

# Informe final publicable de proyecto Innovaciones para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales mediados por tecnologías digitales

Código de proyecto ANII: FSED\_2\_2020\_1\_163647

Fecha de cierre de proyecto: 01/12/2023

**VARELA BELLOSO, Gabriela Lourdes** (Responsable Técnico - Científico)

**PEREIRA LARRONDE, Ana Carolina** (Co-Responsable Técnico-Científico)

**ALVAREZ, Michelle Marilyn Alvarez** (Investigador)

**ARGUEDAS-MATARRITA, Carlos** (Investigador)

**CAPUYÁ, Fernando Gabriel** (Investigador)

**GARRO MORA, Ana Ligia** (Investigador)

**GASDÍA, Virginia** (Investigador)

**IDOYAGA, Ignacio** (Investigador)

**MACHÍN, Leonardo** (Investigador)

**MAEYOSHIMOTO, Jorge Esteban** (Investigador)

**MENDEZ, Rodrigo** (Investigador)

**MERONI TOLEDO, Gabriela** (Investigador)

**MONTERO-MIRANDA, Eric** (Investigador)

**MOYA, César Nahuel** (Investigador)

**OLLIVIER, Betsabé** (Investigador)

**PÉREZ, Nadia** (Investigador)

**QUINTERO, Teresa** (Investigador)

**RIESTRA ALBERICCI, Gustavo José** (Investigador)

**RIOS-BADILLA, Eduard** (Investigador)

**SÁNCHEZ-BRENES, Ronald** (Investigador)

**VARGAS-BADILLA, Laura** (Investigador)

---

ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE EDUCACIÓN PÚBLICA. CONSEJO DE FORMACIÓN EN EDUCACIÓN (Institución Proponente)

\\ UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA \\

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN EDUCACIÓN SUPERIOR. \\

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CULTURA. DIRECCIÓN DE INNOVACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA \\

FUNDACIÓN DE APOYO AL INSTITUTO CLEMENTE ESTABLE

## **Resumen del proyecto**

En este proyecto se desarrollaron estrategias de innovación para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias experimentales mediadas por tecnologías, a partir del desarrollo de laboratorios remotos diferidos y de secuencias de enseñanza y aprendizaje. Se realizó un pormenorizado diagnóstico de las prácticas educativas que incluyen actividad experimental en cursos de biología, física y química de nivel medio y formación de profesores, para identificar áreas de vacancia en la experimentación en torno a contenidos conceptuales estructurantes. Considerando estos aspectos y su pertinencia curricular en Uruguay y la región, se desarrollaron laboratorios remotos diferidos con sentido pedagógico mediante una investigación basada en diseño. Estas herramientas tecnológicas permitirán llevar adelante actividades experimentales tal como se realizan en un laboratorio presencial en cualquier momento y desde cualquier parte del mundo. Las secuencias didácticas asociadas a cada laboratorio remoto y a cada disciplina son factibles de ser adecuadas a dos niveles educativos: medio y terciario/universitario. Se ofrecieron múltiples instancias de capacitación docente, que continuarán profundizándose en talleres al finalizar el proyecto y los recursos educativos se encuentren liberados. Esta experiencia investigativa permitió aportar a modelos emergentes tendientes a interpelar el diseño de la enseñanza de las ciencias mediada por tecnologías digitales (Modelo de Laboratorio Extendido). Este proyecto puede escalarse y transferirse a distintos países, contribuyendo con metodologías innovadoras para la educación científica mediada por tecnología con énfasis en el trabajo experimental. Durante el proceso se realizaron múltiples publicaciones y se consolidó un grupo de investigación y desarrollo interinstitucional e interdisciplinario con participantes de tres países de América Latina (Argentina, Costa Rica y Uruguay) y con vínculos internacionales enfocado a desarrollar tecnología digital con sentido pedagógico a través del diseño, la evaluación y el ajuste de laboratorios remotos diferidos.

**Ciencias Sociales / Ciencias de la Educación / Educación General (incluye entrenamiento, pedagogía y didáctica) / Didáctica de las ciencias**

**Palabras clave: educación científica / actividades experimentales / laboratorio de ciencias /**

## **Introducción**

El equipo se conforma a partir de la articulación de tres grupos de investigación que trabajan en el campo de la educación científica pertenecientes al: Consejo de Formación en Educación (CFE) de la Administración Nacional de Educación Pública (ANEP) en Uruguay, Laboratorio de Experimentación Remota de la Universidad Estatal a Distancia (UNED) en Costa Rica y al Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica (CIAEC) de la Facultad de Farmacia y Bioquímica (FFyB) de la Universidad de Buenos Aires (UBA) en Argentina.

El equipo de investigación del CFE está integrado por profesores de las tres disciplinas (física, química y biología) involucradas en el proyecto, que se desempeñan en el nivel medio y formación docente, son investigadores en didáctica de las ciencias naturales con títulos de posgrado, cuentan con múltiples proyectos financiados y reúnen un gran número de publicaciones. Además, sostienen estrechos vínculos de colaboración con docentes y directivos de diferentes centros educativos y asociaciones docentes.

El Laboratorio de Experimentación Remota de la UNED, inició en 2018 una serie de proyectos que lo consolidaron como el referente centroamericano en Laboratorios Remotos e investiga profusamente en la generación de conocimiento original sobre la enseñanza y el aprendizaje con estos laboratorios, y también los desarrolla, los pone a punto, remodela y genera propuestas didácticas.

El CIAEC, considerado de referencia para la didáctica de las ciencias naturales y de la salud en iberoamérica lleva adelante proyectos financiados y cuenta con una frondosa producción académica. Todos los miembros del equipo de investigación sostienen vínculos acreditables de colaboración desde hace por lo menos una década.

El proyecto presenta un estudio dirigido al desarrollo de tecnología (Laboratorios Remotos Diferidos) y al diseño instruccional (Secuencias de Enseñanza y aprendizaje). En este contexto los Laboratorios Remotos (LR) son entendidos como recursos prometedores para potenciar la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en contextos digitales o en escenarios híbridos (Aramburu, C. et al, 2020; Arguedas-Matarrita, C. et al, 2019; Da Silva, J. et al., 2013; García-Zubía, J. et al., 2014; Zamora, R., 2012). El desarrollo tecnológico se enriqueció asociando a los LR secuencias didácticas o propuestas de enseñanza, actividades curriculares que resultaron de una Investigación Basada en Diseño.

Como en toda investigación basada en diseño puede reconocerse su carácter participativo, contextual, pragmático e

iterativo. El carácter participativo se transparentó en la conformación de equipos de trabajo que incluyeron las perspectivas de investigadores (formados y en formación) y de profesores (de nivel medio y superior). En estos equipos se logró la integración de saberes, el respeto por las miradas específicas y la valoración del trabajo mancomunado. La atención al contexto hace referencia a la adopción de un abordaje ecológico que considera a los fenómenos educativos complejos y multifactoriales haciendo necesario su estudio en los escenarios reales de actualización de profesores y estudiantes. La tendencia al pragmatismo hace referencia al despliegue de múltiples técnicas y diseños propios de los enfoques cualitativo y cuantitativo con el fin de obtener un gran número de evidencia, cuyo análisis riguroso permita disminuir la incertidumbre en la toma de decisión en términos de diseño, ya sea referido a los dispositivos desarrollados o las secuencias de enseñanza y aprendizaje donde se aplican. El cariz iterativo del estudio se encuentra en las distintas etapas de diseño, implementación y análisis retrospectivo que se sostuvieron.

El modo de trabajo sostenido tendió a la internacionalización y a la cooperación regional, permitiendo que Uruguay formará parte de un grupo de referencia consolidado en lo que a experimentación remota se refiere.

La variedad de tareas realizadas dió lugar a un gran número de publicaciones y presentaciones a congresos, permitió el avance de estudiantes de posgrado en sus trabajos de tesis y aportó a la consolidación de nuevos modelos didácticos como el de Laboratorio Extendido.

La gran cantidad de tareas de formación docente y capacitación de profesionales realizadas, garantiza la promoción de la experimentación remota en la región y promueve la democratización de las prácticas experimentales en Uruguay.

El proyecto generó conocimiento original sobre el uso y las condiciones de los Laboratorios Remotos (LR) en contextos formales de enseñanza de las ciencias naturales: educación media y terciaria (formación docente y universitaria). Se realizó un diagnóstico de las prácticas educativas que implican actividades experimentales y se identificaron áreas de vacancia. Además, se comenzó la descripción del conocimiento didáctico de diversos contenidos de ciencias naturales haciendo foco en el uso de tecnología y de posibilidades de incorporación de laboratorios remotos. Así mismo, se investigó el impacto de la incorporación de secuencias didácticas con LR en los aprendizajes, aportando a la construcción de modelos que dan cuenta de la relación entre esta tecnología y la construcción de conocimiento científico (Modelo de Laboratorio Extendido). Así, se pudo iniciar el entendimiento de las potencialidades y limitaciones de las propuestas de enseñanza que incluyen laboratorios remotos para el aprendizaje de conceptos, competencias y valores de las ciencias naturales. Como evidencia de estos logros se publicaron artículos en revistas de acceso libre, con referato, convenientemente indexadas, y se participó en congresos de educación científica del más alto prestigio a nivel mundial.

El proyecto logró potenciar el uso de laboratorios remotos en las áreas de vacancia detectadas en Uruguay y en la región. Se desarrollaron innovaciones entre las que se cuentan secuencias didácticas para biología, física y química de nivel medio y superior que incluyen el uso de LR.

Se pusieron en funcionamiento cinco nuevos LR que representan productos tangibles y de gran impacto. Adicionalmente, se diseñaron cursos de actualización docente y talleres virtuales y gratuitos, destinados a la capacitación de profesores, con el propósito de fomentar el desarrollo de las competencias necesarias para implementar nuevas propuestas didácticas mediadas por tecnologías digitales. Se logró capacitar alrededor de 2000 docentes. Todos estos productos son plausibles de ser escalados.

### **Metodología/diseño del estudio**

Se realizó una investigación basada en diseño (IBD) a partir de preguntas en torno a un problema particular: la necesidad de realizar actividades experimentales en entornos digitales. Se desarrolló una investigación con implicancias en y sobre la práctica de enseñanza de las ciencias naturales orientada a la innovación educativa para Uruguay y la región, cuyo énfasis estuvo en buscar soluciones a problemas en la implementación de actividades experimentales y sus formas de abordaje, lo que permitió la construcción de conocimiento original sobre las prácticas educativas en ciencias naturales. Como toda investigación basada en diseño presentó una dimensión de carácter exploratorio y contextual, sustentada en el escenario real de actuación de profesores y estudiantes, utilizando una concepción integral que permitió relevar las estrategias de enseñanza mediadas por tecnologías.

En la primera etapa se realizó una exploración diagnóstica que permitió conocer percepciones sobre diversas dimensiones en relación a las prácticas experimentales en las aulas de los dos niveles educativos considerados.

Posteriormente, se indagó sobre el conocimiento y uso de Laboratorios Remotos (LR) para el abordaje de tópicos específicos de biología, física y química en nivel medio y formación de profesores.

A partir de este diagnóstico se desarrollaron varias instancias formativas dirigidas al diseño, desarrollo y evaluación de secuencias didácticas y dispositivos tecnológicos para la educación. Paralelamente se fueron identificando para cada disciplina campos temáticos que por sus fortalezas didácticas para la comprensión de conceptos estructurantes en las

disciplinas, y su factibilidad en la experimentación, pudiesen ser sustento para el desarrollo de laboratorios remotos diferidos. Para ello se formaron equipos de trabajo interinstitucionales en cada disciplina (biología, química y física), con encuentros frecuentes para la selección de una práctica experimental con potencia didáctica en el contexto curricular de Uruguay. Durante las mismas se discutieron las potencialidades y debilidades de diferentes propuestas temáticas, la posibilidad de diseñar prácticas experimentales asociadas como laboratorios remotos, los materiales necesarios y la frecuencia de implementación en aula. Se realizaron posteriormente varias aproximaciones ensayísticas que se fueron modelando y adecuando para constituir las en laboratorios remotos.

Esta metodología presentó variadas estrategias con alto grado de complejidad y organización, que se caracterizaron principalmente por su flexibilidad, análisis contextual, múltiple participación de equipos intra e interdisciplinarios de diferentes países en forma concurrente. Además, implicó trabajar en forma paralela en diversos países y establecer intercaladamente reuniones conjuntas con tres equipos de investigación, a los que se sumaron posteriormente colegas de la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional La Rioja (Argentina) interesados en aportar al propósito del proyecto.

Durante la investigación se fueron construyendo así los dispositivos tecnológicos para su utilización en el nivel medio y terciario/universitario, mientras que paralelamente se diseñaban secuencias didácticas asociadas a los mismos. En esta línea, la meta común procuró reducir la incertidumbre en la toma de decisiones y en el diseño y desarrollo de intervenciones educativas. Se llevaron adelante estrategias de enfoque cualitativo que permitieran cierto grado de generalización de los productos que se iban construyendo. El enfoque metodológico se sustentó en insumos provenientes de prácticas reales a través de observaciones y cuestionarios, procurando la versatilidad que permita ofrecer soluciones a problemas auténticos y sentidos en el contexto particular de la investigación.

Como se propuso, se realizó una propuesta iterativa, reflexiva y altamente participativa e interactiva entre los investigadores participantes de las disciplinas involucradas. El análisis de las prácticas experimentales y los insumos surgidos del diagnóstico permitió comenzar el esbozo de una selección de temas y posibles prácticas experimentales asociadas, para posteriormente decidir cuál o cuáles serían las más adecuadas atendiendo las características que se propusieron: significatividad disciplinar, factibilidad de desarrollo, adecuación como dispositivo tecnológico de laboratorio remoto.

Esta implementación sistemática pero flexible se constituyó en la primera etapa del complejo proceso constituido posteriormente por el diseño, desarrollo e implementación iterativa en contextos de práctica reales, con la colaboración directa o indirecta a partir de las observaciones realizadas de los equipos de investigación de cada país. Si bien cada equipo disciplinar trabajó con cierto grado de independencia, se acordaban estrategias y se realizaban permanentes encuentros virtuales para poner a punto aspectos de la remotización, especialmente con los colegas de Costa Rica que ya tienen una vasta trayectoria en este aspecto.

En forma sintética se pueden identificar durante el proceso de desarrollo del proyecto las siguientes etapas: a) diagnóstico y múltiples espacios formativos; b) selección temática, diseño y desarrollo de laboratorios remotos; c) construcción de propuestas didácticas asociadas; d) comunicación de avances del proyecto en múltiples instancias académicas. Es de interés resaltar que excepto el diagnóstico, que se constituyó en una de las primeras actividades del proyecto, durante los meses siguientes las otras etapas se desarrollaron en forma concurrente. Para el diagnóstico se analizaron los entornos de aprendizaje, las prácticas experimentales que se llevan adelante, las necesidades educativas y el conocimiento y uso de laboratorios remotos. Principalmente con estos insumos y con la experiencia de los equipos de investigación participantes, se identificaron las áreas de vacancia para cada disciplina. Las principales herramientas utilizadas fueron cuestionarios, entrevistas semiestructuradas con informantes clave, observación no participante, análisis de documentos, paneles con expertos y espacios académicos de intercambio en las diferentes instancias formativas. El plan de trabajo plantea así la integración ubicua de diferentes estrategias para enseñar la naturaleza experimental de las ciencias naturales, con el propósito de identificar y seleccionar recursos digitales que permitan generar innovaciones didácticas en la educación científica.

Durante la etapa de validación del primer ciclo (año 1), al mismo tiempo que se seleccionaron las prácticas experimentales a desarrollar, se comenzó con el análisis de los principios técnicos para el diseño general de secuencias didácticas que incluyen LR y se fueron adecuando las mismas con la flexibilidad que facilitara su aplicación tanto en el nivel medio superior como en formación docente y cursos básicos universitarios. En paralelo a las etapas de desarrollo y validación del año 1, se trabajó con el desarrollo técnico de los nuevos LR para áreas de vacancia identificadas en el diagnóstico (montaje). Para esta tarea participaron además tecnólogos y desarrolladores que forman parte del grupo de investigación.

Durante el segundo ciclo (año 2) de validación, el foco estuvo en la implementación y adecuación de las secuencias didácticas con los nuevos LR atendiendo a los principios generales para el diseño, entendidos como insumos provenientes

de la etapa de validación del primer ciclo. La implementación durante el segundo año inaugura nuevas formas de trabajo innovadoras para el contexto de Uruguay y Argentina, tanto en el nivel medio como en el terciario (formación docente y universidad).

En la etapa de validación del año 2, a través del análisis de los resultados, se ajustaron las secuencias y se introdujeron mejoras necesarias en los LR diseñados. El análisis de los datos de cada uno de los ciclos permite ir evaluando y corrigiendo la práctica, mientras que el análisis retrospectivo, contribuyó a la generación de un modelo teórico más general como el modelo del Laboratorio Extendido, que incluye una serie de principios generales para el diseño de la enseñanza de las ciencias naturales con actividades experimentales en contextos digitales.

La integración del equipo por docentes e investigadores, permitió una genuina contextualización, así como favoreció la apropiación didáctica de los productos desarrollados. El compromiso y participación en numerosos eventos académicos de discusión y análisis compartidos con los integrantes del equipo de investigación y expertos europeos permitieron identificar múltiples aportes de los laboratorios remotos para la educación científica. En consecuencia, los aportes en términos metodológicos y de resultados, despertaron un alto interés en la comunidad académica de la región e internacional.

### **Resultados, análisis y discusión**

Los laboratorios desarrollados fueron embebidos en la red global de laboratorios remotos LabsLand (<https://labsland.com/es>), que conecta instituciones con equipos ubicados en todo el mundo. Estos equipos son reales, no simulados y con acceso a través de un navegador web. Los equipos de investigación de las instituciones participantes gestionarán acceso gratuito a los docentes y respectivos grupos que lo soliciten de los países participantes a los Laboratorios Ultraconcurrentes desarrollados en el proyecto.

Los docentes interesados en integrar los LR a sus prácticas educativas, solicitarán el acceso al uso de los laboratorios remotos a través de un espacio diseñado para este fin en las páginas web institucionales, el Consejo de Formación en Educación (CFE) en el caso de Uruguay.

A continuación se describen cada uno de los laboratorios desarrollados en el proyecto en las tres disciplinas involucradas (biología, física y química).

Laboratorio Ley de Snell. Este laboratorio se desarrolló para enseñar y aprender conceptos de óptica geométrica como el índice de refracción y la reflexión total interna. Durante el experimento el usuario puede elegir un medio (acrílico, agua o aceite) y la configuración de la lente (normal o invertida). Seguidamente podrá observar un goniómetro o disco de óptica con la lente elegida, y podrá aumentar o disminuir el ángulo de incidencia de la luz sobre la lente cada  $10^\circ$ . A medida que transcurre el experimento el estudiante puede ver el comportamiento del rayo de luz que atraviesa la lente y tomar las medidas de los ángulos de incidencia y refracción.

Laboratorio Ácido Base III. En este laboratorio el usuario puede realizar una valoración ácido-base para encontrar la concentración desconocida de un ácido fuerte utilizando como titulante una base fuerte. El usuario podrá elegir entre dos opciones: colorimétrica o potenciométrica. En la primera versión, se presenta una pantalla con el vaso de precipitados que contiene la disolución de concentración desconocida, y otra pantalla donde se muestra la bureta. En la segunda versión se presentan las mismas pantallas, pero la diferencia es que en la pantalla donde se muestra el vaso de precipitados también se muestra la interfaz que mide el pH de la disolución. En la configuración del experimento, el usuario puede elegir entre dos tipos de valorante y tres distintas incógnitas.

Laboratorio Campo magnético. En este laboratorio el usuario puede medir el valor del campo magnético creado por un conductor recto por el que circulan distintas intensidades de corriente eléctrica, a través de un sensor móvil a medida que cambia la distancia al conductor. En la configuración del experimento el usuario podrá elegir entre cuatro intensidades de corriente distintas. Seguidamente, el usuario podrá observar una pantalla que muestra una regla por donde se desplaza el sensor móvil y otra pantalla donde se muestra la interfaz que registra los valores de campo magnético. De este laboratorio hay dos versiones: una con gráfica y otra sin gráfica.

Laboratorio Respiración Celular. En este laboratorio el usuario podrá medir la concentración de CO<sub>2</sub> dentro de una cámara sellada conteniendo semillas. En el mismo podrá elegir el medio en el cual realizar la medición (dormantes, previamente tratadas a pH 7 o pH 5). Podrá observar en una pantalla el montaje experimental y la pantalla de la interfaz con el registro de la concentración de CO<sub>2</sub> a medida que transcurre el experimento. De este laboratorio hay dos versiones: una con gráfica y otra sin gráfica.

Autores de referencia (Martín del Pozo, 1994; Merino, 1998; Gagliardi, 1986, 2008, Aguilar, 2012), señalan que incluir conceptos estructurantes en la enseñanza de la disciplina, favorece propuestas didácticas integradoras que permiten establecer redes de relaciones, promoviendo una transformación cognitiva hacia una nueva estructura conceptual que

potencia los aprendizajes. Las secuencias didácticas asociadas a los LR constituyen una alternativa innovadora, que ofrecen tiempos de análisis para responder a preguntas orientadoras, espacios de elaboración escrita que abonan a la construcción de redes conceptuales para ajustar, modificar o reelaborar una definición teórica, resultando en una metodología potente y más ajustada a las nuevas perspectivas de la didáctica de la ciencia.

El Laboratorio de Ley de Snell fue diseñado para enseñar conceptos de óptica geométrica y realizar actividades experimentales que particularmente en este campo conceptual resultan fundamentales. Este laboratorio permite la selección de tres dioptrios: acrílico - aire, agua - aire y aceite - aire. La posibilidad de definir el medio de incidencia promueve el desarrollo de procedimientos intelectuales vinculados a la movilización de modelos disciplinares, y de procedimientos sensoriomotores relacionados a los procesos de medición. Se procura que a partir de los resultados obtenidos los estudiantes puedan realizar predicciones con fundada argumentación. Es de interés resaltar que los contenidos que se pueden trabajar en este laboratorio forman parte de los diseños curriculares de la educación obligatoria y de planes de estudio de diversas carreras de nivel superior. En este sentido, la comprensión de estos fenómenos ópticos es fundamental para comprender gran parte del actual sistema de telecomunicaciones.

La selección temática para el desarrollo del Laboratorio Remoto de Campo Magnético se sustentó en que los conceptos de campo y fuentes de campo magnético constituyen conceptos relevantes en la construcción de un modelo científico que explique los fenómenos electromagnéticos, además de sus implicancias para comprender múltiples y variadas aplicaciones tecnológicas. Diversas investigaciones concluyen que los estudiantes presentan dificultades para identificar y relacionar las distintas fuentes del campo magnético, tales como imanes y corrientes (Guisasola, Almudí y Ceberio, 2003). Además, se destaca la confusión entre las fuentes de campo eléctrico y magnético. Muchos estudiantes no comprenden la diferencia entre el campo electrostático y el campo magnético estacionario, y recurren a un modelo de analogía eléctrica en las explicaciones dadas ante fenómenos magnéticos que identifica de forma incorrecta a la carga eléctrica como fuente de ambos campos (eléctrico y magnético), independientemente de su estado de reposo o movimiento (Maloney et al., 2001; Guisasola, Almudí y Zubimendi, 2003). La construcción de un modelo teórico consistente con la teoría electromagnética requiere que el estudiante se familiarice a nivel macroscópico con fenómenos relacionados con las fuentes del campo magnético. En este sentido, debería reconocer que tanto los imanes como las cargas eléctricas en movimiento producen campos magnéticos. Además, se espera que pueda distinguir el campo eléctrico creado por cargas eléctricas en reposo del campo magnético creado por cargas en movimiento (Guisasola, Almudí y Zubimendi, 2003).

En el caso del Laboratorio Remoto de Respiración Celular, uno de los aspectos que se tomó en cuenta para la selección del tema y el diseño de la experimentación y su remotización, fue considerar el concepto de respiración celular como estructurante para el campo de las ciencias biológicas y por supuesto, la factibilidad de desarrollar un experimento remotizable. La respiración celular es un claro ejemplo de un proceso biológico que se explica por el nivel molecular subyacente, lo cual evidencia la dominación del nivel macroscópico por el nivel microscópico determinando su calidad de concepto estructurante en Biología (Gagliardi, 1986). Uno de los principales obstáculos epistemológicos para el aprendizaje del concepto de respiración es establecer la relación entre el nivel microscópico y el macroscópico. Se han descrito además otros obstáculos como: asignar funciones purificadoras a la respiración y al oxígeno, considerar que el oxígeno es fuente de energía, desarticular la respiración de otros procesos celulares y del organismo, considerar la respiración como intercambio de gases, la génesis del dióxido de carbono y del agua en el proceso de la respiración, usar analogías en la explicación de la respiración y lenguajes cotidianos para referirse a procesos bioquímicos y dificultad en el uso del lenguaje especializado (Tamayo Alzate et al., 2014). Cuando el énfasis está en los productos de la ciencia el sustento empírico de los conocimientos científicos suele quedar invisibilizado, sin conexión con el mundo de los fenómenos (Gellon et al., 2005). Para mejorar la enseñanza de la ciencia y que se aproxime más a las formas de construcción de conocimiento científico, Gellon et al. (2005) proponen una secuencia de enseñanza en base a "observación del fenómeno-construcción de la idea a partir de una experiencia o práctica de laboratorio- modificación o ajuste de la terminología en base a las observaciones e ideas".

El Laboratorio Remoto Valoración Ácido-Base fue seleccionado en concordancia con la evidencia didáctica que indica que el abordaje de este contenido plantea múltiples desafíos para el aprendizaje de la química. Se requiere, entre otros aspectos, que los estudiantes logren integrar varios conceptos de química general y el análisis de gráficos, cuya dificultad en el nivel universitario asociado a la valoración ha sido documentada por Idoyaga et al., (2020). En este sentido, muchos estudiantes pueden entender la primera parte de una curva de valoración como el resultado de una simple mezcla de sustancias, debido a que los cambios de pH son sutiles y se hacen recién evidentes cerca del punto final de la valoración (Sheppard, 2006). Además, se ha registrado el empleo de forma errónea e indiscriminada de los conceptos de reacción ácido-base y neutralización (Alvarado-Zamorano et al., 2013). En general, en los cursos terciarios de química general se dedica poco tiempo a la enseñanza de la valoración ácido-base, y por ende, puede entenderse como algo simple si no se

profundiza en los conceptos asociados. La actividad experimental representa una alternativa potente a las clases magistrales que permitiría un nivel de profundización adecuado (Idoyaga y Maeyoshimoto, 2018). Esta tecnología permite aumentar el tiempo y la cantidad de prácticas experimentales de valoración ácido-base, aumentar la autonomía de los estudiantes, descontinuar los protocolos tipo receta, trabajar con gráficos y otras representaciones propias de la valoración y, dado su carácter agnóstico, abordar distintas temáticas disciplinares (sistemas materiales, soluciones, pH) favoreciendo la integración y reconfiguraciones conceptuales.

El uso de tecnologías constituye una oportunidad para replantear la enseñanza de las ciencias naturales, procurando recuperar la actividad experimental especialmente cuando la enseñanza se realiza en modalidad virtual, no se cuenta con el equipamiento adecuado o se trata de clases masivas. En este sentido, los LR constituyen una alternativa innovadora, accesible, inclusiva y adecuada para el rediseño de las actividades experimentales reales en entornos digitales.

La sostenibilidad de toda propuesta de innovación en la enseñanza requiere de la convicción del profesorado. Este posee un conocimiento específico sobre la disciplina y su enseñanza y, continuamente toma decisiones que influyen en el diseño y los alcances de la educación formal. En este proyecto resultaron actores claves los profesores de educación media, formación docente y universitarios que participaron en todas las etapas del proceso, favoreciendo el logro de productos de innovación y especialmente su genuina inclusión en las aulas.

### **Conclusiones y recomendaciones**

En Uruguay la inclusión de laboratorios remotos para la realización de prácticas experimentales constituye una innovación educativa de alto impacto. Los productos del presente proyecto no solo resultan relevantes y con potencia didáctica para la enseñanza de las ciencias naturales, sino que constituyen un hito que los identifica como necesarios para el desarrollo de prácticas experimentales, tanto en el nivel de educación media como en el nivel terciario.

Los laboratorios remotos por una parte emulan la práctica de enseñanza de trabajos experimentales que difícilmente se pueden concretar en los tiempos de aula, así como también pueden extender el tiempo pedagógico a través de una propuesta de enseñanza en línea para todas las modalidades de enseñanza (presenciales, virtuales e híbridas).

En Uruguay esta innovación cobra particular importancia dado que el país cuenta desde hace décadas con una modalidad de formación docente semipresencial (híbrida). En esta modalidad sostener el carácter experimental de las disciplinas naturales es un desafío insoslayable que debe ser atendido del modo más urgente. Además permitiría fortalecer la enseñanza de las ciencias naturales dada la escasa disponibilidad de infraestructura e insumos de laboratorios en las instituciones educativas.

Para Costa Rica, este proyecto potencia la línea de investigación en LR y el sustento pedagógico que orienta el trabajo práctico de aula, fortaleciendo la educación científica en una Universidad que presenta un programa de formación similar a la modalidad semipresencial de Uruguay.

Para Argentina representa una oportunidad de profundización en la tradición didáctica y de ampliación en las prácticas educativas mediadas por tecnologías digitales. Especialmente resulta verdaderamente potente para los cursos básicos masivos en los primeros años universitarios. Además, las acciones realizadas permitieron la prosecución de estudios de posgrado de algunos de los investigadores participantes, lo que redundará en nuevo conocimiento y aportes sobre esta línea de intervención educativa, desarrollo profesional docente e investigación educativa que se inicia en América Latina.

Los productos desarrollados hacen posible la implementación de prácticas experimentales con materiales e insumos que difícilmente están disponibles, favoreciendo así la inclusión e igualdad de oportunidades, potenciando la escuela extendida y realizando un importante aporte de recursos tecnológicos con destino a estudiantes de educación media, docentes y estudiantes de formación docente. Además esta propuesta procura dar mayor profundidad conceptual y disciplinar en el campo del aprendizaje de las ciencias naturales.

Para lograr una educación científica de calidad es necesario además que la incorporación de laboratorios remotos trascienda un uso instrumental y se asocien con propuestas con sustento didáctico que potencien su inclusión para favorecer un aprendizaje profundo (Fullman et al., 2019). Por otra parte, los productos generados presentan tal versatilidad y adaptabilidad que son factibles de ser adecuados al contexto no solo del nivel educativo, sino también de cada grupo y ambiente de aprendizaje. Su disponibilidad permitirá así modificaciones y adecuaciones a situaciones educativas particulares, diseñar capacitaciones para profesores de ciencias y secuencias didácticas que fomenten el aprendizaje de las ciencias naturales mediado por tecnologías, al tiempo que favorezcan la apropiación de éstas para un uso crítico y creativo.

La profundización teórica y tecnológica que llevaron adelante los integrantes del presente proyecto ofrece bases sólidas para el desarrollo de nuevas investigaciones y para el uso didáctico de los laboratorios remotos, así como del modelo de

laboratorio extendido como sustento teórico para todos los niveles educativos. En este sentido, ya se están esbozando algunos enfoques investigativos que profundizan el diálogo con líneas de investigación consolidadas como como Naturaleza de la Ciencia (NOS), Enseñanza Multi-representacional (MER) y Conocimiento Didáctico y Tecnológico del Contenido (TPACK).

El equipo de investigación está ampliamente satisfecho con los productos logrados y con el impacto que ha tenido en la comunidad de docentes a nivel nacional, regional y especialmente internacional; en particular con el desarrollo de laboratorios en dos disciplinas con alto grado de vacancia: química y biología. Este proyecto se constituyó en una oportunidad concreta para inaugurar el desarrollo de Laboratorios Remotos desde una perspectiva didáctica en Uruguay, y la formación de recursos humanos que aborden esta línea de trabajo y que cuenten con la cotutela de investigadores de distintos países de iberoamérica con profusa trayectoria en este campo de conocimiento.

En este marco se realizaron aportes a la didáctica de las ciencias naturales en lo que refiere al empleo y las condiciones de uso de los Laboratorios Remotos (LR) mediante el desarrollo de la IBD en el aula. A medida que se incluyan los LR en las prácticas educativas se podrá establecer continuidades con las prácticas tradicionales e identificar requisitos específicos para ser implementados de manera virtual, de modo de asegurar una educación inclusiva y de calidad.

Se relevaron además múltiples insumos que aportan al conocimiento comparativo entre las comunidades educativas de latinoamérica, que se encuentran en proceso de sistematización. Tanto para Uruguay como para Argentina, y seguramente para casi todos los países de latinoamérica, los laboratorios remotos desarrollados constituyen un aporte de alta relevancia, ya que no se cuenta con este tipo de recursos digitales inmersos en una propuesta didáctica diseñada especialmente para el nivel medio y terciario.

La consolidación de un equipo de investigación interdisciplinario de profesores de dos niveles educativos e investigadores que se especializan en la didáctica de las ciencias naturales en tres disciplinas, y provenientes de diferentes instituciones de Argentina, Costa Rica y Uruguay, constituye una oportunidad única de trabajo colaborativo que se proyecta para elaborar nuevas investigaciones e intervenciones didácticas en forma conjunta.

Las características demográficas de Uruguay y la conectividad que alcanza a la totalidad de las instituciones educativas lo convierte en el territorio ideal para dar concreción a los productos, con inmensas posibilidades de ser escalados, anticipando a través del interés evidenciado en los espacios formativos y de comunicación académica, el efecto multiplicador entre las comunidades de Uruguay, de la región y de otros países de habla hispana. Esta posibilidad de amplificación de los resultados puede describirse en diferentes dimensiones, convergentes y complementarias, con potencial de retroalimentarse entre ellas, mediante: a) replicación de las propuestas de enseñanza que incluyen laboratorios remotos en otras asignaturas e instituciones relacionadas y de características semejantes con las instituciones participantes del proyecto; b) adaptación de las propuestas de enseñanza que incluyen laboratorios remotos para la enseñanza de asignaturas en otras instituciones y países; c) divulgación de los laboratorios remotos y nuevos diseños en un territorio más amplio; d) implementación de cursos y talleres de capacitación docente en el uso de laboratorios remotos con propuestas para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias naturales, para nuevos colectivos docentes de diferentes instituciones y países.

Los productos desarrollados serán rápidamente transferidos a la comunidad científica y académica de la región a través de redes institucionales en las cuales participan los integrantes del equipo de investigación: Asociación de Educadores en la Química de la República Argentina (ADEQRA), Asociación de Profesores de Física de Argentina (APFA), Asociación de Profesores de Física, Química y Biología del Uruguay (APFU, ADQ, APB), Consorcio de Grupos de Investigación en Educación Científica (CONGRIDEC), Red de Educación Científica y Género (REDCIGEN), Red Latinoamericana de Educación Científica (REDLAD), Sociedad de estudios comparados en educación (SAECE), Cátedra UNESCO de Educación científica para América Latina y el Caribe, Asociación Iberoamericana Docencia Universitaria (AIDU), Red Investiga CONARE, Red LANENT.

El aporte del presente proyecto ha procurado iniciar un proceso que puede resolver el problema genuino y altamente demandado como necesario por la comunidad educativa: la escasez de actividades experimentales en la enseñanza de las ciencias en todos los niveles educativos. Este problema inicialmente intuitivo en base a la experiencia docente del equipo, quedó en evidencia tanto en el diagnóstico inicial del presente proyecto, como en el interés masivo de estas herramientas en los espacios de comunicación, divulgación y formación. Esta situación confiere una alta factibilidad de adopción y escalabilidad en las prácticas educativas, tanto en formación docente (presencial, y particularmente semipresencial), como en las aulas universitarias con alta numerosidad de estudiantes, y en educación media con la posibilidad de acceso a instrumental no disponible.

## Referencias bibliográficas

- Aguilar, C. (2012). Los conceptos estructurantes de Ecología como fundamento conceptual y metodológico de la Educación Ambiental. *Extramuros, revista de la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, Chile*, 67-84.
- Alvarado-Zamorano, C., Mellado, V. y Garritz, A. (2013). Dificultades en el aprendizaje de acidez y basicidad y el conocimiento didáctico del contenido de profesores mexicanos de Bachillerato. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas, (Extra)*, 107-112. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/305977>
- Aramburu Mayoz C., Da Silva Beraldo A., Villar-Martinez A.Rodríguez-Gil L. , Moreira de Souza Seron W., Oliveira T., Orduña P. (2020). FPGA Remote Laboratory: Experience in UPNA and UNIFESP. In: Auer M., May D. (eds) *Cross Reality and Data Science in Engineering. REV 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 1231. Springer, Cham.[https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0_9)
- Arguedas-Matarrita, C.; Orduña, P.; Concari, S.; Elizondo, F.U.; Rodríguez Gil, L.; Hernández, U.; Carlos, L.M.; Conejo-Villalobos, M.; da Silva, J.B.; García Zubia, J. (2019). Remote experimentation in the teaching of physics in Costa Rica: First steps. En: *Proceedings of the 2019 5th Experimental International Conference, Madeira, Portugal*.
- Da Silva, J.B. Rochadel, W. Simão, J.P. Marcelino, R. y Gruber, V. (2013). Using Mobile Remote Experimentation to Teach Physics in Public School. En *ICBL2013 – International Conference on Interactive Computer aided Blended Learning*. Recuperado de [http://www.icblconference.org/proceedings/2013/papers/Contribution16\\_a.pdf](http://www.icblconference.org/proceedings/2013/papers/Contribution16_a.pdf)
- Fullman, M., Quinn J. & Mceachen J. (2017). *Deep Learning. Engage the World Change the World*. Corwin.
- Gagliardi, R. (1986). Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 4(1), 30-35.
- Gagliardi, R. (2008). Enseñar Biología: para qué, cómo, cuándo? Algunos elementos de la didáctica de la Biología. *Memorias, V Encuentro Nacional de Experiencias en Enseñanza de la Biología y la Educación Ambiental. Colombia*
- García-Zubía, J., Romero, S., Guenaga, M., Hernández-Jayo, U., Angulo, I., Cuadros, J., González-Sabaté, L., Orduña, P., Dziabenko, O., y Rodríguez-Gil, L. (2014). Experiencia de Uso y Evaluación de VISIR en Electrónica Analógica. Presentando en: *XI congreso de Tecnologías, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica –TAEE 2014, 11-13 de junio, Bilbao, España*.
- Gellon, G.; Rosenvasser, E.; Furman, M. y Golombek, D. (2005). *La ciencia en el aula*. Buenos Aires: Paidós.
- Guisasola, J., Almudí, J. M., & Ceberio, M. (2003). Concepciones alternativas sobre el campo magnético estacionario: Selección de cuestiones realizadas para su detección. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(2), 281-293.
- Guisasola, J., Almudí, J. M., & Zubimendi, J. L. (2003). Dificultades de aprendizaje de los estudiantes universitarios en la teoría del campo magnético y elección de los objetivos de enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 79-94.
- Idoyaga, I. y Maeyoshimoto, J. (2018). Las actividades experimentales simples: una alternativa para la enseñanza de la física. En G. Lorenzo, H. Odetti y A. Ortolani (Eds.), *Comunicando la Ciencia. Avances en investigación en Didáctica de la Ciencia*, 55-68. Ediciones UNL.
- Idoyaga, I., Capuya, F., Dionofrio, J., López, F., Moya, C.N., (2020). Enseñanza remota de emergencia de la química para grandes grupos. *Revista de Educación en la Química*, 26 (2).
- Maloney, D. P., O’Kuma, T. L., Hieggelke, C. J., & Van Heuvelen, A. (2001). Surveying students’ conceptual knowledge of electricity and magnetism. *Phys. Educ. Res., American Journal of Physics Suppl.*, 69 (7), pp. 12-23.

Merino, G. (1998). Enseñar ciencias naturales en el tercer ciclo de la EGB. Buenos Aires: Aique

Martín del Pozo, Rosa (1994), "El conocimiento del cambio químico en la formación inicial del profesorado. Estudio de las concepciones disciplinares y didácticas de los estudiantes de magisterio", Tesis doctoral, Universidad de Sevilla, en [http://fondosdigitales.us.es/thesis/index\\_html](http://fondosdigitales.us.es/thesis/index_html) [Consulta: jul. 2009]

Shepard, Lorrie A. (2006). "Classroom Assessment", en Brennan, 2006:623-646.

Tamayo Alzate, O.; Orrego Cardozo, M. y Dávila, R. (2014). Modelos explicativos de estudiantes acerca del concepto de respiración. Biografía: escritos sobre biología y su enseñanza. Vol. 7 - No.13, julio - diciembre de 2014 - ISSN 2027-1034. pp. 129 - 145.

Zamora, R. (2012). Laboratorios Remotos: Actualidad y tendencias futuras. Scientia et technica, 17(51), 113-118.

### **Licenciamiento**

Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. (CC BY-NC-ND)