización y sin una estandarización en los protocolos que facilite su desarrollo futuro.

Se trata pues de identificar las características que deberían poseer la próxima generación de laboratorios remotos y que en cierta medida deberían tomarse en cuenta por los investigadores que trabajan en este campo. Los grandes retos que encaran los laboratorios remotos del futuro son:

1. *Reusabilidad.* El desarrollo de un laboratorio remoto es todavía muy costoso, no solo en términos de su coste económico sino del tiempo necesitado para su puesta en marcha y de las “competencias” necesarias para su desarrollo. Desgraciadamente el software de los laboratorios remotos tiende a ser de una naturaleza dedicada y en general no se suele reutilizar por otras experiencias similares. Es importante definir una formalización de su arquitectura software de forma que podamos crear laboratorios remotos de bajo coste en un espacio de tiempo reducido.
2. *Interoperabilidad.* La interoperabilidad de las arquitecturas de los laboratorios remotos es también un reto motivador para el futuro del campo. En la práctica, los laboratorios locales pueden estar compuestos por algunos dispositivos que crean una unidad experimental cuando se conectan entre sí. Los laboratorios remotos de hoy día solo se plantean el control remoto de un dispositivo en un instante de tiempo. Podemos pensar en crear una nueva familia de laboratorios remotos donde los diferentes elementos que lo constituyen están distribuidos geográficamente entre diferentes sistemas de información que no tienen por qué estar localizados físicamente en el mismo laboratorio. Si se proporciona el “pegamento adecuado” sería posible ensamblar un laboratorio remoto distribuido que usa componentes de lugares diferentes de forma tal que el alumno no es conocedor de donde estos elementos se localizan. Esta posibilidad la denominamos “transparencia en la localización de los dispositivos”.
3. *Colaboratividad.* Una teoría del aprendizaje de uso extendido hoy día es el *constructivismo* que emergió de las ciencias cognitivas. El constructivismo está en cierta forma opuesto al *conductismo* que se focaliza en la transferencia pasiva de conocimiento entre profesores y alumnos. También intenta interpretar la adquisición de conocimiento como un acuerdo de un cambio permanente en la conducta del alumno en relación con un problema dado. En el otro lado, el constructivismo intenta que los alumnos aprendan de sus propias observaciones utilizando la comunicación con sus profesores y también con sus compañeros. Esta forma de aprendizaje pertenece a lo que se ha dado en conocer como Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computador (Computer Supported Collaborative Learning o CSCL). Los investigadores en este campo tienen un reto complejo porque el uso educativo de las nuevas tecnologías de la información/comunicación está inexorablemente vinculado con las nuevas prácticas pedagógicas y cognitivas del aprendizaje. Esta reflexión no está limitada solo a las clases teóricas y/o prácticas sino que se extiende también a los laboratorios remotos donde todavía queda latente un cierto aislamiento social que este enfoque origina. Los estudiantes aprecian la ruptura de esa barrera a través de las ventajas que les proporcionan las actuales herramientas de comunicación. En realidad, las redes sociales tienden a favorecer su proceso de aprendizaje. La observación clave es la siguiente: mientras las modernas teorías del aprendizaje promueven la colaboración entre estudiantes, ¿por qué los laboratorios remotos existentes solamente proponen en cada instante de tiempo un único acceso a dicho laboratorio? Por supuesto, inyectar cooperación o incluso colaboración en los laboratorios remotos no es una tarea fácil. Hay todavía un largo camino por recorrer para lograr aprendizaje colaborativo sincrónico dentro de los actuales laboratorios remotos.
4. *Convergencia con los sistemas de gestión del aprendizaje.* El aprendizaje a distancia no es un tema realmente nuevo. Desde hace tiempo se mantienen líneas de investigación abiertas con el fin de proporcionar lo siguiente. a) Para los estudiantes: la mejor exposición de contenidos para su aprendizaje. b) Para los profesores: las mejores facilidades de producción y reusabilidad de los contenidos de aprendizaje. El primer tema conduce a la creación de los Sistemas de Gestión del Aprendizaje (Learning Management System – LMS) y el segundo al desarrollo de los Sistemas de Gestión de Contenidos del Aprendizaje (Learning Content Management System – LCMS). Los LMS no son nada más que sitios web donde se almacenan y exponen a los estudiantes los materiales pedagógicos en su versión electrónica. Por su parte los LCMS son en su mayoría herramientas de autor que permiten a los profesores crear y reutilizar los contenidos pedagógicos. Sin embargo, al menos hasta ahora, los materiales pedagógicos van desde teoría a ejercicios en línea o problemas a resolver. Mientras los sistemas LMS permiten el seguimiento de las acciones de cada estudiante con el fin de analizar su aprendizaje, nunca se han acoplado con los laboratorios remotos. Esta falta de conexión entre ambos debería subsanarse en el futuro para proporcionar una mejor realimentación sobre el progreso de su aprendizaje a los estudiantes.

5. *Arquitectura distribuida: Controlador en el lado del cliente y proceso en el lado del servidor.* Prácticamente la configuración de todos los laboratorios remotos de hoy día siguen la arquitectura cliente-servidor, con el lazo de realimentación cerrado en el lado del cliente. En esta arquitectura desde el servidor sólo se pueden cambiar parámetros y/o cargar nuevas estrategias de control. Es posible concebir una arquitectura mucho más general donde el controlador se sitúa en el lado del cliente. Desde el punto de vista de los laboratorios remotos esto posibilita que el estudiante pueda escribir el código de su controlador en su propio computador y conectarlo con el proceso a controlar que se encuentra en otro lugar de la red. Esto plantea nuevos problemas que tienen interés tanto desde el punto de vista teórico como práctico. Esta configuración se corresponde con el concepto de “sistema de control en red” que es una línea de investigación muy activa en estos momentos en la comunidad del control.

### Sobre este número especial

Incluye diez trabajos en los que se abordan la realización y experiencias de laboratorios virtuales y remotos en Automática que han llevado a cabo diferentes instituciones universitarias. Los tres primeros trabajos corresponden a diferentes desarrollos realizados dentro del proyecto AutomatL@bs. En el primero de ellos “Entornos de experimentación para la enseñanza de conceptos básicos de modelado y control” sus autores, que son profesores de las Universidades de Almería y León, muestran las actividades y tareas que se pueden llevar a cabo con dichos entornos como parte de cursos básicos de modelado y control. Los laboratorios virtuales/remotos se han implementado sobre una maqueta de control de nivel y una maqueta multifuncional que permite la realización de actividades de automatización y control sobre 4 variables: presión, temperatura, caudal y nivel. También presentan los prometedoros resultados de las experiencias realizadas en los últimos cursos académicos en diversas asignaturas de control automático.

En el trabajo “Integración de dispositivos físicos en un laboratorio remoto de control mediante diferentes plataformas: Labview, Matlab y C/C++” participan profesores de las Universidades Politécnica de Valencia y de Cataluña y de la Miguel Hernández. Se ha dedicado una atención especial a las diferentes posibilidades de comunicación software (Labview, Matlab y C/C++) con los dispositivos físicos ubicados en el lado del servidor. Los equipos utilizados en los laboratorios remotos han sido un rotoimán, un motor de corriente continua y un sistema de bola y viga.

En el trabajo “Docencia en automática: Aplicación de las TIC a la realización de actividades prácticas a través de Internet” se exponen las experiencias de los autores en la aplicación de las tecnologías de la información y las comunicaciones a la docencia en automática en algunas de las universidades que participan en el proyecto AutomatL@bs. En concreto este trabajo lo firman componentes de los grupos de la UNED, Universidad de Alicante, Universidad Politécnica de Valencia y Universidad Miguel Hernández. Se describen la transformación de dos laboratorios tradicionales de automática, el control de un sistema de tres tanques y de un brazo robótico, en sendos laboratorios virtuales/remotos a través de Internet. Se estudian también los aspectos relacionados con la integración de estas aplicaciones en una herramienta para la planificación educativa flexible con fines pedagógicos.

“Aplicación del sistema de laboratorios a distancia en asignaturas de regulación automática” presenta una estrategia híbrida para la realización de prácticas de laboratorio remotas en combinación con docencia presencial en la asignatura Regulación Automática I de la Universidad Politécnica de Madrid. Para ello utilizan el Sistema de Laboratorios a Distancia (SLD) desarrollado en la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas de Cuba. El objetivo que persiguen es combinar adecuadamente las prácticas presenciales y remotas para la docencia de asignaturas de control automático.

“BENDER. 3.0: Plataforma robótica remota para aplicaciones docentes” es un sistema de experimentación remota concebido por profesores de las Universidades de Sevilla y Huelva para la realización de prácticas de Programación Concurrente (asignatura obligatoria de segundo curso de Ingeniería Técnica Informática, especialidades de Sistemas y Gestión). En este artículo se revisan las alternativas que facilitan a los alumnos la experimentación con la plataforma real y se muestra como se ha concebido un marco flexible de simulación que posibilita el trabajo en casa de una forma totalmente compatible con la plataforma real.

En el trabajo “Diseño de laboratorios virtuales y/o remotos. Un caso práctico” se propone un protocolo de diseño de laboratorios remotos con control de sistemas físicos a través de instrumentos virtuales. Como caso práctico de aplicación se presenta un proyecto educativo para la docencia en Automática que está siendo desarrollado por profesores y alumnos de grado y postgrado de la Universidad de Huelva: el Laboratorio de Ensayo de Robots (LER).

“Diseño de un laboratorio virtual y remoto para simular, monitorear y controlar un sistema de riego por goteo” es un trabajo desarrollado en el Instituto de Automática de la Universidad Nacional de San Juan en Argentina en colaboración con el

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria con el objetivo de desarrollar un laboratorio virtual/remoto que permite simular, supervisar y controlar en tiempo real un sistema de riego por goteo en un olivar localizado en la provincia de San Juan Argentina. El laboratorio virtual está también a disposición de los alumnos de las carreras de Ingeniería Electrónica (en materias orientadas a control automático) e Ingeniería en Agronomía (en materias orientadas a riego agrícola) para el desarrollo de sus prácticas.

“Experiencia de uso de un laboratorio remoto de control” describe los desarrollos que sobre laboratorios remotos se han venido llevando a cabo en la Universidad Europea de Madrid. En el trabajo, se presenta una experiencia de utilización de un laboratorio remoto de control, denominada LABNET, cuyo objetivo es mostrar el alcance de la experimentación remota tanto desde la perspectiva de los alumnos como del profesor. LABNET permite realizar experimentos de control sobre tres tipos de sistemas físicos: una maqueta de depósito para el control de nivel, una maqueta de control de temperatura y un sistema de estabilización de barcos.

En el trabajo “Laboratorios virtuales y remotos de procesamiento de señales” realizado en la Universidad Complutense de Madrid el objetivo es facilitar la comprensión de los principales conceptos del procesado digital de señales y del reconocimiento de patrones. Las prácticas se pueden hacer o en laboratorios virtuales mediante herramientas de simulación, o de forma remota y, en algunos casos, se han implementado en sistemas reales mediante DSP. Se presentan también algunas experiencias de la aceptabilidad del laboratorio por parte de los alumnos.

“Web-LABAI: Laboratorio remoto de automatización industrial” presenta un laboratorio remoto que permite a los alumnos interactuar y realizar, desde Internet, prácticas de automatización y control de procesos. Con este trabajo se establece el primer laboratorio remoto en la Universidad Politécnica "Antonio José de Sucre", UNEXPO de Venezuela.