



EJE: Educación en Química mediada portecnologías

## ANÁLISIS DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DE DOS LABORATORIOS REMOTOS DIFERIDOS PARA LA ENSEÑANZA DE LA VALORACIÓN ÁCIDO-BASE EN QUÍMICA

Eric Montero-Miranda<sup>1</sup>, Fernando Capuya<sup>2</sup>, Carlos Arguedas-Matarrita<sup>1</sup>, Fiorella Lizano Sánchez<sup>1</sup>, Ignacio Idoyaga<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Estatal a Distancia, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Laboratorio de Experimentación Remota, San José, Costa Rica.

<sup>2</sup>Universidad de Buenos Aires, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica.

<sup>3</sup> CONICET Argentina

[emonterom@uned.ac.cr](mailto:emonterom@uned.ac.cr) [fcapuya@gmail.com](mailto:fcapuya@gmail.com)

### Resumen

Este trabajo presenta un análisis del desarrollo de dos Laboratorios Remotos Diferidos para el estudio de valoración ácido-base. Durante la pandemia de COVID-19, el grupo de trabajo del Laboratorio de Experimentación Remota de la Universidad Estatal a Distancia en Costa Rica desarrolló un primer Laboratorio que fue usado en el curso de química del Ciclo Básico Común de la Universidad de Buenos Aires. Los buenos resultados documentados dieron lugar a una alianza entre los grupos de Argentina y Costa Rica para el desarrollo de una nueva versión del laboratorio que busca atender necesidades de aprendizaje emergentes. Este trabajo presenta un estudio comparado entre ambos laboratorios que recurre a una guía de observación y permite apreciar sus fortalezas y potencial para ser empleados por docentes en diferentes contextos.

**Palabras clave:** Valoración ácido-base; Laboratorio Remoto; educación a distancia; Actividad Experimental; Enseñanza de la Química.

### 1. INTRODUCCIÓN

La Universidad de Buenos Aires (UBA) organiza sus carreras en ciclos. El Ciclo Básico Común (CBC) constituye el primer ciclo de todas las carreras y, en general, se completa durante el primer año de los estudios universitarios. El CBC cuenta con 23 sedes y reúne una masiva cantidad de estudiantes por año con trayectorias educativas muy disímiles. Las carreras enfocadas a las áreas biomédicas cuentan con asignaturas como Física, Química y Biología durante este ciclo. Estas asignaturas suelen ser abordada recurriendo a la clase magistral y a la resolución de problemas de aplicación.

Como muchas otras instituciones, la UBA tuvo que adaptar la práctica educativa en medio de la pandemia por COVID, tomando como punto de partida la experiencia generada décadas atrás con la Enseñanza Remota de Emergencia (ERE). A diferencia de los acontecimientos pasados, en este nuevo capítulo mundial se optó por procesos educativos mediados por tecnología. Sin embargo, a pesar de que los procesos de mediación en el aula pudieron migrar a los entornos digitales, se encontraron mayores retos para el abordaje de la actividad experimental (AE) en carreras de corte científico.

En esta línea, la educación en química que presenta un carácter predominantemente experimental debió ser especialmente considerada en el diseño de propuestas educativas en escenarios híbridos. Así mismo, la práctica experimental, que constituye un contenido medular y un modo de conocer privilegiado en las disciplinas naturales (García Viviescas y Moreno Sacristán, 2020), planteó desafíos para su incorporación cuando las actividades educativas se presentaron en aulas masivas y heterogéneas y en procesos mediados por la tecnología.



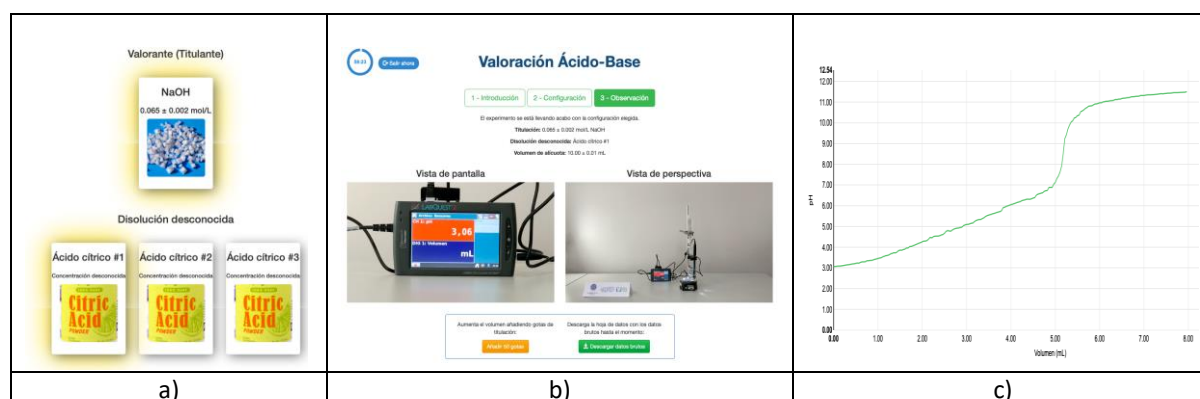
En educación superior, las propuestas educativas de enseñanza que incluyen AE se caracterizan por promover el aprendizaje de procedimientos imprescindibles para el ejercicio profesional vinculado a las carreras en ciencia y tecnología. En este sentido, Lorenzo (2020) establece dos tipos de procedimientos, el primero, que da cuenta de los procesos intelectuales (PI) en los que el estudiante desarrolla habilidades de reconocimiento de fenómenos y la toma de decisiones; y el segundo, que involucra la observación y las acciones motoras para la manipulación de instrumental, bajo la denominación de procesos sensoriomotores (PS).

Para la implementación de este tipo de procesos es necesario establecer estrategias que permitan incorporar actividades experimentales a la enseñanza digital, uno de los recursos en auge son los Laboratorios Remotos (LR). Estos son un conjunto de tecnologías *Hardware* y *Software* que permiten a estudiantes y profesores, a través de Internet, llevar a cabo actividades experimentales como si estuvieran en el laboratorio presencial (Arguedas et al., 2019). La diferencia radica en que la manipulación del equipamiento se realiza a distancia, en cualquier momento y en cualquier lugar (Arguedas y Concari, 2018). Estos son especialmente considerados en educación superior, ya que se reconoce que su uso promueve el aprendizaje de competencias científicas y de procedimientos intelectuales y sensoriomotores propios del quehacer experimental y del ejercicio profesional (Montero-Miranda et al., 2022).

Los LD son un tipo particular de LR que integran experimentos reales pregrabados, manteniendo los errores típicos (sistemáticos y aleatorios). La interfaz del LD brinda a profesores y estudiantes la misma experiencia que en un Laboratorio Remoto tradicional en tiempo real (Arguedas-Matarrita et al., 2021). Este trabajo presenta un primer estudio exploratorio y descriptivo. Plantea la visión entorno al diseño experimental de dos Laboratorios Remotos Diferidos (LD) utilizados como propuestas para la enseñanza del contenido ácido-base en un primer curso de química universitaria del Ciclo Básico Común (CBC) de la Universidad de Buenos Aires (UBA).

### 1.1. Desarrollo de Laboratorios Remotos para la valoración ácido-base

Durante 2020 el Laboratorio de Experimentación Remota de la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica (UNED) desarrolló el LD de Valoración Ácido-Base (LD-VAB) como parte de los primeros esfuerzos de implementar los LR dentro de las asignaturas de química e impulsado por el contexto de pandemia en donde se buscaban propuestas tecnológicas para solventar las necesidades emergentes. Este recurso se basó en una interfaz que permite al usuario escoger una sustancia (NaOH) de concentración conocida (valorante) y tres tipos de muestras de un ácido débil (ácido cítrico) (Figura 1a). Al iniciar la experiencia se presentan dos recuadros que permiten observar la pantalla que registra el cambio del pH en función de la adición de volumen de valorante y el proceso físico de adición de volumen con un posterior cambio de color dado por el viraje del indicador de fenolftaleína (Figura 1b). De forma simultánea, en la parte inferior de la interfaz, se observa la construcción del gráfico de la reacción según se va adicionando el valorante al analito (Figura 1c). Este diseño posee una bureta plástica automatizada sujeta a un soporte metálico que se posiciona sobre un agitador magnético, además, el sistema cuenta con un contador de gotas (volumen) y un electrodo de pH conectados a una interfaz que recolecta los valores (Arguedas et al., 2021).

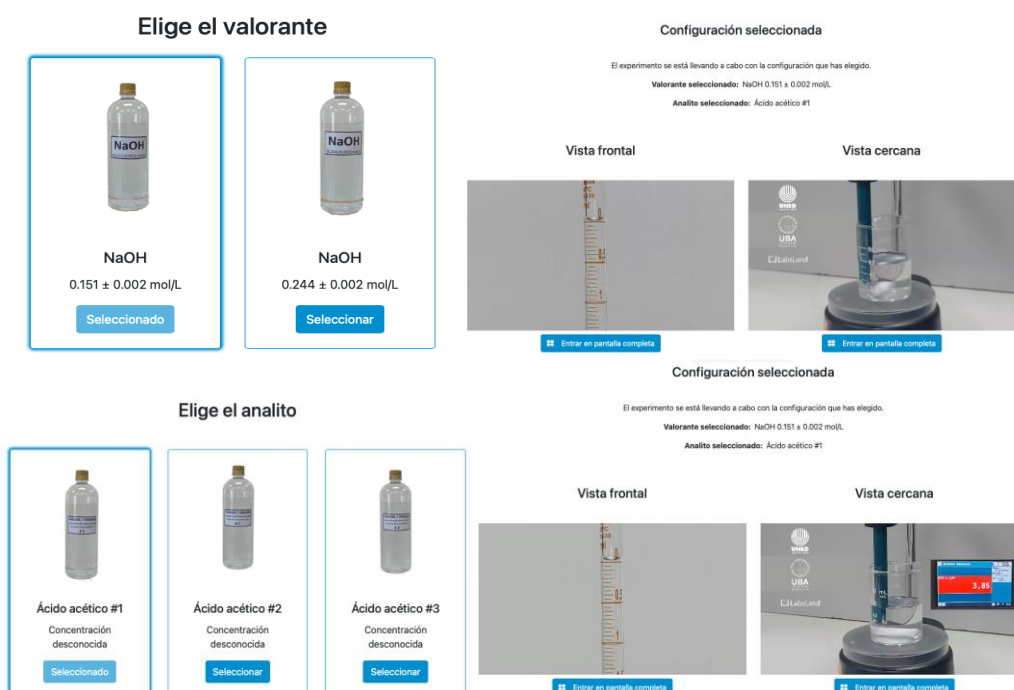


**FIGURA 1.** Interfaz de interacción para el primer desarrollo del LD-VAB1. a) La figura de la izquierda muestra la lista de valorantes y muestras incógnitas para seleccionar. b) La figura central corresponde a la interfaz observada por el usuario al momento de realizar el experimento. La interfaz (izquierda) muestra los valores de pH y el volumen de valorante y la vista de la derecha muestra el equipo armado. c) La figura de la derecha muestra el gráfico correspondiente a una valoración base fuerte con un ácido débil proporcionado por el laboratorio al finalizar la práctica.



En este laboratorio el estudiante debe de añadir una cantidad de volumen (gotas) predispuestas tanto para el inicio, punto final y culminación de la experiencia, además, puede realizar una descarga de los datos almacenados en la interfaz una vez que ha terminado la experimentación.

En el caso del segundo LD-VAB2 que se desarrolló en conjunto entre la UNED el CIAEC-UBA en 2021 se estableció una configuración del sistema distinta a su predecesor. En esta, se emplearon dos valorantes de NaOH de concentración diferente y tres muestras de analito para ácido acético a partir de un vinagre comercial (Figura 2a). En el sistema para este caso se sustituyó la bureta plástica por una de mayor precisión y exactitud (clase A), con escala y construida en vidrio. Además, se eliminó el contador de volumen y se colocó una cámara móvil que seguía el progreso de adición de volumen de valorante que simula la trayectoria de la vista del usuario para evitar el error de paralaje (Figura 2b). Un detalle importante es que el usuario puede escoger entre una modalidad de experimento en donde se emplee el electrodo de pH, o bien, poder configurar la experiencia para que no se tomen los datos para la variación potenciométrica de la acidez (Figura 2c). En este desarrollo se eliminó el gráfico en tiempo real y la descarga de datos que si existía en la primera edición del experimento.



**FIGURA 2.** Interfaz de interacción para el segundo desarrollo del LD-VAB2. a) a la izquierda se observan las listas de reactivos, arriba los valorantes y abajo las muestras de ácido acético. b) a la derecha superior la interfaz con las dos cámaras para seguir el descenso del titulante en la pipeta (izquierda) y el cambio de color a la derecha en el vaso de precipitado. c) A la derecha inferior se observa la interfaz con dos cámaras una que indica el descenso del titulante en la pipeta (izquierda) la otra enfoca el vaso de precipitado y la interfaz que indica el cambio de pH.

Uno de los aspectos que sobresalen de este desarrollo es que el estudiante puede controlar la adición de volumen añadiendo y deteniendo el volumen entregado por la bureta según lo desee.

## 2. METODOLOGÍA

La metodología empleada para este trabajo se basó en un análisis descriptivo de una primera validación del LD-VAB realizada por el grupo de trabajo del Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica (CIAEC-UBA) y la UNED en 2020, contrastando los hallazgos de los estudios de Idoyaga et al., 2020 para la percepción de estudiantes y profesores del CBC luego de utilizar el recurso en un primer curso de química, y el estudio de Idoyaga et al., 2021, sobre el conocimiento de profesores universitarios sobre la enseñanza de la química con LR, con respecto al potencial del diseño experimental para el segundo recurso desarrollado por el grupo UNED-



CIAEC-UBA en 2021 a través de una guía de observación. En este apartado se describe el contexto de la indagación, las fuentes de información, la recolección y el análisis de datos cualitativos.

### **2.1. Contexto**

En 2019 surgen los primeros desarrollos de LD con un plan piloto de la Universidad de Georgia para un laboratorio de difusión (Pokoo-Aikins, Hunsu, y May, 2019). Luego de esto la UNED lanzó un primer LD-VAB en colaboración con Labsland y en medio de la pandemia de la COVID. En este escenario, la UBA, que imparte asignaturas de química a través del CBC desplegó el LD-VAB en dos etapas. La primera, con estudiantes de la Cátedra del Dr. Idoyaga en donde se estimó la percepción del aprendizaje de 1400 estudiantes luego de usar este LD. La segunda etapa, basado en la percepción de 28 profesores respecto al LD-VAB como un recurso didáctico (Idoyaga et al., 2020). Adicionalmente, se realizó una investigación con el fin de explorar el conocimiento que tienen nueve docentes universitarios en torno a los LR, donde se incluyó el LD-VAB como parte del estudio (Idoyaga et al., 2021). Después de esta validación, la UNED y el CIAEC-UBA trabajaron en el nuevo desarrollo a finales de 2021.

### **2.2. Muestra**

La muestra fue seleccionada por método no probabilístico y de tipo intencionado. Se seleccionaron los dos Laboratorios disponibles para estudiar la temática de valoración ácido-base y que se encuentran en el entorno del gestor de laboratorios remotos Labsland. Ambos laboratorios poseen una interfaz digital que responde a la misma estructura: introducción (que presenta un video explicativo de la experiencia), configuración (donde se seleccionan los parámetros del experimento) y observación (donde se lleva a cabo la experimentación).

### **2.3. Recolección de datos cualitativos**

Para la recolección de datos se desarrolló una guía de observación basada en la metodología propuesta por Idoyaga y Arguedas-Matarrita, 2021; con el fin de analizar los diseños experimentales de los dos recursos remotos desarrollados y advertir algunas de las aplicaciones que puede tener uno con respecto al otro. Este instrumento incluyó:

- Aspectos relacionados a la ubicación del usuario en la experiencia que va a realizar (promueve comprensión de conceptos y la técnica que va a emplear, reconocimiento de los equipos, etc.)
- Grados de libertad entre cada recurso (permite la manipulación de muchas o pocas variables), control del estudiante sobre el experimento.
- Procedimientos relacionados a la AE que promueven (incluye PI y PS).
- Grado de complejidad y cumplimiento (satisfacción) de los objetivos de aprendizaje (permite establecer objetivos desde niveles básicos hasta los más complejos y es un recurso adecuado para el abordaje experimental de la temática).
- Usabilidad (es fácil de usar, permite visualizar los fenómenos estudiados como el viraje de color en el punto final, la imagen es adecuada para observar los fenómenos)

### **2.4. Análisis de datos**

Los resultados fueron cotejados entre sí empleando un proceso de triangulación de investigador, donde cada grupo revisó sus observaciones siguiendo parte de los aportes teóricos y hallazgos de las investigaciones previas para un primer desarrollo del LD-VAB.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El análisis de las observaciones del primer desarrollo (LD-VAB1) permitió estimar que el recurso remoto posibilita ubicar a los usuarios en el contexto de la temática ácido base y la experiencia a realizar, esto se determinó una vez que se ingresó al laboratorio, ya que se presenta una pequeña explicación teórica que aborda los conceptos como “valorante”, “analito”, “punto de equivalencia” y “punto final”, además, un vídeo explicativo que refuerza de manera visual los conceptos. Para el segundo desarrollo (LD-VAB2), si bien, no existe una explicación escrita, el video aborda en mayor medida los contenidos teóricos de la temática y el propio desarrollo de esta.

Respecto a los grados de libertad (GL) se estimó que el LD-VAB2 posee mayor cantidad de GL en comparación con el LD-VAB1, ya que el primero posee mayores opciones para el desarrollo del experimento donde existen



mayor cantidad de valorantes, muestras, opciones con y sin electrodo de pH y la opción de poder controlar la adición de valorante desde la bureta, esto fomenta la libertad de exploración del recurso por parte del estudiante (Idoyaga et al., 2021). A diferencia, en el LD-VAB1 solo se tiene un valorante y la adición de volumen está limitada a cantidades preestablecidas en el experimento.

Al analizar los procedimientos que promueven ambas experiencias, se estimó que se tiene un desarrollo de procedimientos intelectuales, tanto de control como de reconocimiento, sin embargo, en el LD-VAB2 se denota mayores procesos sensoriomotores de observación, y esto se debe al hecho de que se implementó el uso de una bureta graduada en lugar de la bureta plástica sin escala, además de que la lectura del volumen se hace dependiente al observador y no a un dispositivo que detecte este como ocurre en el LD-VAB1. Al incorporar estos cambios se aumenta la exigencia hacia el usuario, ya que este debe entender conceptos como el principio de incertidumbre, la interpretación de escalas y el uso del menisco para evitar el error en la medición.

Desde una perspectiva de la complejidad de los objetivos de aprendizaje que se pueden desarrollar con ambos recursos, se estimó, que si bien, el LD-VAB2 posee mayor cantidad de elementos la complejidad de los objetivos dependerá en primer lugar del nivel de conocimiento que se desea fomentar según el contexto educativo al que se someta y en segundo lugar, del uso que el docente quiera dar al recurso. En este sentido, se plantean los LR como un recurso pedagógicamente agnóstico (Gillet y Salzmann, 2011). Por otro lado, los estudios de Idoyaga et al., del 2020 y el 2021 concluyen que el LD-VAB1 que los usuarios (estudiantes y profesores) presentan un alto grado de acuerdo en cuanto al grado de satisfacción al emplear este recurso remoto. Extrapolando estos hallazgos, se espera un grado de aceptación igual o superior en futuras validaciones con el LD-VAB2.

Finalmente, las observaciones en torno a la usabilidad de los recursos exponen que ambos recursos poseen una usabilidad muy buena, ya que permite apreciar fácilmente el viraje de color en el punto final de la valoración (en mayor medida en el LD-VAB2) y específicamente en el caso del LD-VAB2 se puede estimar con buena precisión el volumen entregado por la bureta a medida que se avanza o se detiene la experiencia. Es importante establecer el hecho de que los recursos se pueden acceder desde cualquier lugar, en cualquier horario y desde el dispositivo electrónico que se desee (Arguedas-Matarrita et al, 2019), sin embargo, la única limitante que puede encontrarse, es el acceso a una red de Internet (Montero-Miranda et al., 2022).

#### **4. CONCLUSIONES**

La pandemia generada por el virus responsable de la COVID-19 ha dejado en evidencia muchas de las falencias preexistentes para el abordaje del componente experimental en carreras de corte científico. Sin embargo, esta situación permitió explorar nuevas formas de enseñar y aprender por medio de entornos digitales. En esta línea, los LR se han convertido en un recurso que posee la capacidad de desarrollar múltiples experiencias en diversas áreas de las ciencias y con resultados positivos en diversas aristas didácticas y como complemento de la actividad experimental presencial. Un ejemplo claro, es el desarrollo del LD-VAB, que ha evolucionado en una segunda versión que permite una mayor interacción del usuario con el recurso para una mejor experiencia.

El nuevo desarrollo (LD-VAB2) presenta una mayor cantidad de grados de libertad con respecto a su versión anterior (LD-VAB1), esto permite que el usuario tenga más opciones para modificar y controlar la experiencia (seleccionar electrodo de pH o no y controlar la adición de valorante desde la bureta), además, se observan algunas mejoras visuales en el LD-VAB2 a la hora de estimar el viraje de color del indicador (acercamiento del recuadro y posicionamiento del ángulo de observación del frasco de precipitados).

Si bien, ambos recursos promueven distintos tipos de niveles y complejidad en los objetivos de aprendizaje, es tarea del docente establecer qué abordaje didáctico quiere realizar con sus estudiantes tomando en cuenta aspectos como la heterogeneidad de la población que atiende y el contexto en el que se desenvuelven, aprovechando las ventajas de usabilidad que suponen estos recursos.

#### **5. PROSPECTIVAS**

Al analizar los resultados cualitativos de este trabajo se logró un acercamiento al potencial de este recurso, sin embargo, es necesario establecer una validación del LD-VAB2 similar a la que se implementó con el LD-VAB1. Además, el enfoque se debe centrar en aspectos que permitan visualizar que tan cercana es la nueva experiencia al desarrollo de los laboratorios presenciales desde el punto de vista didáctico. Si bien, los LR distan



de las experiencias *hands on* en los procesos sensoriomotores de acción (manipulación de instrumental), se espera que los avances tecnológicos permitan experiencias más inmersivas, por lo que es necesario analizar las posibilidades de que los usuarios mejoren sus experiencias de aprendizaje para luego intentar migrar a nuevas herramientas que hagan realidad este tipo de proyectos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arguedas-Matarrita, C. et al. (2022). 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. In: Auer, M.E., Bhimavaram, K.R., Yue, X.G. (eds) *Online Engineering and Society 4.0. REV 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 298. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-82529-4\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-82529-4_13)
- Arguedas-Matarrita, C. et al. (2019). Remote experimentation in the teaching of physics in Costa Rica: First steps. In: *2019 5th Experiment International Conference (exp.at'19)*. 208-212, <https://doi.org/10.1109/EXPAT.2019.8876553>.
- Arguedas-Matarrita, C., Concari, S. (2018). Características deseables en un Laboratorio Remoto para la enseñanza de la física: indagando a los especialistas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 35(3), 702-720. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2018v35n3p702>
- García Viviescas, A.X. y Moreno Sacristán, Y.A. (2020). La experimentación en las ciencias naturales y su importancia en la formación de los estudiantes de básica primaria. *Biografía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza*, 13(2), 149-158. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.12.num24-10361>
- Gillet, D. y Salzmann, C. (2011). Smart Labs 2.0 for Engineering Education. *Using Remote Labs in Education*, 425.
- Idoyaga, I. J., Arguedas-Matarrita, C. (2021). Análisis representacional de cuatro laboratorios remotos para la enseñanza de la física. *Revista de Enseñanza de la Física*, 33(2), 285-292. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/35267/35402>
- Idoyaga, I. J., Vargas-Badilla, L., Moya, C.N., Montero-Miranda, E., Maeyoshimoto, J. E., Capuya, F. G., Arguedas-Matarrita, C. (2021). Conocimientos del profesorado universitario sobre la enseñanza de la química con laboratorios remotos, *Enseñanza Química*, 32(4), 154-167. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.5.79189>
- Idoyaga, I. J., Vargas-Badilla, L., Nahuel Moya, C.N., Montero-Miranda, E. y Garro-Mora, A. 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>
- Lorenzo, M. G. (2020). Revisando los trabajos experimentales en la enseñanza universitaria. *Aula Universitaria* 21(4), 15-34. <https://doi.org/10.14409/dys.2020.49.e0002>
- 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*, 1 (1), 1-16. <https://revistanuevasperspectivas.aduba.org.ar/ojs/index.php/nuevasperspectivas/article/view/1/17>
- Pokoo-Aikins, G.A., N. Hunsu, N., & May, D. (2019). Development of a Remote Laboratory Diffusion Experiment Module for an Enhanced Laboratory Experience. En: *IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), Covington, KY, USA, 2019*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/FIE43999.2019.9028460>.