

Impacto de los laboratorios remotos ultra concurrentes para el desarrollo de la actividad experimental en química

Fiorella Lizano-Sánchez¹, Eric Montero-Miranda², Ronald Sánchez-Brenes³ & Carlos Arguedas-Matarrita⁴

1. Universidad Estatal a Distancia, Vicerrectoría Académica, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Laboratorio de Experimentación Remota, 474-2050 San José, Costa Rica; flizanosan@uned.ac.cr
2. Universidad Estatal a Distancia, Vicerrectoría Académica, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Laboratorio de Experimentación Remota, 474-2050 San José, Costa Rica; emonterom@uned.ac.cr
3. Universidad Estatal a Distancia, Vicerrectoría Académica, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Laboratorio de Investigación en Ciencias Experimentales, 474-2050 San José, Costa Rica rsanchez@uned.ac.cr
4. Universidad Estatal a Distancia, Vicerrectoría Académica, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Laboratorio de Experimentación Remota, 474-2050 San José, Costa Rica carguedas@uned.ac.cr

Introduction: The teaching of chemistry has challenges due to students having difficulties in different topics. Therefore, it became necessary to develop new pedagogical strategies to improve student performance. This was most notable during the COVID-19 pandemic, where the need for different options where students could have access to real data-based laboratory experience to develop analytical and observational skills became apparent. A working group from the Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica developed chemistry remote laboratories in 2020. A total of 63 613 uses have been registered in institutions from different countries, accessed through LabsLand. **Objective:** Systematise the usage statistics of ultra-concurrent remote chemistry laboratories in different educational contexts in order to determine the impact they have had on chemistry. **Methods:** We systematised the data available in LabsLand, such as the number of sessions, students and institutions over the last three years, and searched for articles focused on the use of these laboratories. **Results:** It was determined that Boyle's law is the most used remote laboratory, there have been 6 publications on ultra-concurrent chemistry laboratories, remote laboratories have increased the internationalisation of different universities with the development of projects involving the participation of different countries. **Conclusions:** There is evidence of the impact of ultra-concurrent chemistry laboratories by the increase of uses after the pandemic. The work shows the interest of teachers in including these laboratories in their experimental activities. Collaboration with other countries increased the possibility of expanding the use of remote laboratories internationally.

Key words: Ultra concurrent laboratories, experimental work, skills, distance education, emergency remote teaching.

RESUMEN: Introducción: La enseñanza de química tiene desafíos debido a que los estudiantes presentan dificultades en distintos temas. Por esto, fue necesario desarrollar nuevas estrategias pedagógicas para mejorar el rendimiento de los estudiantes, lo que fue más notable durante la pandemia de COVID-19, donde se generó la necesidad de contar con diferentes opciones donde los estudiantes pudieran acceder a una experiencia de laboratorio basada en datos reales que permita desarrollar habilidades analíticas y de observación. Un grupo de trabajo de la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica desarrolló en 2020 laboratorios remotos química. Se han registrado 63 613 usos en diferentes países, que acceden a través de *LabsLand*. **Objetivo:** Sistematizar las estadísticas de uso de laboratorios remotos ultra concurrentes de química en distintos contextos educativos con el fin de determinar el impacto que han tenido. **Métodos:** Se sistematizaron datos de uso disponibles en *LabsLand* de los últimos tres años, además, se buscaron algunos artículos enfocados en el uso de estos laboratorios. **Resultados:** Se determinó que Ley de Boyle es el laboratorio más utilizado, se han realizado 6 publicaciones sobre laboratorios ultra concurrentes de Química, los laboratorios remotos han aumentado la internacionalización de distintas universidades con el desarrollo de proyectos que involucran la participación de distintos países. **Conclusiones:** Existe evidencia del impacto de estos laboratorios por el aumento de usos tras la pandemia. Los

trabajos muestran el interés de docentes por incluirlos en sus actividades experimentales. La colaboración con otros países aumentó la posibilidad de expandir su uso a nivel internacional.

Palabras clave: Laboratorios ultra concurrentes, trabajo experimental, habilidades, educación a distancia, enseñanza remota de emergencia.

INTRODUCCIÓN

Diversos estudios señalan que el aprendizaje de las ciencias naturales tanto en secundaria como a nivel superior presenta un alto grado de dificultad (Guevara & Valdéz, 2004; Nakamatsu, 2012), los bajos rendimientos de las asignaturas manifiestan dicha dificultad. En el caso de química el estudiante debe ser capaz de relacionar el mundo macroscópico con un mundo submicroscópico que se basa en átomos y moléculas, muchos encuentran unos temas más difíciles que otros, como, por ejemplo: disoluciones, equilibrio químico, disoluciones buffer, estequiometría, entre otros (Cárdenas, 2006). Esto hace necesario promover en todos los niveles educativos la habilidad de comprender y analizar las características de un sistema.

Las prácticas en el laboratorio son reconocidas como una opción para la enseñanza de temas relacionados al área científica (Idoyaga, 2022). Sin embargo, la enseñanza de las ciencias presenta dos problemas pedagógicos en la práctica de laboratorio: el primero, es que muchos profesores centran la enseñanza en la transmisión de conocimientos teóricos mientras la experimentación está ausente, y el segundo, que la experimentación se reduce a actividades ilustrativas de los conocimientos teóricos con el fin de acoplar la teoría con la actividad experimental (Marin-Quintero, 2010).

A partir de este planteamiento se encuentra una necesidad de realizar cambios en las prácticas pedagógicas que involucre a los estudiantes en distintas experiencias con el fin de fortalecer sus habilidades en el área científica (Montero-Miranda et al., 2023), Antes de la pandemia las actividades experimentales en el área de la química estaban casi condicionadas a ser solo presenciales; sin embargo, durante este acontecimiento se evidenció la necesidad de tener otro tipo de actividades que permitan cambiar la forma de la enseñanza tradicional, de manera que el estudiante no tenga que movilizarse a un laboratorio, es decir, que pueda acceder de manera virtual o remota.

En medio del escenario que se vivió con la pandemia se planteó la Educación Remota de Emergencia (ERE) que inicialmente era solo una estrategia temporal con el fin de garantizar la continuidad pedagógica mediante el aprendizaje a distancia (Hodges et al., 2020). Si bien, este modelo permitió mantener la educación de una manera no muy robusta, ésta propuesta estableció el inicio de la utilización de recursos tecnológicos que permitieron mejorar las prácticas de enseñanza aún después de la pandemia (Idoyaga et al., 2020b).

Uno de estos recursos con mayor relevancia en la actividad experimental en escenarios de postpandemia son los Laboratorios Remotos (LR), que tratan de recursos que permiten a los estudiantes acceder a un experimento a través de Internet, sin necesidad de desplazarse a un espacio físico. Si bien, éstos existen desde antes de la pandemia, fue durante este acontecimiento que sus usos aumentaron significativamente, y además demostraron la importancia de tener recursos alternativos a la presencialidad (Arguedas-Matarrita et al., 2021). En este sentido, en el área de la química no existían muchos laboratorios remotos; sin embargo, la pandemia generó la necesidad a través de la demanda de estos recursos, que permitieron adaptar la

enseñanza de la química a espacios virtuales, y es aquí donde se desarrollan laboratorios ultra concurrentes como Ácido Base I, Ley de Boyle, Ley de Gay-Lussac y Ácido Base II.

El objetivo de este trabajo fue sistematizar las estadísticas de uso de los Laboratorios Remotos ultra concurrentes de química en distintos contextos con el fin de determinar el impacto que han tenido en la educación a nivel superior, mediante el análisis de las estadísticas de uso disponibles en *LabsLand*, así como, las publicaciones que se han realizado sobre este tipo de laboratorios.

LABORATORIOS REMOTOS

Ampliando un poco la definición de los LR, estos consisten en un conjunto de tecnologías *Hardware* y *Software* que permiten a estudiantes y profesores llevar a cabo un experimento a través de Internet, de la misma manera que si se realizara de forma presencial (Arguedas et al., 2019). Estos se clasifican en laboratorios en tiempo real (LTR) y laboratorios ultra concurrentes (LU). En el primer caso, el usuario realiza un experimento el cual está generando medidas en tiempo real, es decir, manipula el equipo de manera sincrónica mientras el estudiante observa los fenómenos a través de una cámara web; en el segundo caso, se presentan experimentos pregrabados con equipo real y que genera datos reales, que con el desarrollo *Software* y *Hardware* adecuado, el usuario puede replicar la experiencia tal cual ocurriría en un laboratorio presencial. A diferencia de los LTR éstos permiten que un gran número de personas accedan al mismo tiempo a la experiencia (Narasimhamurthy et al., 2020).

Una de las ventajas que brindan estos LR es que se pueden acceder a cualquier hora y en cualquier lugar. Además, el acceso es seguro y de bajo riesgo (Alves et al., 2018), disminuyen el costo de reactivos (Montero, 2022), así como, los tiempos de espera para operar un determinado equipo dependiendo de la cantidad disponible y evita retrasos por averías de equipos (Idoyaga et al., 2020a). En consecuencia, permite ahorrar tiempo y costos en los desplazamientos de los estudiantes (Montero, 2022). Por otro lado, estos recursos requieren de una plataforma que permita alojar los desarrollos existentes. Dichos espacios en la *web* deben de tener la capacidad instalada para soportar tantos desarrollos como sea posible. *LabsLand* es una empresa de tecnología educativa que desarrolla LR y que conecta a diversas instituciones educativas alrededor del mundo con recursos disponibles en distintas latitudes a través de Internet.

Como se ha mencionado, antes de la pandemia los LR en las áreas de física (Arguedas et al., 2019) e ingeniería (Ortelt et al., 2021) eran los recursos más comunes, teniendo pocos desarrollos en la química, ya que las actividades experimentales que se realizan en esta área no son reversibles a diferencia de física donde se puede regresar al estado inicial del experimento. En el 2019 se realizó el primer LU de química (Pokoo-Aikins et al., 2019), el cuál, se basó en un experimento de difusión y fue desarrollado por un grupo de la Universidad de Georgia en colaboración con *LabsLand*. Este grupo aprovechó la oportunidad de desarrollar una experiencia remota de química a través de este tipo de laboratorios (potenciado por las necesidades educativas que surgieron durante la pandemia), ya que, por la naturaleza de este tipo de LR, es posible desarrollar procesos reversibles que puedan replicarse muchas veces.

Para el 2020, el grupo del Laboratorio de Experimentación Remota (LER) de la Universidad Estatal a Distancia (UNED) en colaboración con *LabsLand* desarrollaron el segundo LU de química, el laboratorio de Ácido-Base I, el cual, revolucionó la forma de enseñar el componente experimental de la química. En el mismo año se trabajó

en los LU de Ley de Boyle y Ley de Gay-Lussac, y en el 2022 se desarrolló el laboratorio Ácido Base II en colaboración con la Universidad de Buenos Aires (Arguedas-Matarrita et al., 2022).

DESCRIPCIÓN DE LOS LABORATORIOS ULTRA CONCURRENTES DE QUÍMICA

Laboratorio de Ácido-Base I:

Este laboratorio permite al usuario llevar a cabo una valoración ácido-base utilizando Hidróxido de Sodio como titulante y Ácido Cítrico como analito. La interfaz cuenta con tres etapas: introducción, configuración y observación. En la primera, se presenta un video que guía al usuario por la experiencia que está por llevar a cabo; en la segunda, el usuario tiene la opción de elegir entre tres analitos de concentración desconocida; y en la última etapa, se observan dos pantallas, una que contiene la interfaz para la recolección de datos y otra que muestra el equipo completo (bureta, frasco de precipitados, sensor de pH, pastilla de agitación e interfaz) (Fig. 1). Al iniciar la experiencia, se da un cambio de pantalla (del equipo completo, a la derecha) por un primer plano del frasco de precipitados que contiene el analito, donde posteriormente se observará el cambio de color característico del punto final (dado por la fenolftaleína). Además, conforme se agrega volumen de titulante se construye una gráfica al avanzar el experimento con cada adición de volumen de titulante. Finalmente, el usuario tiene la opción de descargar los datos en bruto al terminar el experimento para la construcción de la gráfica y su análisis respectivo (Arguedas-Matarrita et al., 2021).



Figura. 1 Interfaz del laboratorio de Ácido Base I disponible en *LabsLand*.

Laboratorio de Ley de Boyle:

En este caso el usuario puede relacionar el volumen con la presión de un gas. Al igual que el anterior este laboratorio cuenta con tres etapas: introducción, configuración y observación. La primera muestra un video introductorio donde se explican conceptos clave y el montaje del equipo; la segunda, le permite al usuario

elegir entre dos tipos de jeringa que contiene un gas inerte (20 mL o 60 mL); y la tercera, le permite al usuario observar una pantalla con la interfaz, la jeringa y el sensor de presión, de donde podrá tomar los datos que requiera para sus resultados (Fig. 2). A diferencia del LU de Valoración Ácido-Base I, este laboratorio no genera una gráfica, sino que los usuarios deben tomar los datos de presión y volumen que se van mostrando durante el desarrollo de la experiencia para construir el gráfico para la isoterma del proceso (Montero-Miranda et al., 2022).



Figura. 2 Interfaz del laboratorio de la Ley de Boyle disponible en *LabsLand*.

Laboratorio de Gay-Lussac:

El laboratorio de Gay-Lussac permite al usuario comprobar el cambio de presión que ocurre al variar la temperatura de un gas. Éste experimento también cuenta con las mismas tres etapas de los desarrollos descritos anteriormente, donde la primera contiene un video introductorio y un esquema del equipo que se utilizó en la experiencia; en la segunda etapa solo le permite elegir una opción del entorno, y la tercera muestra una pantalla con la interfaz y el equipo (plantilla de calentamiento, frasco de precipitados, pastilla de agitación, jeringa con el gas inerte, sensor de temperatura y presión, y la interfaz) (Fig. 3). En este laboratorio al igual que la Ley de Boyle, los usuarios deben tomar los datos tanto de presión como temperatura para su posterior análisis.



Figura. 3 Interfaz del laboratorio de la Ley de Gay-Lussac disponible en *LabsLand*.

Laboratorio Ácido-Base II:

Para este laboratorio también se realizó una valoración ácido-base, pero esta vez el valorante es Hidróxido de Sodio y el analito Ácido Acético. A diferencia del Ácido-Base I, cuenta con dos modos: el colorimétrico y potenciométrico, además de que se cambió el sensor cuenta gotas y la bureta plástica, por una bureta de vidrio que se emplea en los ensayos convencionales del laboratorio *hands on*. Ambos experimentos tienen las tres etapas y en la configuración pueden elegir entre tres opciones de analito con distintas concentraciones. La principal diferencia radica en la etapa de observación, ya que para el caso colorimétrico sólo se observa la bureta en una pantalla y el frasco de precipitados con la pastilla de agitación en la otra, mientras que el caso potenciométrico se observa lo anterior y además la interfaz donde se muestra el pH de la disolución. Por otro lado, este no genera una gráfica, sino que el usuario puede construir su propia gráfica tomando los datos de volumen (que deben leer en la bureta) y de pH que se presenta en la interfaz (Fig. 4 y 5). Uno de los objetivos de este laboratorio es que el usuario pueda desarrollar procedimientos sensoriomotores de observación, ya que debe de ser capaz de determinar el momento justo en el que ocurre un cambio de color y así identificar el punto final de la reacción (Idoyaga et al., 2020b). Por otro lado, se establece un nivel de complejidad más alto para el usuario, ya que este debe de ser capaz de leer el volumen entregado por la bureta aplicando conceptos como el error de paralaje y el uso adecuado del menisco.

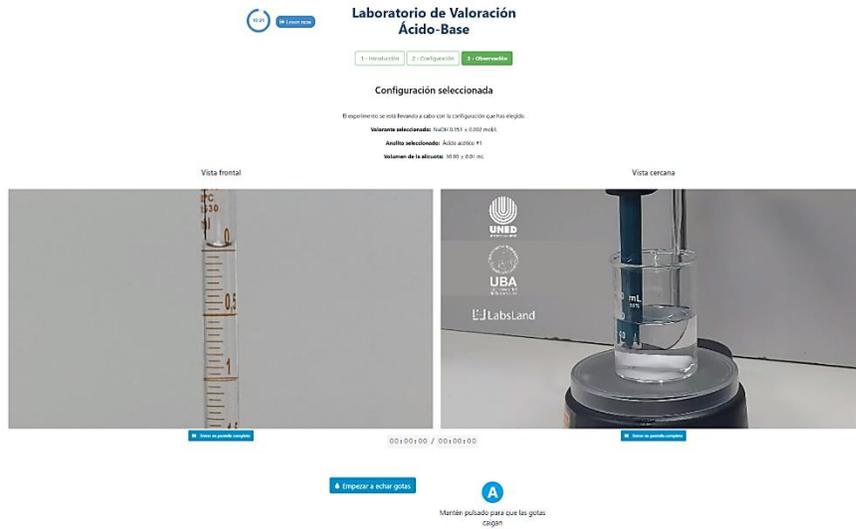


Figura. 4 Interfaz del laboratorio de Ácido Base II modo colorimétrico disponible en *LabsLand*.

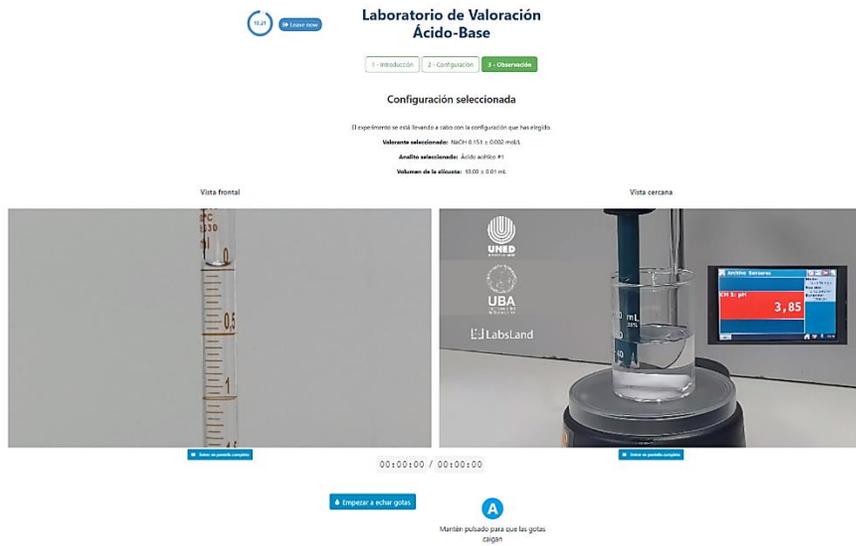


Figura. 5 Interfaz del laboratorio de Ácido Base II modo potenciométrico disponible en *LabsLand*.

Otro aspecto importante es el hecho de que el trabajo experimental viene acompañado del error aleatorio, el cual es originado por efectos de variables que no se pueden controlar en cada medición, éste no puede ser corregido, ya que siempre está presente y se relaciona con la precisión del resultado que se obtenga (Harris, 2003). Es por esta razón que se tienen 3 réplicas de cada experimento, con el fin de poder disminuir dicho error.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó un análisis descriptivo (Murgiondo & Tejedor, 2005) sobre las estadísticas mostradas en la página web de *LabsLand*, de las cuales se recolectaron los datos de las sesiones de laboratorio, cantidad de estudiantes e instituciones que utilizaron los laboratorios de Ácido-Base I, Ley de Boyle, Ácido-Base II y Ley de Gay-Lussac desde el 2020 hasta el 2023.

A partir de estos datos se realizaron gráficas y cuadros comparativos para el uso de estos laboratorios, además se realizó una búsqueda en *Google Scholar* de artículos relacionados a éstos utilizando los siguientes criterios:

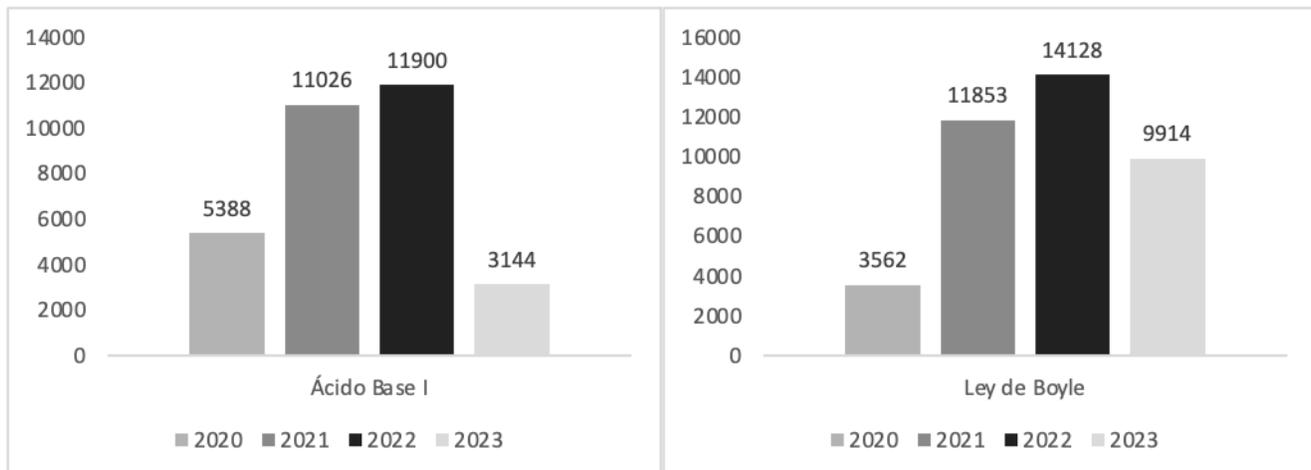
1. Que sean enfocados en la enseñanza de la química.
2. Que se publicaran en revistas o congresos especializados.
3. Que incluyera únicamente publicaciones en las cuáles hayan participado los miembros del Laboratorio de Experimentación Remota de la UNED.

La presentación de estos resultados se realizó por medio de un cuadro donde se ordenaron los artículos según el año de publicación. Además, se incluyó el nombre de la revista, el país de origen y el indexador en el que se encuentra inscrita.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Usos de los LU de química:

Se tomaron los datos proporcionados por *LabsLand* con el fin de determinar la cantidad de usos que han tenido los laboratorios ultra concurrentes de química desde 2020 hasta 2023. En la Fig. 6 se muestran los usos de los LR desarrollados en química: Ácido-Base I, Ley de Boyle, Ley de Gay Lussac y Ácido-Base II respectivamente y los usos de cada uno por año.



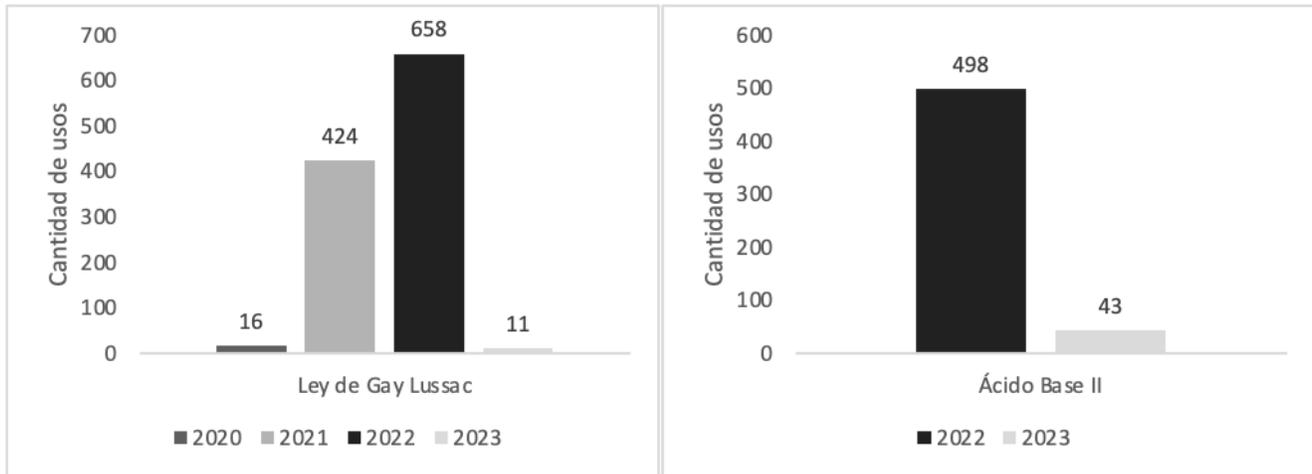


Figura. 6 Usos de Laboratorios Remotos de química entre los años 2020 y 2023.

Desde el desarrollo de los laboratorios de Ácido-Base I y Ley de Boyle (realizado en el año 2020) se tuvo un número significativo de usos, potenciado principalmente por la pandemia y el hecho de que algunas instituciones (como la Universidad de Buenos Aires en Argentina) vieron la oportunidad de utilizar estos laboratorios para adaptar sus actividades experimentales a las condiciones que se imponían en ese momento. El laboratorio que registró una mayor cantidad de usos fue el de Ley de Boyle, predominando en los cuatro años de análisis; sin embargo, en la Fig. 1 se puede observar que todos los laboratorios han tenido un aumento en la cantidad de usos conforme han pasado los años (excepto el de Ácido-Base II debido a que se desarrolló en 2022). Para el 2023 se observa una baja cantidad de usos, además, este fenómeno se debe al hecho de que los datos para este año se recopilaban (para efecto de este estudio) únicamente en los primeros seis meses del año, pero según la tendencia creciente de los tres años anteriores se proyecta que los usos sean mayores a los reportados en el 2022.

Un aspecto relevante es que se ha registrado un uso sostenido de estos recursos, incluso al finalizar la pandemia. El año con más usos registrados (27184 usos en total entre todos los laboratorios) fue el 2022, en el cual, la mayoría de las instituciones volvieron totalmente a la presencialidad (sin contar a las instituciones de educación a distancia), lo que evidencia que se están implementando estos recursos como parte de las prácticas pedagógicas del componente experimental.

Por otro lado, en el CUADRO 1 se muestra la cantidad de instituciones y estudiantes que han utilizado estos laboratorios. Dentro de estas instituciones destacan países como Argentina, Costa Rica, Colombia, Uruguay, India, Sudáfrica, España, Estados Unidos, entre otros. El laboratorio de Ácido-Base I ha sido el más utilizado por distintas instituciones, sin embargo, el que ha contado con más estudiantes registrados es el de la Ley de Boyle, lo que concuerda con que sea el laboratorio con más usos en general según lo reportado en los resultados anteriores.

CUADRO 1

Número de instituciones y estudiantes que han utilizado los laboratorios ultra concurrentes de química.

Laboratorio	Año	Instituciones	Estudiantes
Ácido-Base I	2020	14	1961
	2021	11	2794
	2022	16	3344
	2023	12	1082
Ley de Boyle	2020	3	1120
	2021	12	3905
	2022	19	5156
	2023	14	3626
Ley de Gay-Lussac	2020	1	7
	2021	10	223
	2022	12	300
	2023	4	7
Ácido-Base II	2022	10	183
	2023	7	27

Artículos relacionados a los LU de química:

Se realizó una búsqueda de los artículos y comunicaciones en congresos que se han publicado en torno al uso de los laboratorios en estudio. En esta revisión se incluyó el nombre de la revista, país de origen y su respectiva indexación. En el CUADRO 2 se muestran los trabajos generados desde el grupo del LER.

Se han publicado seis artículos desde el año 2020 en distintas revistas, destacando trabajos en indexadores como *Web of Science* y *Scopus*. La mayoría de trabajos han recabado la percepción de los profesores (Montero et al., 2022) y estudiantes (Capuya et al., 2023; Idoyaga et al., 2020a) en torno a la usabilidad, la idoneidad para enseñar y aprender química, el desarrollo de habilidades y el grado de satisfacción con el recurso remoto. En los distintos trabajos se observó que han tenido un impacto positivo, ya que muestran la versatilidad de los LR tanto para los profesores (en los distintos procesos de enseñanza) así como a los estudiantes (en los procesos de aprendizaje y su fácil uso y grado de satisfacción) en diferentes contextos, lo que genera un interés por

parte de los docentes para implementarlos en sus prácticas pedagógicas con el fin de ofrecer al estudiantado una actividad experimental que les permita desarrollar habilidades científicas y tecnológicas.

CUADRO 2

Información de los artículos publicados sobre los laboratorios ultra concurrentes de química.

Artículo	Año	Revista	País de publicación	Indexador
El Laboratorio Remoto: una alternativa para extender la actividad experimental	2020	Campo Universitario	Argentina	Latindex
Conocimientos del profesorado universitario sobre la enseñanza de la química con laboratorios remotos	2021	Educación Química	México	Scopus
Design and Development of an Ultra-Concurrent Laboratory for the Study of an Acid–Base Titration (ABT) at the Universidad Estatal a Distancia (UNED), Costa Rica	2021	Springer	Hong Kong	Web of science, Scopus
Actualización docente en la Experimentación Remota: El caso de la Ley de Boyle	2022	Nuevas perspectivas	Argentina	Latindex
Promotion of Remote Experimentation in Three Latin American Countries	2022	Springer	Egipto	Web of science, Scopus
Laboratorios Remotos: Un recurso para el aprendizaje de la temática de gases en cursos universitarios masivos en Argentina durante la pandemia de la COVID.	2023	Innovaciones Educativas	Costa Rica	Scielo

También se han comunicado algunos trabajos en distintos congresos, como “El Laboratorio Remoto de Validación Ácido-Base en un Curso de Química en la Universidad” en el XI Congreso Internacional ATICA2020 y VII Conferencia Internacional ATICAces2020 en Ecuador (Idoyaga et al., 2020a), y “Análisis del diseño experimental de dos laboratorios remotos diferidos para la enseñanza de la valoración ácido-base en química” en las XII Jornadas Nacionales y IX Jornadas Internacionales de Enseñanza de la Química Universitaria, Superior, Secundaria y Técnica, JEQSST-2022 organizado por la Asociación de Químicos en Argentina (AQA) (Montero-Miranda et al., 2023). En ambos casos, se tuvo una reacción positiva y una buena acogida por parte de los participantes en estos espacios de intercambio intelectual.

Colaboración con otros países:

El desarrollo de estos recursos tecnológicos con un enfoque educativo ha permitido la internacionalización de la UNED y el grupo de trabajo del LER, debido a que se ha fomentado la colaboración entre distintos grupos y organizaciones de diferentes latitudes, como las que se detallan a continuación:

- Consejo Superior Universitario Centroamericano (CSUCA) mediante el proyecto: “Uso de Laboratorios Remotos como Recursos Educativos”.
- Agencia Nacional de Investigación e Innovación de Uruguay (ANI) con quienes se realizó el proyecto: “Innovaciones para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales mediados por tecnologías digitales”.
- Organización de los Estados Americanos (OEA) con el proyecto: “Laboratorio remoto: desarrollo e innovación estratégica para la educación en ciencias naturales y de la salud en la universidad”.
- Erasmus que es un programa de la Unión Europea en el cual participan instituciones de diferentes países como Portugal, Brasil, España y Costa Rica, con el proyecto: “Linking remote regions through Labs ecosystems in Latin America: promoting inclusion and sustainable developmentt”.
- Ministerio de Educación Pública de Costa Rica con el cuál se tuvo un acercamiento para desarrollar un proyecto con el fin de dotar de habilidades STEM a estudiantes de primaria y secundaria, mediante un plan piloto para implementar estos laboratorios a 300 centros educativos.

Además, han permitido el trabajo colaborativo de los equipos de trabajo de las distintas universidades, en el caso de la UNED se han realizado nuevos desarrollos en conjunto con la Universidad de Buenos Aires, como por ejemplo, en el laboratorio de Ácido-Base II, y otros laboratorios de Física como Ley de Snell, o bien con el Consejo de Formación en Educación de Uruguay, con el cual, se ha trabajado en nuevos desarrollos en las áreas de física y biología. Sin dejar de lado la colaboración con *LabsLand*, que se encarga del desarrollo de software y del entorno que ofrece los laboratorios remotos para su utilización.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los Laboratorios Remotos de química han tenido un uso creciente en los últimos cuatro años, lo que evidencia que han tenido un impacto aún después de la pandemia, siendo el laboratorio con más usos el de Ley de Boyle y que se basa en el estudio de la Ley de gases.

La cantidad y calidad de publicaciones (según la indexación de la revista) evidencian la importancia y la versatilidad de los LR tanto para los docentes como para el estudiantado, de manera que potencian el desarrollo de nuevas prácticas pedagógicas que incluyan LR en las actividades experimentales. Además, esto permite visualizar el impacto del LER y la UNED en el contexto científico en el que se desarrollan estos recursos.

La colaboración con otros países ha permitido la internacionalización de la UNED con distintas universidades, así como el intercambio de ideas entre los diferentes grupos de las mismas, lo que permite el desarrollo de nuevos LR o bien mejoras de los ya existentes. Además, se amplía la red de contacto de manera que se puede llevar el uso de estos hacia otras partes del mundo permitiendo la proyección institucional fuera del país.

Actualmente, se cuenta con cinco LU de química disponibles en *LabsLand*, sin embargo, es necesario realizar nuevos desarrollos que estén orientados a educación media y educación primaria, para que el estudiantado desarrolle distintas habilidades desde la formación inicial. Se recomienda potenciar el uso de LR a nivel de carreras enfocadas a educación media o primaria para que los futuros profesionales puedan llevar estos recursos al aula, y así mismo, se pueda generar un cambio en la enseñanza de las ciencias con el fin de abordar su carácter experimental.

REFERENCIAS

- Alves, G. R., Fidalgo, A. V., Marques, M. A., Viegas, M. C., Felgueiras, M. C., Costa, R. J., Lima, N., Castro, M., Díaz-Orueta, G., SanCristóbal-Ruiz, E., García-Loro, F., García-Zubía, J., Hernández-Jayo, U., Kulesza, W. J., Gustavsson, I., Nilsson, K., Zackrisson, J., Pester, A., Zutin, D. G., Bertramo, B. (2018). International Cooperation for Remote Laboratory Use. En M. M. Nascimento, G. R. Alves, & E. V. A. Morais (Eds.), *Contributions to Higher Engineering Education*, 1-31. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8917-6_1
- Arguedas, C., Concari, S., Rodriguez-Gil, L., Orduña, P., Elizondo, F., Hernandez, U., Mellos Carlos, L., Silva, J., Marchisio, S., Conejo-Villalobos, M., Garcia-Zubia, J., & Alves, J. (2019). *Remote experimentation in the teaching of physics in Costa Rica: First steps* [Presentación en papel]. 5th Experiment Conference (exp.at'19), Portugal, 208-212. <https://doi.org/10.1109/EXPAT.2019.8876553>
- Arguedas-Matarrita, C., Montero-Miranda, E., Lizano-Sánchez, F., Varela, G., Maeyoshimoto, J. E., Medina, G., & Idoyaga, I. (2022). Promotion of Remote Experimentation in Three Latin American Countries. En M. E. Auer, S. A. El-Seoud, & O. H. Karam (Eds.), *Artificial Intelligence and Online Engineering*, 133-142. https://doi.org/10.1007/978-3-031-17091-1_14
- Arguedas-Matarrita, C., Montero-Miranda, E., Vargas-Badilla, L., Sánchez-Brenes, R., Rios-Badilla, E., Orduña, P., & Rodríguez-Gil, L. (2021). Design and Development of an Ultra-Concurrent Laboratory for the Study of an Acid-Base Titration (ABT) at the Universidad Estatal a Distancia (UNED), Costa Rica. En M. E. Auer, K. R. Bhimavaram, & X.-G. Yue (Eds.), *Online Engineering and Society 4.0*, 122-130. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82529-4_13
- Capuya, F., Montero-Miranda, E., Arguedas-Matarrita, C., Idoyaga, I. (2023). Laboratorios Remotos: Un recurso para el aprendizaje de la temática de gases en cursos universitarios masivos en Argentina durante la pandemia de la COVID. *Revista Innovaciones Educativas*, 25(38), 246-262. <https://doi.org/10.22458/ie.v25i38.4121>
- Cárdenas S. (2006). Dificultades de aprendizaje en química: Caracterización y búsqueda de alternativas para superarlas. *Ciência & Educação*, 12(03), 333-346.
- Guevara, M., & Valdéz, R. (2004). Los modelos en la enseñanza de la Química. Algunas de las dificultades asociadas a su enseñanza y a su aprendizaje. *Educación Química*, 15(3), 243-247. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66181>
- Harris, D. C. (2003). *Análisis químico cuantitativo*. Reverte.
- Hodges, C., Moore, S., Lockee, B., Trust, T., & Bond, M. (2020). The Difference Between Emergency Remote Teaching and Online Learning. *Front. Educ*, 7. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.921332>

- Idoyaga, I., Moya, C., Sánchez-Brenes, R., Maeyoshimoto, J., Arguedas-Matarrita, C., & Montero-Miranda, E. (2020). *El Laboratorio Remoto de Validación Ácido-Base en un Curso de Química en la Universidad*. XI Congreso Internacional ATICA, México.
- Idoyaga, I., Vargas-Badilla, L., César, N., Moya, Montero-Miranda, E., Ana, M., & Garro-Mora, L. (2020). El Laboratorio Remoto: Una alternativa para extender la actividad experimental. *Campo Universitario*, 1(2), 4-26. <https://campouniversitario.aduba.org.ar/ojs/index.php/cu/article/view/17>
- Idoyaga, I. (2022). El Laboratorio Extendido: Rediseño de la actividad experimental para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Divulgación de Metodologías emergentes en el desarrollo de las STEM*, 4(1), 20-49. <http://www.revistas.unp.edu.ar/index.php/rediunp/article/view/823>
- Marin Quintero, M. (2010). El trabajo experimental en la enseñanza de la química en contexto de resolución de problemas. *Revista EDUCyT*, 1, 37-52. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/7553>
- Montero-Miranda, E., Lizano-Sánchez, F., Castillo-Rodríguez, K., & Arguedas-Matarrita, C. (2022). Actualización docente en la Experimentación Remota: El caso de la Ley de Boyle. *Nuevas perspectivas. Revista de educación en ciencias naturales y tecnología*, 1(1), 1-17.
- Montero Miranda, E. (2022). *Laboratorios Remotos: Una alternativa complementaria de las actividades experimentales presenciales en química para disminuir el impacto ambiental generado por el laboratorio de valoración ácido-base en la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica*. [Tesis de Maestría, Universidad Estatal a Distancia].
- Montero-Miranda, E., Capuya, F., Arguedas-Matarrita, C., Sánchez, F., & Idoyaga, I. (2023). *Análisis del diseño experimental de dos laboratorios remotos diferidos para la enseñanza de la valoración ácido-base en química*. Jornadas Nacionales y IX Jornadas Internacionales de Enseñanza de la Química Universitaria, Superior, Secundaria y Técnica, Argentina.
- Murgiondo, J. E., & Tejedor, F. J. T. (2005). *Análisis descriptivo de datos en educación*. Editorial La Muralla.
- Nakamatsu, J. (2012). Reflexiones sobre la enseñanza de la química. *En Blanco y Negro*, 3(2), 38-46.
- Narasimhamurthy, K., Orduña, P., Rodriguez-Gil, L., C., B., Srivatsa, C., & Mulamuttal, K. (2020). Analog Electronic Experiments in Ultra-Concurrent Laboratory. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1231, 37-45. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0_3
- Ortelt, T. R., Haertel, T., & Frye, S. (2021). Remote Labs in Germany—An Overview About Similarities and Variations. En M. E. Auer & D. May (Eds.), *Cross Reality and Data Science in Engineering*, 1231, 143-153. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52575-0_11
- Pokoo-Aikins, G., Hunsu, N., & May, D. (2019). *Development of a Remote Laboratory Diffusion Experiment Module for an Enhanced Laboratory Experience*. IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), USA. <https://doi.org/10.1109/FIE43999.2019.9028460>