

Remote Automation Laboratories for Patagonian Universities: A Pedagogical Proposal for Informatics and Engineering Education in the Context of Digital Transformation

Jorge Luis Naguil ^{1,2}[0009-0001-8367-171X]

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Cruz, Río Gallegos, Argentina
jorge.naguil@frsc.utn.edu.ar, <https://www.frsc.utn.edu.ar/>

² Grupo de Investigación en Transformación Digital, Instituto de Tecnología Aplicada,
Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Río Gallegos, Argentina
jnaguil@uarg.unpa.edu.ar, <https://www.uarg.unpa.edu.ar/ita/>

Abstract. Practical training in automation and process control is a core competence in engineering curricula. However, universities in geographically remote regions face significant barriers: high equipment costs, large distances between students and campuses, and students working in rotating shifts in industries far from their institutions. This paper presents the conceptual design of a remote automation laboratory based on a physical tank-level control bench, operated via a web-accessible SCADA system, intended for shared use among Patagonian universities. The pedagogical dimension is analyzed in terms of competences addressed, curricular integration, and complementarity with hands-on practice. The technical challenge of network latency in long-distance operation is discussed, along with compensation strategies to preserve the quality of the remote experience. The proposal is framed within the CONFEDI R-Lab collaborative network and the digital transformation strategy of Argentine higher education, positioning remote laboratories as tools that simultaneously address pedagogical, technological, and institutional challenges.

Keywords: remote laboratories, engineering and informatics education, automation, digital transformation, pedagogical competences.

Laboratorios Remotos de Automatización para Universidades Patagónicas: Una Propuesta Pedagógica para la Educación en Informática e Ingeniería en el Contexto de la Transformación Digital

Resumen. La formación práctica en automatización y control de procesos constituye una competencia central en los planes de estudio de ingeniería. Sin embargo, las universidades ubicadas en regiones geográficamente alejadas enfrentan barreras significativas: altos costos de equipamiento, grandes distancias entre estudiantes y campus, y estudiantes que trabajan en regímenes rotativos en industrias alejadas de sus instituciones. Este trabajo presenta el diseño conceptual de un laboratorio remoto de

automatización basado en un banco físico de control de nivel de tanques, operado mediante un sistema SCADA accesible vía web, destinado al uso compartido entre universidades patagónicas. Se analiza la dimensión pedagógica en términos de competencias abordadas, integración curricular y complementariedad con las prácticas presenciales. Se discute el desafío técnico de la latencia de red en la operación a larga distancia, junto con estrategias de compensación para preservar la calidad de la experiencia remota. La propuesta se enmarca en la red colaborativa CONFEDI R-Lab y en la estrategia de transformación digital de la educación superior argentina, posicionando a los laboratorios remotos como herramientas que abordan simultáneamente desafíos pedagógicos, tecnológicos e institucionales.

Palabras clave: laboratorios remotos, educación en ingeniería e informática, automatización, transformación digital, competencias pedagógicas.

1. Introducción

La formación práctica en automatización y control de procesos es un componente esencial de las carreras de ingeniería, reconocido como competencia obligatoria por los estándares de acreditación del CONFEDI (2018). Las actividades de laboratorio permiten a los estudiantes vincular la teoría con fenómenos físicos reales, desarrollar criterio técnico frente a situaciones no previstas y construir una cultura de seguridad operativa. Sin embargo, las universidades en regiones alejadas de los grandes centros poblacionales enfrentan un problema concreto: los equipos de laboratorio son económicamente difíciles de adquirir, y muchos estudiantes se encuentran a cientos de kilómetros de las sedes universitarias por cuestiones laborales o familiares.

En la Patagonia austral, esta problemática se agudiza por la presencia de estudiantes que trabajan en régimen rotativo (7x7, 14x14) en el sector minero y petrolero, lo que limita severamente su asistencia a prácticas presenciales. Carreras como ingeniería química, electromecánica e industrial comparten la necesidad de formación en control de procesos, pero rara vez cuentan con equipamiento propio de nivel industrial. Esta situación genera una inequidad formativa respecto a estudiantes de universidades ubicadas en grandes centros urbanos que disponen de laboratorios equipados y acceso presencial regular.

Los laboratorios remotos, que permiten operar equipamiento real a través de Internet, surgieron como respuesta a esta limitación y cobraron impulso durante la pandemia de COVID-19 (Heradio et al., 2016). A diferencia de los laboratorios virtuales, que utilizan simulaciones, los remotos preservan la interacción con procesos físicos auténticos, generando datos experimentales reales que no pueden ser completamente reproducidos por simulación (Ma y Nickerson, 2006; Yun et al., 2025).

Simultáneamente, las instituciones de educación superior atraviesan un proceso de transformación digital que implica repensar los modelos pedagógico-tecnológicos (De Giusti, 2023; Salinas, 2020). En Argentina, esta discusión se ha materializado en la Red CONFEDI R-Lab, conformada en 2021 con 29 nodos universitarios activos y financiamiento de la SPU y la Fundación YPF (Aggio et al., 2025). Este trabajo presenta el diseño conceptual de un laboratorio remoto de automatización y analiza tanto sus desafíos técnicos como su potencial pedagógico para universidades patagónicas, argumentando que estos laboratorios constituyen un componente clave de la transformación digital universitaria.

Desde la perspectiva de la informática, los laboratorios remotos pueden entenderse como sistemas distribuidos que integran software, redes de comunicación, adquisición de datos e interacción humano-computadora. En este sentido, además de su rol en la formación en automatización, constituyen un entorno concreto para el desarrollo de competencias en informática aplicada, particularmente en contextos de sistemas ciberfísicos y digitalización industrial.

En este contexto, la contribución principal de este trabajo es el diseño conceptual de un laboratorio remoto de automatización orientado a universidades patagónicas, junto con el análisis integrado de sus implicancias pedagógicas y de informática aplicada en entornos distribuidos.

2. Dimensión pedagógica: competencias y estrategia didáctica

El laboratorio remoto propuesto no es simplemente una réplica a distancia de una práctica presencial, sino una herramienta pedagógica con características propias. Desde la perspectiva de las competencias de egreso definidas por CONFEDI (2018), el sistema permite trabajar al menos tres competencias tecnológicas: diseñar, calcular y proyectar sistemas de control; operar y mantener sistemas de automatización; y utilizar técnicas y herramientas de aplicación en ingeniería. Adicionalmente, el acceso remoto fomenta competencias sociales como la autonomía en el aprendizaje y la gestión del tiempo, especialmente relevantes para estudiantes adultos con responsabilidades laborales.

La interacción con el laboratorio remoto también desarrolla habilidades vinculadas al pensamiento computacional y al modelado de sistemas informáticos, donde los estudiantes interactúan con variables digitales, estructuras de control y representaciones abstractas del proceso físico. Estas competencias son transversales a las carreras de ingeniería y constituyen un puente natural con la informática aplicada, donde conceptos como control digital, PLC, SCADA y redes industriales suelen abordarse de manera predominantemente teórica.

En este sentido, el laboratorio puede interpretarse también como un entorno de aprendizaje de informática aplicada, donde los estudiantes trabajan con conceptos como sistemas distribuidos, procesamiento de datos en tiempo real, redes de comunicación industrial e interfaces humano-máquina. Estos elementos forman parte central de los planes de estudio modernos en informática, especialmente en áreas vinculadas a sistemas ciberfísicos y al Internet Industrial de las Cosas (IIoT).

El laboratorio remoto propuesto aborda esta carencia, ofreciendo acceso a un proceso industrial real independientemente de la ubicación geográfica.

La estrategia didáctica se organiza en tres fases: (a) preparación mediante materiales teóricos y simulaciones; (b) experimentación remota sobre el sistema real; y (c) análisis de los resultados obtenidos. Este enfoque complementa la práctica presencial, permitiendo repetir experimentos y acceder al laboratorio pese a limitaciones geográficas.

3. Arquitectura del laboratorio remoto

El sistema se compone de un banco físico de procesos con tanques interconectados, bombas centrífugas y electroválvulas, controlado mediante un PLC con comunicación Ethernet industrial. La arquitectura sigue un modelo de tres capas: (1) capa de campo, con sensores de nivel, presión y caudal conectados al PLC; (2) capa de control, donde el PLC ejecuta lazos PID y lógica de seguridad; y (3) capa de supervisión, con un

servidor SCADA accesible vía web que permite a los estudiantes monitorear variables en tiempo real, modificar setpoints y observar la respuesta del sistema.

La separación IT/OT se implementa mediante una zona desmilitarizada (DMZ) industrial con firewalls dedicados, siguiendo las recomendaciones del estándar ISA-95 e IEC 62443. El sistema incorpora mecanismos de seguridad funcional que limitan los rangos de setpoints permitidos, gestionan las sesiones de acceso concurrente mediante un sistema de turnos, y registran toda la actividad de los usuarios para auditoría posterior. Los estudiantes acceden a una interfaz web que replica el panel HMI del laboratorio, donde pueden ejecutar prácticas de llenado, vaciado, trasvase y control de nivel con el equipamiento real, complementada con retroalimentación visual mediante cámaras IP que permiten observar el estado físico del proceso en tiempo real.

Desde el punto de vista informático, la arquitectura constituye un sistema distribuido en capas que integra software, comunicaciones y control en tiempo real.

4. El desafío de la latencia en la operación remota

Un aspecto crítico de los laboratorios remotos es el impacto de la latencia de red sobre el desempeño del control y, consecuentemente, sobre la calidad de la experiencia de aprendizaje. Cuando un estudiante opera el laboratorio desde una localidad distante, cada comando y cada lectura de sensor atraviesa cientos de kilómetros de red, introduciendo retardos que pueden degradar la respuesta del lazo de control. La literatura sobre retardos en redes Ethernet para sistemas de control distribuido muestra que la magnitud absoluta de los retardos condiciona la estabilidad del lazo, aunque su desviación estándar permanezca relativamente constante (Modesti y Silva, 2006).

Este fenómeno tiene implicancias pedagógicas directas: si el retardo es excesivo, el estudiante observa una respuesta del sistema que no refleja fielmente la dinámica real del proceso, lo que puede conducir a conclusiones erróneas sobre el comportamiento del controlador. Para mitigar este efecto, la literatura propone mecanismos de compensación como el predictor de Smith o controladores adaptativos que ajusten sus parámetros en función de la latencia medida en tiempo real. La evaluación experimental del impacto de la latencia sobre la calidad de la experiencia de aprendizaje, tanto en términos de desempeño del control como de percepción del estudiante, constituye una línea de trabajo futuro que se abordará una vez implementado el prototipo funcional del laboratorio.

5. Discusión: el laboratorio remoto como vector de transformación digital

La propuesta se articula con la transformación digital universitaria en tres dimensiones. En la dimensión pedagógica, el laboratorio remoto permite que estudiantes con regímenes laborales rotativos accedan a prácticas experimentales reales sin requerir presencia física, multiplicando oportunidades de aprendizaje; la estructura de tres fases facilita además la integración con plataformas LMS institucionales. En la dimensión tecnológica, la implementación de una arquitectura SCADA web con separación IT/OT genera capacidades institucionales en ciberseguridad industrial y comunicaciones que trascienden el ámbito educativo. En la dimensión institucional, la integración a la red CONFEDI R-Lab permitiría a las universidades patagónicas tanto ofrecer sus laboratorios como acceder a los de otras instituciones, optimizando recursos y evitando la duplicación de inversiones (Modesti y Canali, 1999; Pinillos Gómez et al., 2025). El estudiante que opera el laboratorio remoto desarrolla habilidades de interpretación de datos instrumentales, sintonización de controladores y análisis de respuesta dinámica que son directamente transferibles al entorno profesional real.

Adicionalmente, el laboratorio propuesto puede conceptualizarse como una plataforma para la enseñanza de informática en contextos industriales, integrando temáticas clave como sistemas distribuidos, comunicaciones en red, supervisión basada en software (SCADA), ciberseguridad en entornos IT/OT e interacción humano-computadora. Esto posiciona la propuesta no solo en el ámbito de la educación en ingeniería, sino también dentro del campo más amplio de la educación en informática, particularmente en sus dimensiones aplicadas e interdisciplinarias.

6. Conclusiones y trabajo futuro

Los laboratorios remotos no reemplazan la experiencia presencial, sino que la complementan significativamente. Permiten que un estudiante practique antes de asistir al laboratorio físico, que repita experimentos fuera del horario de clase y que acceda al equipamiento cuando la distancia geográfica es una barrera real. En el contexto patagónico, donde la dispersión geográfica y los regímenes laborales rotativos condicionan la trayectoria académica de miles de estudiantes de ingeniería, esta complementariedad adquiere un valor estratégico que trasciende la conveniencia operativa.

El desafío técnico de la latencia es real pero abordable con las tecnologías actuales; lo imprescindible es la voluntad institucional para enmarcar la inversión dentro de una estrategia integral de transformación digital. Este trabajo contribuye a esa discusión, mostrando que la tecnología está madura y que el contexto geográfico de la Patagonia la hace especialmente relevante.

Asimismo, la propuesta contribuye a integrar la educación en ingeniería con la educación en informática, destacando el rol del software, las redes y los datos en los sistemas industriales modernos, y reforzando la necesidad de una formación interdisciplinaria en el contexto de la transformación digital.

Como trabajo futuro se prevé: (a) la implementación del prototipo funcional del laboratorio remoto; (b) la evaluación experimental del impacto de la latencia sobre el desempeño del control y la experiencia de aprendizaje con el sistema real; (c) la implementación y validación de mecanismos de compensación de retardo; y (d) una evaluación pedagógica mediante encuestas a estudiantes y comparación de resultados de aprendizaje entre la modalidad presencial y remota, utilizando como marco las competencias de egreso definidas por CONFEDI.

Nota: Durante la preparación de este trabajo, el autor utilizó herramientas de inteligencia artificial generativa con el fin de mejorar el lenguaje y la legibilidad del manuscrito. Tras utilizar esta herramienta, el autor revisó y editó el contenido según fue necesario y asume plena responsabilidad por el contenido de la publicación.

Referencias

- Aggio, C., González Ferrer, J. M. y Pandolfo, L. (2025). Laboratorios remotos: una estrategia federal para el futuro de la ingeniería. *Revista Argentina de Ingeniería (RADI)*, 25, 58–71.
- CONFEDI (2018). Propuestas de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de Ingeniería en la República Argentina. CONFEDI.
- De Giusti, A. E. (2023). Transformación Digital en Educación Superior. Posibilidades y Desafíos. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, (35), e1.
- Heradio, R., de la Torre, L. y Dormido, S. (2016). Virtual and remote labs in control education: A survey. *Annual Reviews in Control*, 42, 1–10.

- Ma, J. y Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. *ACM Computing Surveys*, 38(3), 7.
- Modesti, M. R. y Canali, L. R. (1999). Laboratorio de control de procesos integrado virtual. CIEIA 1999.
- Modesti, M. R. y Silva, J. (2006). Caracterización de retardos en redes Ethernet para sistemas de control distribuido. *JAR* 2006.
- Pinillos Gómez, L. F., Hoyos Gutiérrez, J. G. y Cardona Aristizábal, J. E. (2025). LabWebUQ: una plataforma de laboratorios remotos para prácticas en universidades y colegios. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería, ACOFI.
- Salinas, J. (2020). La transformación digital en la educación superior. *Revista de Educación a Distancia*, 65(5), 1–20.
- Yun, W. J. et al. (2025). SmartLab: Flexible and interoperable manufacturing laboratory system for remote education and research using a mobile manipulator. *Journal of Computational Design and Engineering*, 12(4), 221–235.
- Zamarreño, J. M., Ríos, J. C. y Alonso, G. (2025). Virtual and remote laboratory as a complementary support in control education. *Discover Education*, 4, 477.