

Concepto e Impactos Iniciales de Laboratorios Remotos para Cursos Avanzados de Física en LA-CoNGA physics*

Concept and Early Impacts of Remote Laboratories for Advanced Physics Courses within the LA-CoNGA physics

López Rodríguez, José Antonio¹, Sarmiento-Cano, Christian² y Nuñez, Luis A.³, en nombre de LA-CoNGA physics

La interacción enseñanza-aprendizaje y contribución de la
investigación en las ciencias exactas y naturales

VII Encuentro Internacional sobre la Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Resumen: Presentamos el concepto e impactos de la implementación de laboratorios remotos en cursos avanzados de física para estudiantes de postgrado en cuatro países andinos, en el marco del proyecto LA-CoNGA physics (alianza latinoamericana para la construcción de capacidades en física avanzada). LA-CoNGA physics, financiado por Erasmus+ y la Comisión Europea, ha logrado unir exitosamente a ocho universidades de Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, junto con tres universidades europeas. Compartimos cursos de maestría, incluyendo materias como Ciencia de Datos, Instrumentación y Física Avanzada. Un componente fundamental es el módulo de instrumentación científica, que abarca experiencias prácticas en Física Nuclear, Astropartículas y Sistemas Complejos. El laboratorio remoto presenta una oportunidad para mejorar el acceso de los estudiantes a equipos costosos y aumentar los horarios de uso. Además, fomenta la diversidad al facilitar la inclusión de grupos geográficamente distantes, superando barreras físicas, culturales o económicas para acceder a estas instalaciones. En esta presentación mostraremos el concepto de laboratorio remoto estructurado en tres partes: el Laboratorio Físico, el Ecosistema de Comunicación y la generación de contenido. Como ejemplo mostraremos su puesta en práctica para cuatro experiencias de laboratorio. Tres se dedican a experimentos de física nuclear (Espectroscopía de Fotones, Caracterización de fotomultiplicadores de Silicio y Detección de muones cósmicos), mientras que la cuarta es un experimento de sistemas complejos elaborado desde cero (Péndulo doble). Estas prácticas han sido parte del curso de instrumentación, culminado por 27 estudiantes de maestría en Física durante los años 2022 y 2023.

Palabras clave— Laboratorios Remotos, LA-CoNGA Physics, Cursos de Física Avanzada, Instrumentación, Comunidad Virtual de Investigación y Aprendizaje

¹*Proyecto: Latin-american Alliance for Capacity buildiNG in Advanced physics, 610456-EPP-1-2019-1-FR-EPPKA2-CBHE-JP, financiado por el programa Erasmus+ Universidad Central de Venezuela; código ORCID: 0000-0003-3613-3406. Contacto: jose.lopez@ucv.ve

²Universidad Industrial de Santander; código ORCID:0000-0002-4977-4184. Contacto: christian.sarmiento@correo.uis.edu.co

³ Universidad Industrial de Santander; código ORCID: 0000-0003-4575-5899. Contacto: lnunez@uis.edu.co

Abstract: We present the concept and impacts of implementing remote laboratories in advanced physics courses for postgraduate students across four Andean countries, within the framework of the LA-CoNGA physics project (Latin-American alliance for Capacity building in Advanced physics). LA-CoNGA physics, funded by Erasmus+ and the European Commission, has successfully brought together eight universities from Colombia, Ecuador, Peru, and Venezuela, along with three European universities. We share master's level courses, including subjects such as Data Science, Instrumentation, and Advanced Physics. A key component is the scientific instrumentation module, encompassing practical experiences in Nuclear Physics, Astroparticles, and Complex Systems. The remote laboratory presents an opportunity to enhance student access to expensive equipment and extend usage hours. Moreover, it promotes diversity by facilitating the inclusion of geographically distant groups, overcoming physical, cultural, or economic barriers to facility access. In this presentation, we showcase the structured concept of the remote laboratory in three parts: the Physical Lab, Communication Ecosystem, and content generation. As an example, we demonstrate its implementation for four laboratory experiences. Three are dedicated to nuclear physics experiments (Photon Spectroscopy, Silicon Photomultiplier Characterization, and Cosmic Muon Detection), while the fourth is a complex systems experiment built from scratch (Double Pendulum). These practices have been a part of the instrumentation course, completed by 27 master's students in Physics during the years 2022 and 2023.

Keywords— Remote Laboratories, LA-CoNGA Physics, Advanced Physics Courses, Instrumentation, Virtual Research and Learning Community

I. INTRODUCCIÓN

Presentamos el concepto e impactos de la implementación de laboratorios remotos en cursos avanzados de física para estudiantes de postgrado en cuatro países andinos, en el marco del proyecto LA-CoNGA physics (alianza latinoamericana para la construcción de capacidades en física avanzada⁴).

LA-CoNGA physics, financiado por Erasmus+ y la Comisión Europea, ha logrado unir exitosamente a ocho universidades de Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, junto con tres universidades europeas en Francia y Alemania. Nuestro enfoque central es el establecimiento de un currículo a nivel de maestría que incluye materias como Ciencia de Datos, Instrumentación y Física Avanzada, habilidades muy demandadas más allá del ámbito académico [1].

Un componente fundamental del currículo es el módulo de Instrumentación científica, que abarca experiencias prácticas en

diversos campos como Física Nuclear, Física de Partículas, Astropartículas y Sistemas Complejos. La integración de laboratorios de instrumentación contemporáneos permite a los estudiantes llevar a cabo experimentos en universidades interconectadas, marcando un hito significativo en el progreso del consorcio LA-CoNGA.

El laboratorio remoto, situado dentro de un ecosistema maduro de cursos en línea y una Comunidad Virtual de Investigación y Enseñanza [2,3], desempeña un papel crucial donde el aprendizaje en línea y la simulación ya están arraigados. Brindar acceso remoto a experiencias de laboratorio presenta una oportunidad excepcional para mejorar la disponibilidad de los estudiantes a equipos costosos al tiempo que se expanden los horarios de uso del equipo. Este enfoque se ajusta armónicamente con estrategias convencionales de aprendizaje en línea y sus beneficios asociados. Además, fomenta la diversidad al facilitar la inclusión de grupos de estudiantes o instructores geográficamente distantes, superando así barreras físicas, culturales o

⁴ Latin American Capacity Building in Advanced Physics, <https://LA-CoNGA.redclara.net/>

económicas para acceder a estas instalaciones.

II. CONCEPTO Y PUESTA EN PRÁCTICA DE UN LABORATORIO REMOTO PARA ESTUDIANTES DE MAESTRÍA

El desarrollo de un laboratorio remoto puede pasar varias fases. Algunos ejemplos se encuentran en [4,5,6,7].

Laboratorio virtual: La experiencia es sustituida por una simulación del sistema físico.

Acceso a datos reales: Registrados de forma sincrónica o descargados de un repositorio preparado para tal fin.

Control remoto: El sistema en experimentación se somete a diferentes condiciones definidas por el estudiante remoto, por ejemplo, mediante la definición de voltajes, frecuencias o temperaturas.

Nuestro modelo de laboratorio cumple con el estándar de control remoto efectivo. Para lograr el éxito técnico y académico fue organizado en tres partes. La primera es el Laboratorio Físico. Éste está alojado en un espacio dedicado a mantener la experiencia, manejada mediante un software de control. El espacio debe tener la capacidad de conexión estable a internet. En este sentido se recomienda que la velocidad de conexión no sea inferior a 5 Mbps y la latencia no supere 100 ms.

La segunda parte es un Ecosistema de Comunicación que permite la interacción entre el grupo docente y los estudiantes. Esta segunda parte cumple tres objetivos esenciales. Ofrecer acceso a la administración de las tareas de organización del calendario de actividades. También aloja

la documentación necesaria en la web, incluyendo guías y planes de práctica. Por último, está el punto de ingreso al laboratorio. Éste unifica el acceso al calendario, la documentación y al sistema de control de la experiencia a través de un software de escritorio remoto. Este punto de acceso se presenta en forma de una aplicación móvil desarrollada por nosotros para generar un ambiente de inmersión mediante el uso de realidad virtual.

Además de estas tres funciones esenciales de organización académica, documentación y acceso de control, nuestro Ecosistema de Comunicación (MiLab⁵) también incluye una plataforma de mensajería interna, un repositorio de datos y un servicio de cómputo en la nube.

La tercera parte del laboratorio remoto consiste en la generación de contenido facilitado tanto por el personal (guías, planes de estudio) como por los grupos de estudiantes (datos y reportes).

Entre las prácticas de laboratorio ofrecidas al grupo de estudiantes destacan las siguientes

1. **Espectroscopía de fotones.** En esta experiencia los estudiantes deben comprender la física de los procesos radiactivos y las técnicas para detectar fotones de dichos procesos.
2. **Caracterización de fotomultiplicadores de silicio.** En esta práctica se busca que los estudiantes determinen los parámetros de funcionamiento óptimo de la digitalización de la

⁵ MiLab

<https://www.redclara.net/index.php/es/servicios-rc/milab>

señal producida por un fotomultiplicador.

3. **Detección de muones cósmicos.** En esta práctica se detecta el flujo de muones producidos naturalmente por la interacción de los rayos cósmicos en la atmósfera a diferentes ángulos de llegada.
4. **Péndulo doble.** En esta práctica se estudian las propiedades de un sistema caótico.

En las experiencias 1 y 2 la instrumentación se maneja a través del computador presente en el aula. Previamente a la práctica, el sistema debe ser puesto a punto por el equipo técnico local. El software permite visualizar el panel de control del experimento para cambiar los parámetros y tomar los datos. Los estudiantes manejan el computador local mediante una herramienta de escritorio remoto⁶.

En el caso de las experiencias 3 y 4 existen además partes móviles. La detección del flujo de muones requiere orientar el sensor para ajustarse a los distintos ángulos de llegada de las partículas. El péndulo doble debe ser llevado a su condición inicial antes de registrar en video cada repetición de su trayectoria. Esta acción móvil se logra a través de motores y brazos robóticos, controlados por los estudiantes a través de la app web o móvil.

La incorporación de un video reflejando lo que ocurre en el mesón de laboratorio, además de ser necesario cuando se debe registrar el movimiento de un objeto, es un elemento de inmersión adicional, que mejora la calidad de la experiencia. Esta inclusión del video del mesón ha sido usada en algunas experiencias exitosas en cursos

de pregrado [7]. Sin embargo, la solución de control de la experiencia del péndulo doble mediante el brazo robótico debe ser asistida por el personal local en algunas circunstancias, por lo que aún requiere más desarrollo.

Este conjunto de prácticas de laboratorio ha sido parte del curso de Instrumentación científica para estudiantes en LA-CoNGA physics⁷ durante las cohortes 2022 y 2023. En este periodo 27 estudiantes de maestría de las instituciones participantes han realizado exitosamente estas prácticas en forma presencial y remota.

III. CONCLUSIONES

El desarrollo de un conjunto de prácticas de laboratorio remoto en el marco de la colaboración LA-CoNGA physics ha sido exitosa en el sentido que ha ampliado la interacción de las 11 universidades asociadas. Los 27 estudiantes han tenido acceso a un número considerable de experiencias, minimizando la inversión. Además, se ha desarrollado la capacidad de ofrecer la interacción a distancia en las instituciones participantes. Los estudiantes también desarrollaron competencias técnicas adicionales al conocimiento del objeto de estudio. Sin embargo, el diseño de la app móvil debe ser revisado para hacerla más adecuada al trabajo experimental.

Esta experiencia es novedosa por tratarse de un curso avanzado de maestría y contemplar prácticas relacionadas con diferentes áreas de la disciplina en un solo proyecto.

Por último, se debe destacar que es un proceso en desarrollo, en el que se debe

⁶DWSservice <https://www.dwservice.net/>

7

<https://laconga.redclara.net/courses/modulo-instrumentacion/modulo-instrumentacion.html>

continuar desarrollando un estándar conceptual y técnico.

Doctor en Ciencias, mención Física de la Universidad Central de Venezuela. Profesor Titular Universidad Industrial de Santander

Áreas de investigación: Astrofísica de Altas Energías

REFERENCIAS

- [1] Peña Rodríguez, J. y Núñez, L.A., "LA-CoNGA physics: an open science education collaboration between Latin America and Europe for High Energy Physics." In The European Physical Society Conference on High Energy Physics. 26-30 July 2021. Online conference (p. 907).
- [2] Caicedo, M., Camacho, R., Cordero, F.F., García, F., Hernández, H., Lopez Rodriguez, J.A., Manjarrés, J., Martínez, H., Mendoza, C., Millán, B. and Montaña, J., Alberto Nunez, L., Ocariz, J., Paredes, D., Alejandro Perez, L., Rangel Smith, C., Sanchez, A & Torres, H, "Virtual research and learning communities in Latin America: The CEVALE2VE case". *Interciencia*, 42(11):733–738, 2017.
- [3] Calderón, C.A., Calderín, M., Núñez, L. y Briceño, Y., "e-Research: the new paradigm of science in Latin America". *An Overview of Digital Media in Latin America*, p.38, 2014.
- [4] Kustija, Jaja, y Novall Dwi Jayanto. "IoT Implementation for Development of Remote Laboratory (Case Study on Microscope Practice)." *REKA ELKOMIKA: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat* 3.1 (2022): 20-29.
- [5] Moriello, Rosario Schiano Lo, et al. "On the Suitability of Augmented Reality for Safe Experiments on Radioactive Materials in Physics Educational Applications." *IEEE Access* 10 (2022): 54185-54196.
- [6] Galan, D., et al. "A remote laboratory for optical levitation of charged droplets." *European Journal of Physics* 39.4 (2018): 045301.
- [7] Lavayssière, Camille, Benoît Larroque, i Franck Luthon. "Laborem Box: A scalable and open source platform to design remote lab experiments in electronics." *HardwareX* 11 (2022): e00301.

Biografía. Autor 1: José Antonio López Rodríguez

Doctor en Ciencias, mención Física de la Universidad Central de Venezuela. Profesor investigador de la Universidad Central de Venezuela.

Áreas de investigación: Física de Altas Energías.

Biografía. Autor 2: Nombres y Apellidos

Doctor en Ciencia y Tecnología, mención física del Instituto Sábato de la Universidad Nacional de San Martín, Buenos Aires, Argentina.

Investigador Escuela de Física de la Universidad Industrial de Santander

Áreas de investigación: Astrofísica de Altas energías.

Biografía. Autor 3: Luis A. Núñez