

Investigación en didáctica de la Química

LABORATORIOS REMOTOS PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA QUÍMICA: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Wendy Villalobos-González¹, Carlos Arguedas-Matarrita, Fernando Capuya³, Ignacio Julio Idoyaga^{3,4}

1- *Universidad Estatal a Distancia, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales. Costa Rica.*

2- *Universidad Estatal a Distancia, Escuela de Ciencias Exactas y Naturales, Laboratorio de Experimentación Remota. Costa Rica.*

3- *Universidad de Buenos Aires, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica. Argentina.*

4- *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnica. Argentina*

E-mail: wvillalobosg@uned.ac.cr

Recibido: 26/02/2025. Aceptado: 27/05/2025.

Resumen. Los Laboratorios Remotos (LR) están transformando la educación científica, facilitando entornos de aprendizaje más inclusivos, accesibles, flexibles y seguros. En química, la experimentación es clave para comprender fenómenos y desarrollar habilidades científicas (HC). Esta investigación analiza la producción científica sobre los LR en la enseñanza de la química mediante una revisión sistemática en cuatro bases de datos, siguiendo PRISMA. De 111 documentos iniciales, se analizaron 32 con VOSviewer® y un GPT® personalizado. En los últimos seis años, las publicaciones sobre LR han aumentado, destacando estudios en América Latina y Europa, especialmente en Química Analítica. El 59,4% de los artículos menciona el desarrollo de habilidades científicas, pero solo el 18,8% las mide rigurosamente. Los estudios analizados presentan avances relevantes en el uso de LR, aunque se identifican limitaciones en la evaluación sistemática de las HC. Se recomienda el desarrollo de investigaciones futuras que integren metodologías de medición de las HC y propuestas didácticas innovadoras, orientadas a optimizar el impacto pedagógico de los LR en la enseñanza de la química.

Palabras clave. laboratorios remotos, educación, química, habilidades científicas.

Remote Laboratories for Chemistry Teaching and Learning: A Systematic Review

Abstract. Remote Laboratories (RL) are transforming science education by facilitating more inclusive, accessible, flexible, and safe learning environments. In chemistry, experimentation is essential for understanding phenomena and developing scientific skills (SS). This research analyzes the scientific production on RL in chemistry education through a systematic review of four databases, following the PRISMA protocol. Out of 111 initial documents, 32 were analyzed using VOSviewer® and a customized GPT®. Over the past six years, RL-related publications have increased, with a notable presence in Latin America and Europe, particularly in Analytical Chemistry. While 59.4% of the articles mention the development of SS, only 18.8% measure them. The analyzed studies present significant advances in the use of RL; however, limitations remain in the systematic evaluation of SS. Future research is recommended to incorporate robust assessment methodologies and innovative instructional proposals aimed at optimizing the pedagogical impact of RL in chemistry education.

Keywords. remote laboratories, education, chemistry, scientific skills.



INTRODUCCIÓN

En un mundo dinámico e interconectado, la incorporación de tecnologías emergentes en la educación ha transformado la forma en que se enseña y se aprenden las ciencias. Los habilitadores tecnológicos 4.0 se presentan como elementos clave para la transformación de la "Educación 4.0", facilitando la creación de entornos de aprendizaje más inclusivos, abiertos e innovadores. A través de la adopción de tecnologías como la inteligencia artificial (IA), la computación en la nube y los LR, las instituciones educativas pueden propiciar mejores aprendizajes, y garantizar el acceso equitativo (García-Peñalvo y col., 2024; González-Pérez y col., 2022).

Los LR son parte de una categoría más amplia llamada laboratorios en línea, que también incluye laboratorios virtuales (Zapata y Larrondo-Petrie, 2016). Un LR es un entorno tecnológico diseñado para el aprendizaje experimental. Estos laboratorios permiten la manipulación de equipos reales desde cualquier lugar y en cualquier momento a través de una interfaz gráfica. Estos se clasifican en laboratorios en tiempo real y diferidos; también denominados laboratorios ultra-concurrentes, que permiten la participación simultánea de un gran número de estudiantes (Bauzha y col., 2021; Navarro y col., 2024).

Los LR ofrecen una serie de ventajas que se pueden agrupar en tres categorías: 1) optimización de recursos, 2) accesibilidad y flexibilidad y 3) seguridad ambiental y personal. En términos de optimización de recursos, los LR permiten el acceso a equipos y experimentos científicos reales sin requerir instalaciones físicas costosas, lo que reduce significativamente los gastos en construcción, mantenimiento y adquisición de materiales, equipos y reactivos de laboratorio. En cuanto a la accesibilidad y flexibilidad, los LR eliminan barreras geográficas y físicas, admitiendo el acceso en cualquier momento, lo que permite repetición autónoma y tiende a la autorregulación de los aprendizajes. Por último, los LR contribuyen a la seguridad ambiental y personal, al minimizar el uso de: sustancias químicas, energía y emisiones relacionadas con el transporte. Asimismo, permiten la realización de experimentos con materiales peligrosos sin exposición a riesgos directos. (Navarro y col., 2024; Saravana Mohan y col., 2019; Silva y col., 2020).

La práctica experimental en química es fundamental porque proporciona un entorno donde las personas estudiantes pueden aplicar conceptos teóricos que suelen ser abstractos, en situaciones prácticas (Seery y col., 2023), desarrollando habilidades técnicas y científicas (Kelley, 2020; Villalobos-González-Pérez y col., 2022). Si bien numerosos estudios reconocen que los laboratorios (presenciales o remotos) fomentan el desarrollo de HC, en muchos casos este desarrollo es asumido como resultado implícito y no es evaluado de forma sistemática (Ramos Mejía, 2020; Trejo Lorenzana y col., 2024). La medición rigurosa de las HC es esencial porque permite verificar si las experiencias experimentales realmente fortalecen competencias como el análisis crítico, la resolución de problemas, la formulación de hipótesis o la interpretación de datos (Etkina y col., 2019). En el contexto actual de educación pospandemia, donde las interacciones prácticas son mediadas por tecnología, la evaluación de estas habilidades adquiere un papel prioritario (Idoyaga, 2023; May y col., 2023).

En este contexto, el uso de LR en la enseñanza de la química ha cobrado un interés creciente; estudios señalan que los LR fomentan el pensamiento analítico, la resolución de problemas, el análisis de datos y la comprensión de conceptos complejos a través de experiencias inmersivas y reales (Capuya y col., 2023).

Los LR inicialmente surgieron como una respuesta a los desafíos logísticos, de seguridad y de accesibilidad presentes en los laboratorios tradicionales (Lima y col., 2023; May y col., 2023). Con el tiempo, estos laboratorios han adoptado tecnologías avanzadas, como la automatización y la IA, lo que ha permitido mejorar la precisión, la accesibilidad y la efectividad de los experimentos a distancia. Estas mejoras tecnológicas han ampliado las posibilidades de los LR en la educación, permitiendo a las personas estudiantes de química realizar experimentos complejos desde cualquier ubicación (McGlynn y col., 2023).

A pesar de lo anterior, se han identificado áreas de mejora, como la oportunidad de implementar soporte técnico en tiempo real y la posibilidad de brindar acompañamiento a las personas docentes que, en ocasiones, perciben los LR como un recurso limitado. Asimismo, las guías procedimentales de los LR deben ser bien estructuradas y detalladas; la omisión de pasos importantes puede desorientar a las personas estudiantes y generar frustración (May y col., 2023). Por otra parte, otras investigaciones señalan que no todas las habilidades se pueden incorporar en un LR, como las experiencias táctiles prácticas (Rubim y col., 2019).

Para superar estos desafíos, el diseño instruccional de los LR puede organizarse en torno a actividades de aprendizaje que fomenten pensamientos de orden superior y la integración efectiva entre la teoría y la práctica (Pinto y Zvacek, 2022). Por otra parte, estudios recomiendan implementar estrategias de motivación, guiar a las personas estudiantes de manera efectiva, generar espacios de retroalimentación, proporcionar soporte técnico y recursos adecuados que faciliten el aprendizaje independiente y colaborativo (May y col., 2023).

El objetivo de esta investigación es caracterizar la producción científica sobre los LR como herramienta didáctica en la enseñanza y aprendizaje de la química, evaluando estudios publicados entre 2000 y 2024. En esta revisión sistemática, se busca identificar cómo ha evolucionado la investigación en LR en química y cuáles son las áreas, los contenidos específicos, las estrategias didácticas y las HC abordadas en este tipo de experimentación. Se plantea como hipótesis general que los estudios más recientes tienden a incorporar estrategias didácticas más activas y tecnologías emergentes, pero aún presentan limitaciones en cuanto a la medición rigurosa de las HC promovidas a través de los LR.

METODOLOGÍA

Se desarrolló una revisión sistemática para recopilar y sintetizar los hallazgos de los estudios y abordar las preguntas de investigación:

P1: ¿Cómo ha evolucionado la investigación sobre LR en química en términos de cantidad y años de publicación, distribución geográfica y tipo de artículo?

P2: ¿Qué áreas de la química, nivel de complejidad y contenidos temáticos específicos se han abordado en los LR para su enseñanza y aprendizaje?

P3: ¿Qué estrategias didácticas se han abordado en los LR para la enseñanza y aprendizaje de la química?

P4: ¿Qué HC se han encontrado que fomentan los LR en las personas estudiantes de química?

Etapas de la investigación

La investigación se llevó a cabo en siete etapas secuenciales, según se muestra en la figura 1. Inicialmente, se realizó la búsqueda de documentos en las bases de datos seleccionadas.

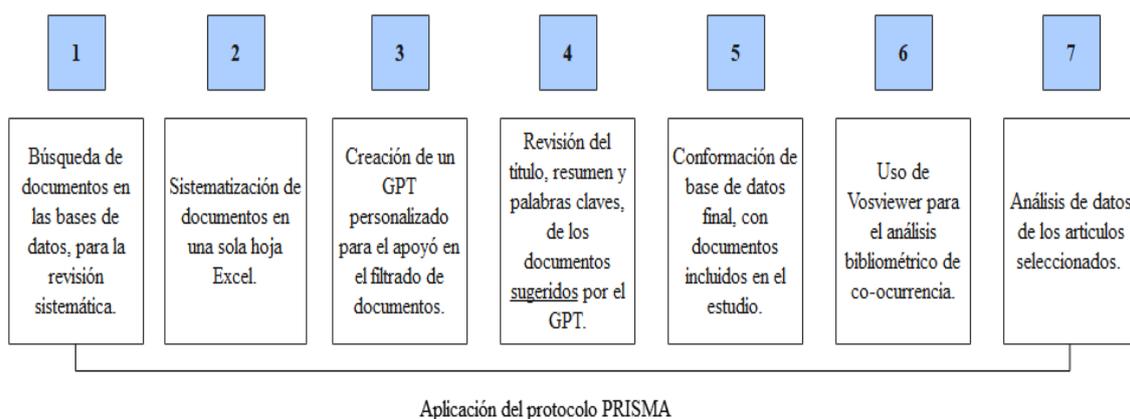


Figura 1. Diagrama de flujo con siete pasos secuenciales utilizados en el proceso de revisión sistemática.

En el segundo paso, se sistematizaron todos los documentos en una hoja de Excel®.

El tercer paso implicó la creación de un GPT® personalizado como herramienta de apoyo en el filtrado de los documentos.

En el cuarto paso, se revisaron los títulos, resúmenes y palabras clave de los documentos sugeridos por el GPT®.

El quinto paso implicó la creación de la base de datos final con los documentos seleccionados.

En el sexto paso, se utilizó el software VOSviewer 1.6.20. para realizar un análisis bibliométrico de co-ocurrencia y finalmente se realizó el análisis de datos de los artículos seleccionados.

Selección de documentos para el análisis sistemático

Para la revisión sistemática de la literatura, se empleó el protocolo Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses en adelante PRISMA (Page y col., 2021).

La revisión de la literatura se llevó a cabo en agosto de 2024, utilizando artículos científicos indexados en las bases de datos seleccionadas y los términos de búsqueda observados en la tabla 1.

Tabla 1. Protocolo de búsqueda utilizado en las bases de datos.

Base de datos	Término de búsqueda	Resultados
Scopus		15
Web of Science (WoS)		31
Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)	"Remote control" AND laboratories AND chemistry	49
Otras fuentes		16

La búsqueda inicial proporcionó 111 documentos, mismos que conformaron la base de datos inicial que fue sistematizada en Excel®. Cada documento fue descargado y codificado para asegurar una mejor organización.

Durante un análisis inicial, se eliminaron 6 citas duplicadas, que se encontraban tanto en la base de datos de la WoS como en Scopus, dejando un total de 105 documentos para la selección.

Los criterios de inclusión de documentos utilizados son:

- Documentos publicados entre el 2000 y 2024.
- Documentos escritos en inglés o español.
- Artículos científicos en las bases de datos establecidas y con proceso de revisión por pares.
- Estudios sobre LR en química.

Posteriormente, se desarrolló un GPT® personalizado (OpenAI, 2023) para facilitar el proceso de filtrado inicial de la base de datos.

Este modelo fue programado con instrucciones específicas (ver figura 2) y alimentado con una tabla en Excel® que incluía el título, autores, palabras clave y resumen de los 105 artículos identificados tras el proceso de búsqueda.

El GPT® analizó automáticamente cada entrada y seleccionó los documentos que aparentemente cumplían con los criterios de inclusión.

Paralelamente, se realizó una revisión manual del título, resumen y palabras clave por parte del equipo investigador, con el fin de verificar la precisión del filtrado automático.

En una segunda fase, se utilizó el GPT® para analizar de forma individual los resúmenes seleccionados, validando su pertinencia mediante una nueva instrucción: se solicitó al modelo que determinara si el artículo cumplía con los criterios de inclusión definidos.

Contexto	Eres un analizador de bases de datos especializado en el análisis de metadatos científicos.
Base de datos	Se te proporcionará una base de datos de Excel que contiene metadatos de artículos científicos. Los elementos clave que identificarás en el Excel son el tipo de base de datos (Scopus, WoS, IEEE y otros), el título del artículo, las palabras clave y el resumen del artículo.
Instrucciones	Con base en esta base de datos, debes identificar estudios sobre Laboratorios Remotos (LR) en la enseñanza y aprendizaje de la Química. Enfócate en identificar palabras clave como "laboratorio remoto", "laboratorio virtual", "laboratorio en línea", "experimento remoto", "aprendizaje remoto", "aprendizaje a distancia", "experimento de química en línea", "acceso remoto" y "control en tiempo real" en los documentos. Prioriza los artículos que sean específicamente sobre química. Si un artículo solo menciona tangencialmente los laboratorios remotos, márcalo para una revisión manual adicional y proporciona una breve explicación de su relevancia".
Criterios de inclusión de artículos	Publicación entre los años 2000 y 2024. Documentos escritos en inglés o español. Artículos científicos en las bases de datos establecidas con proceso de revisión por pares. Estudios específicamente sobre LR en la enseñanza y aprendizaje de la Química.

Figura 2. Instrucciones incluidas en el GPT® personalizado.

Finalmente, el equipo investigador revisó los resúmenes uno a uno para confirmar su adecuación, lo que permitió eliminar 73 documentos y mantener 32 artículos para el análisis sistemático.

Esta combinación de revisión automática y verificación humana garantizó eficiencia sin comprometer la validez metodológica del estudio (figura 3).

El riesgo de sesgo se redujo con las medidas estandarizadas utilizadas según el protocolo PRISMA. Las fuentes seleccionadas consistieron en documentos publicados en revistas sometidas a revisión por pares, garantizando así la calidad y rigor de las investigaciones incluidas.

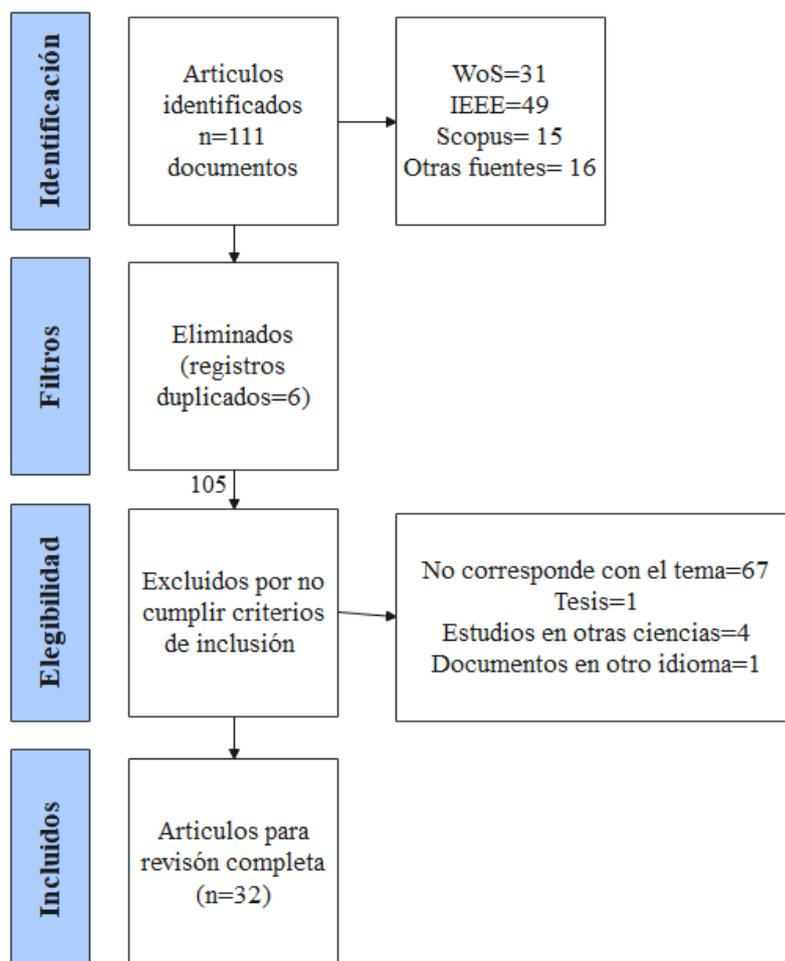


Figura 3. Diagrama de flujo para la selección de estudios según el protocolo PRISMA.

Análisis de datos

Con los documentos resultantes (n=32), se realizó un análisis bibliométrico de co-ocurrencia utilizando el software VOSviewer 1.6.20. Para ello, se definieron los siguientes parámetros propios del software: a) mapa basado en datos bibliográficos, b) tipo de análisis de co-ocurrencia, c) unidad de análisis todas las palabras claves y d) método de conteo total con un número mínimo de ocurrencias igual a 5. Posteriormente, mediante la lectura completa de los artículos se realizó la síntesis de los principales resultados y conclusiones presentados para abordar las cuatro preguntas de investigación establecidas.

El análisis de los documentos seleccionados se llevó a cabo utilizando un enfoque mixto, apoyado por estadística descriptiva. En la tabla 2, se muestran las categorías de análisis establecidas. El análisis de la información se realizó con el software Excel® y el programa Edraw® para el diseño gráfico de las figuras.

Tabla 2. Categorías de análisis para responder las preguntas de investigación.

Código de la pregunta	Categorías de análisis
P1	<p>a) Autores. b) Volumen de publicaciones por año. c) Distribución geográfica de la investigación. d) Tipo de artículo (Lima y col., 2016):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Técnico (T): documentos que describen el diseño, desarrollo, implementación, funcionamiento y mejoras técnicas de los LR. • Didácticos (D): documentos que analizan la implementación y los resultados del uso de los LR en cursos específicos. Se enfocan en su forma de integración en la enseñanza, las estrategias didácticas empleadas, los objetivos educativos y los resultados de aprendizaje obtenidos.
P2	<p>a) Áreas específicas de la química (orgánica, inorgánica, analítica, fisicoquímica, bioquímica, ingeniería química). b) Temas específicos abordados. c) Nivel de complejidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Intermedio: aplicación de conceptos fundamentales de la química e interpretación de gráficos y datos experimentales. • Avanzado: aplicación de conceptos avanzados de la química e interpretación de gráficos y datos experimentales. <p>Las estrategias didácticas se clasificaron (Idoyaga y col., 2021):</p>
P3	<p>a) Estrategia mimética: docentes hacen una demostración utilizando el LR y estudiantes replican las acciones. b) Estrategia directriz: las personas docentes proporcionan una serie de protocolos a seguir por las personas estudiantes. c) Estrategia exploratoria: las personas estudiantes acceden al LR de forma autónoma. d) Estrategia contextual: la persona docente presenta un estudio de caso que se resolverá con el uso de LR.</p> <p>Las habilidades se clasificaron en (Sepúlveda Obreque y col., 2023):</p>
P4	<p>a) Básicas (técnicas): observar y describir fenómenos, realizar mediciones, registro de datos, comunicar y comparar ideas, organizar e interpretar tablas o gráficos. b) Investigativas (cognitivas): Formula preguntas sobre los fenómenos, identifica variables, diseña experimentos para contrastar variables, explica hallazgos, resolución de problemas, seleccionar instrumentos adecuados, plantear conclusiones, predecir resultados, formular y contrastar hipótesis. c) Reflexivas y críticas (metacognitivas): Análisis o reflexión crítica, comunicación científica, discusión de resultados, autoevaluación, creatividad, analiza evidencias, evaluación de procesos, aplicar conocimientos en contextos nuevos, proponer soluciones a problemas.</p>

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La red bibliométrica de palabras claves está compuesta por cuatro clústeres y se presenta en la figura 4; el término que resalta en el mapa es "laboratorio remoto" relacionándose con los otros clústeres. El clúster rojo destaca los enfoques en la enseñanza de la química con apoyo de la tecnología, ya que incluye términos como "educación", "Química", "control de procesos", "educación en línea" y "control remoto". Este patrón sugiere una orientación

hacia propuestas didácticas que integran automatización y plataformas digitales para la gestión de prácticas de laboratorio.

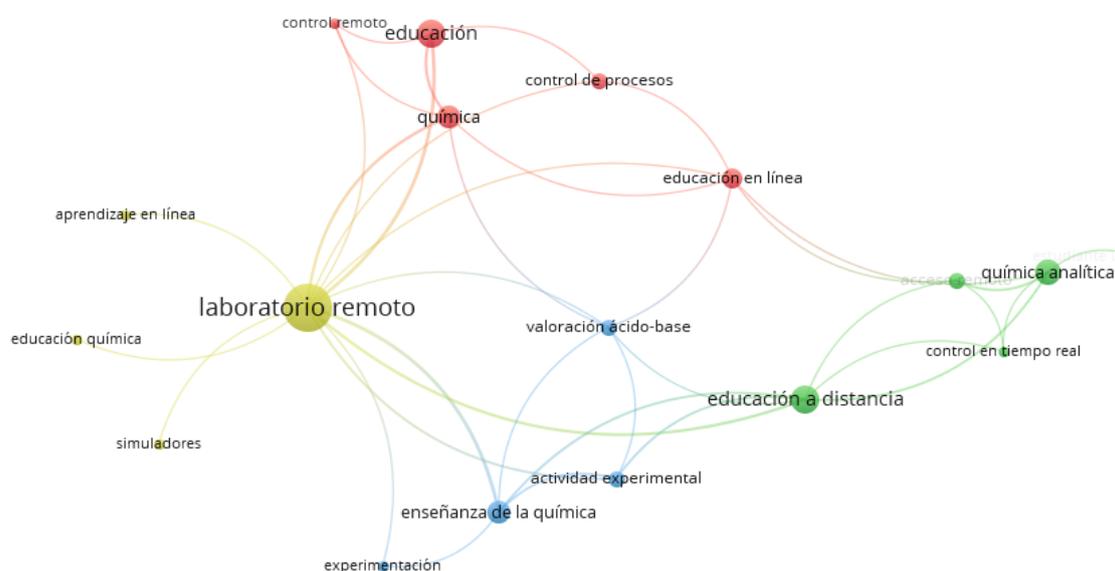


Figura 4. Red bibliométrica de co-ocurrencia de palabras obtenida de las palabras claves de los documentos seleccionados para el análisis sistemático.

Por otra parte, el clúster verde agrupa términos como "educación a distancia", "Química Analítica", "control en tiempo real" y "acceso remoto", lo cual indica un fuerte vínculo entre los LR y la enseñanza de contenidos específicos como la química analítica, destacando la importancia del monitoreo remoto de variables experimentales.

Seguidamente, el clúster azul asocia conceptos sobre la integración de los LR en la enseñanza de la química, haciendo énfasis en la "actividad experimental" y el tema de "valoración ácido-base", reflejando un interés por mantener la práctica científica aún en entornos virtuales.

Finalmente, el clúster amarillo incluye términos como "laboratorio remoto", "educación química", "simuladores" y "aprendizaje en línea", destacando la relevancia de los LR en el aprendizaje virtual de la química.

A continuación, se describirán los principales resultados para dar respuestas a las preguntas de investigación planteadas.

Evolución de la investigación sobre LR en la enseñanza y aprendizaje de la química

En la tabla 3, se resumen la información relativa a la autoría, el año de publicación, la distribución geográfica y el tipo de artículo. La revisión sistemática considera un periodo de 24 años, la mayor concentración de estudios se encuentra entre los años 2020 y 2024.

Tabla 3. Datos identificativos de los artículos utilizados en el análisis bibliométrico.

Núm.	Autores y año	País	Tipo de artículo	Núm.	Autores y año	País	Tipo de artículo
1	(Soong y col., 2021)	CAN	Didáctico	17	(Idoyaga, y col., 2020)	CRI, ARG	Didáctico
2	(Leal y Leal, 2013)	PRT	Didáctico	18	(Idoyaga y col., 2021b)	CRI, ARG	Didáctico
3	(Schulz y col., 2016)	DEU	Didáctico	19	(Wei y col., 2022)	GBR, AUS	Técnico
4	(Sipka y Bartova, 2021)	CZE	Didáctico	20	(Kantor y col., 2022)	USA	Didáctico
5	(Al-Najjar y col., 2023)	USA	Técnico	21	(Nolvachai y col., 2023)	AUS	Didáctico
6	(Arguedas-Matarrita, 2021)	CRI, ESP	Técnico	22	(Schauer y col., 2012)	SVK, CZE	Didáctico
7	(Baran y col., 2004)	CAN	Didáctico	23	(Clavijo y col., 2020)	ARG	Didáctico
8	(Tomé de Paula Campos y col., 2019)	BRA	Didáctico	24	(Montero-Miranda y col., 2022)	CRI	Didáctico
9	(Grassini y Lombardo, 2024)	ITA	Didáctico	25	(Capuya y col., 2023)	CRI, ARG	Didáctico
10	(Montero-Miranda y col., 2022)	CRI, ARG	Didáctico	26	(Cedazo y col., 2006)	ESP	Técnico
11	(Kennepohl y col., 2005)	CAN	Didáctico	27	(Abdulwahed y Nagy, 2013)	GBR	Didáctico
12	(Aubel y col., 2022)	DEU	Didáctico	28	(Wong y Kapila, 2001)	USA	Didáctico
13	(Lu y col., 2021)	CHN	Didáctico	29	(Lima y col., 2023)	PRT	Técnico
14	(Idoyaga y col., 2020)	CRI, ARG	Didáctico	30	(Frede y col., 2022)	DEU	Técnico
15	(Lizano-Sánchez y col., 2024)	CRI	Técnico	31	(Xie y col., 2022)	USA	Técnico
16	(Elizondo-Blanco y col., 2024)	CRI	Técnico	32	(Pokoo-Aikins y col., 2019)	USA	Didáctico

Como se puede observar los 32 artículos analizados provienen de 11 países, principalmente de las regiones de América del Norte (10), América Latina (11) y Europa (9). En relación con la distribución de artículos según su tipo, 23 se clasificaron como didácticos y 9 como técnicos. Costa Rica y Argentina son los países que lideran en publicaciones didácticas en colaboración. Costa Rica está presente en 6 artículos didácticos y 3 técnicos. Por otro lado, países como Estados Unidos y Alemania tienen una mayor cantidad de publicaciones técnicas, centradas en el diseño y desarrollo de los LR. En la figura 5, se muestra la distribución de documentos por año, donde se puede observar una mayor cantidad de publicaciones en los últimos 6 años (75%).

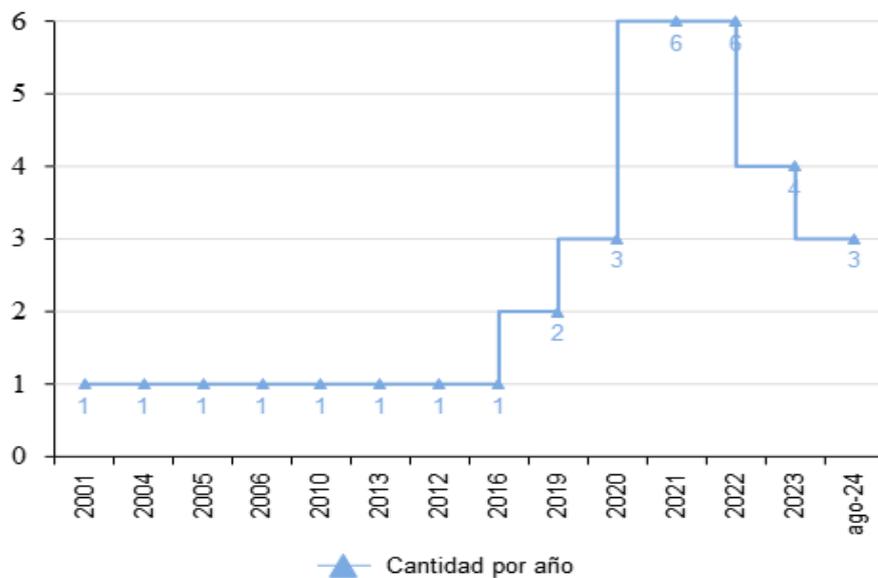


Figura 5. Representación gráfica correspondiente a la distribución temporal a los documentos analizados.

Áreas de la química, nivel de complejidad y contenidos temáticos específicos

La figura 6 representa la distribución de artículos por área de la química y nivel de complejidad. En cuanto a las áreas de la química abordadas en los artículos sobre LR, destaca en primer lugar la Química Analítica, representando un 50,0% de las publicaciones. Esto puede atribuirse al uso de métodos instrumentales para el análisis cuantitativo.

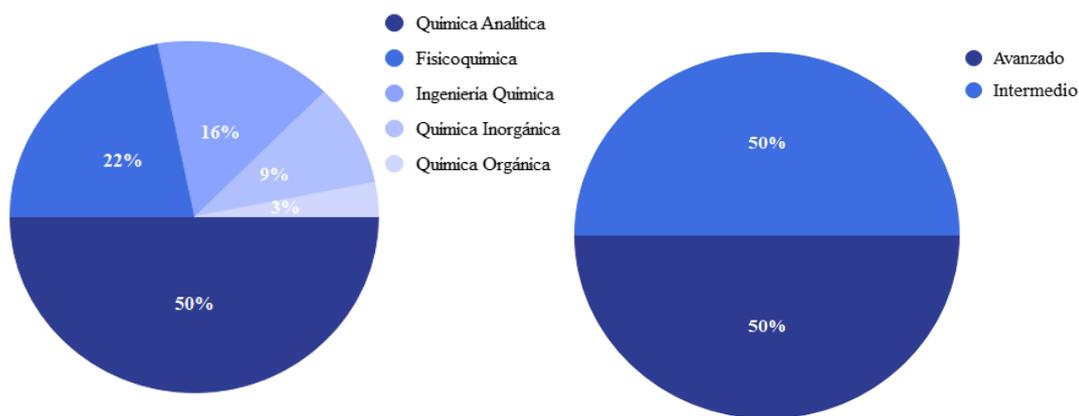


Figura 6. Distribución de artículos por área de la química y nivel de complejidad.

La adaptación de estos métodos para su implementación en LR es más factible debido a la precisión y la replicabilidad que ofrecen los instrumentos analíticos modernos, los cuales pueden ser controlados y monitoreados a

distancia. Otras áreas abordadas en los LR son la Fisicoquímica (22,0%) y la Ingeniería Química (16,0%).

El nivel de complejidad de los LR indicados en las publicaciones se distribuye equitativamente, con un 50% de LR clasificados con un nivel intermedio y el otro 50% como avanzado. Esta distribución refleja la diversidad de los temas abordados, donde algunos estudios exploran aspectos de la Química con un mayor grado de profundidad y configuraciones más complejas de LR.

Los temas específicos abordados se muestran en la tabla 4. La "Valoración ácido-base" es el tema más recurrente, mencionado en 8 artículos, seguido por la "Ley de Boyle" (3) y el "Control de procesos" (3). También se han explorado temas más especializadas y novedosas en los LR, como cromatografía (Schulz y col., 2016; Al-Najjar y col., 2023; Nolvachai y col., 2023), espectroscopía (Baran y col., 2004; Al-Najjar y col., 2023) y electroquímica (Schauer y col., 2012).

Tabla 4. Temas específicos abordados en los LR.

Área	Temas
Química Analítica	Valoración ácido base, cromatografía, espectroscopia, reacciones en equilibrio, ensayos de flujo lateral.
Fisicoquímica	Ley de Boyle, Ley de Gay-Lussac, sistemas térmicos, transferencia de calor, entropía y entalpía, expansión térmica de metales.
Ingeniería Química	Reactores, control de procesos, difusión de líquidos.
Química Inorgánica	Electroquímica, formación de cristales y procesos de corrosión.
Química Orgánica	Destilación

Estrategias didácticas

Para responder a la tercera pregunta de investigación, se analizaron todos los documentos clasificados como didácticos de la tabla 3 y se categorizaron según las estrategias empleadas (figura 7).

De los 23 artículos analizados, el 43,5% (10) fueron identificados que utilizaron una estrategia exploratoria, el 34,8% (8) directriz, y el 21,7% (5) contextual.

La estrategia exploratoria según los artículos analizados se caracterizaba porque las personas estudiantes accedían al LR de manera autónoma, con un alto grado de independencia en la ejecución de las actividades. Además, las personas estudiantes interactuaban con los equipos a través de la interfaz remota, pudiendo medir y modificar parámetros experimentales desde sus hogares (Leal y Leal, 2013; Nolvachai y col., 2023).

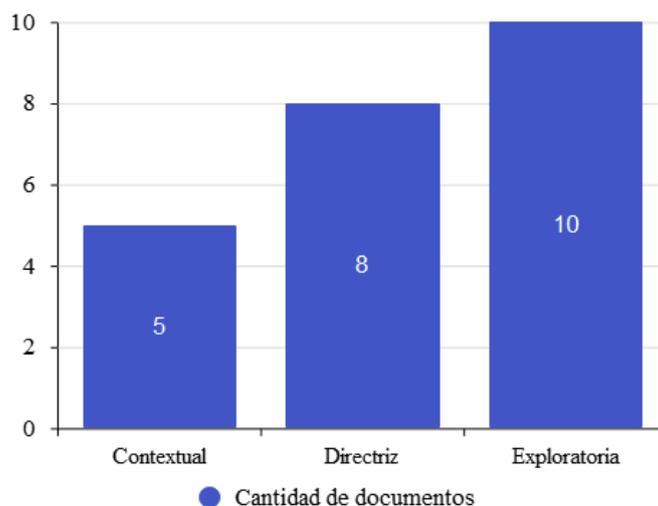


Figura 7. Distribución de artículos según las estrategias didácticas abordadas.

En general en los artículos que se utilizaron estrategias directrices, se determinó que las personas estudiantes reciben instrucciones precisas sobre cómo utilizar el LR. Por ejemplo, en los documentos que abordaban el tema de valoración ácido-base se proporcionaron guías de como ir ejecutando el experimento con el LR a través del sistema de control en línea, estas instrucciones abordaban actividades como elegir el valorante, ajustar el flujo del reactivo y monitorear los cambios visuales a través de la interfaz (Soong y col., 2021; Montero-Miranda y col., 2022; Idoyaga y col., 2023).

Con respecto a los artículos clasificados como contextuales; las personas estudiantes fueron introducidos a un problema real y debían aplicar sus conocimientos para resolver este problema utilizando las herramientas proporcionadas en el LR. Por ejemplo, en el estudio de Aubel y col. (2022), las personas estudiantes se enfrentaron a escenarios industriales específicos.

Habilidades Científicas

En cuanto a la respuesta de la pregunta de investigación número cuatro, se determinó que varios artículos mencionan cómo los LR fomentan HC en las personas estudiantes (figura 8). Sin embargo, en la mayoría de los casos, estas menciones se basan en referencias teóricas o suposiciones empíricas. De los 32 artículos analizados, 13 (40,6%) no hacen ninguna referencia a las HC. Por otro lado, 19 (59,4%) artículos sí mencionaban en el texto HC, pero solo 6 documentos cuentan con un análisis más profundo y explícito, fundamentado en la aplicación práctica de LR con grupos de estudiantes y la utilización de instrumentos para la medición de las habilidades.

Los artículos que en su texto mencionaban habilidades que se clasificaron como de "habilidades básicas" (6 documentos, 18,8%), indican que, mediante el uso de los LR, las personas desarrollan habilidades como la observación, medición, y registro de datos.

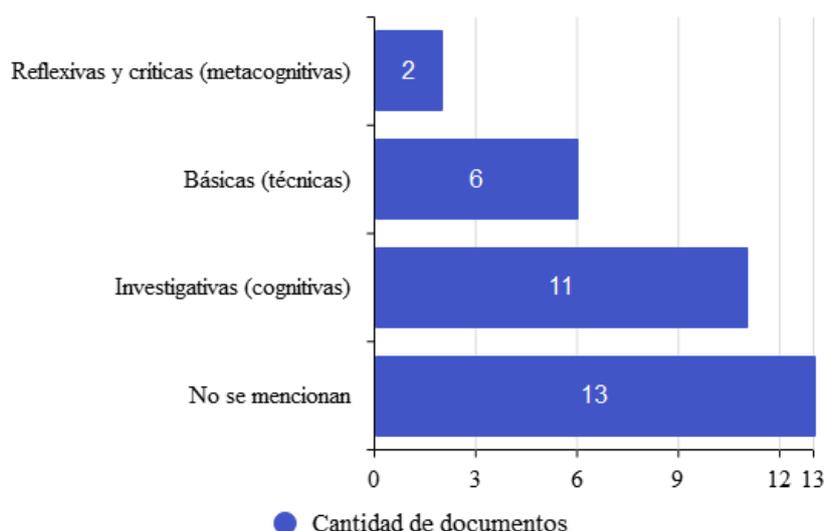


Figura 8. Distribución de artículos según las habilidades descritas en el texto del documento.

En el artículo "Impacto de los laboratorios remotos ultra concurrentes para el desarrollo de la actividad experimental en química" menciona específicamente que los LR desarrollados en la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica durante la pandemia, como el de valoración ácido-base y Ley de Boyle, permitieron a las personas estudiantes desarrollar habilidades experimentales, analíticas y de observación al acceder a experiencias de laboratorio basadas en datos reales (Lizano-Sánchez y col., 2024).

Los artículos que en su texto mencionaban habilidades que se clasificaron como de "habilidades investigativas" (11 documentos, 34,4%), de forma general indican que las personas estudiantes podían manipular parámetros experimentales, ejecutar experimentos reales, analizar datos recopilados y preparar informes, estas actividades son directamente relacionadas con habilidades como la formulación de preguntas, el diseño de experimentos, la resolución de problemas y la interpretación de resultados. En el artículo de Schulz y col. (2016), se indica que estudiantes desarrollaban habilidades relacionadas con el uso de métodos cromatográficos, lo que les permite formular preguntas, diseñar experimentos y resolver problemas complejos.

Otro ejemplo, es el estudio de Grassini y Lombardo (2024), donde se evidenció que el diseño y la configuración de experimentos, junto con la observación y el análisis en tiempo real, pueden fortalecer las habilidades como la identificación de variables, la toma de decisiones informadas y la elaboración de conclusiones fundamentadas en datos experimentales.

Por último, solo 2 (6,3%) artículos mencionan habilidades de orden superior como la reflexión y la crítica. En el artículo denominado "Rectification Laboratory - from in-lab to remote - the development story" destaca que las personas estudiantes adquieren habilidades en el control de sistemas de producción a través de un sistema de control y se enfrentan a la aplicación de tecnología de procesos, lo que amplía los objetivos de aprendizaje para incluir nuevas competencias como el manejo de datos y el aprendizaje basado en problemas. Además, se enfatiza la capacidad para experimentar con

parámetros del proceso y aprender de los errores, lo que fomenta un aprendizaje más independiente y autodirigido (Aubel y col., 2022). Estas actividades están relacionadas con el análisis crítico, la autoevaluación, la creatividad, y la aplicación del conocimiento en contextos nuevos, que son características clave de las habilidades metacognitivas. Como se mencionó anteriormente, solo 6 (18,8%) artículos incluyeron en su metodología la aplicación de los LR con grupos de estudiantes y el análisis explícitamente de las HC fomentadas con la experiencia. A continuación, se realiza una breve descripción de estos artículos:

- "Analysis and Characterization of Student Interactions in a Remote Laboratory: Measurement of the Enthalpy and Entropy of Vaporization of n-Octane": Este artículo explora cómo las personas estudiantes desarrollan HC a través de la interacción con el LR, incluyendo la recopilación e interpretación de datos, la prueba de hipótesis, y la elaboración de conclusiones. Las personas autoras utilizaron instrumentos específicos para medir estas habilidades.
- "Teaching Analytical Instrumentation Through Remote Access – A Gas Chromatography Perspective": Este documento examina cómo las personas estudiantes desarrollan habilidades relacionadas con la manipulación de parámetros experimentales y el análisis de datos, mediante la operación independiente de instrumentos de cromatografía de gases (GC) a través de una interfaz remota.
- "Engaging Students in Distance Learning of Science With Remote Labs 2.0": Este artículo discute cómo las personas estudiantes mejoran sus habilidades de razonamiento basados en la aplican instrumentos para medir HC. Se encontró que las personas estudiantes diseñaban experimentos, formulaban hipótesis y realizaban análisis de datos.
- "Mechatronics/Process Control Remote Laboratory": En este artículo se emplearon instrumentos para evaluar cómo, tras su participación en el LR, las personas estudiantes desarrollaban habilidades en el diseño, análisis, implementación y validación de experimentos, así como en la comprensión de conceptos abstractos y el aprendizaje cooperativo.
- "Designing and Implementing VR2E2C, a Virtual Reality Remote Education for Experimental Chemistry System": En este documento se midió la mejora en la comprensión de procesos experimentales y la capacidad de las personas estudiantes para analizar los efectos de los cambios en las condiciones experimentales. Se utilizaron instrumentos para evaluar el desarrollo de habilidades investigativas mediante el uso del LR.
- "Análisis del diseño experimental de dos laboratorios remotos diferidos para la enseñanza de la valoración ácido-base en Química": Este artículo se centró en el análisis del diseño e implementación de los laboratorios, así como en la percepción cualitativa de estudiantes y profesores. Menciona que los LR fomentan habilidades en observación y análisis de fenómenos, manipulación de variables experimentales, interpretación de datos y desarrollo de procedimientos sensoriomotores.

Aunque estos estudios proporcionan una base sobre el impacto de los LR en la educación científica y en el fomento de habilidades en el área de química, la investigación en este campo es limitada. Existe la necesidad de realizar

más estudios que no solo describan el desarrollo y la implementación de los LR, sino que también apliquen instrumentos específicos para la recolección de datos y la evaluación sistemática de las HC desarrolladas por las personas estudiantes. Esto es esencial para comprender el potencial de los LR en la formación científica y optimizar su implementación en entornos educativos.

Para superar estas limitaciones identificadas, se recomienda incorporar en las intervenciones educativas, instrumentos estandarizados de evaluación de las HC. Además, en las plataformas de los LR podrían integrarse herramientas de seguimiento digital que permitan registrar procesos y decisiones del estudiantado durante la experimentación. Estas estrategias deben acompañarse de procesos de validación empírica y triangulación con técnicas cualitativas, como entrevistas o grupos focales, que aporten evidencia complementaria sobre el desarrollo de las HC en contextos reales.

Este estudio no presenta una propuesta didáctica, sin embargo, los hallazgos obtenidos permiten identificar elementos clave para su diseño. En este sentido, se considera oportuno desarrollar una intervención educativa o una secuencia de enseñanza-aprendizaje basada en LR que integre estrategias activas centradas en el desarrollo y la evaluación explícita de las HC. Esta propuesta futura podría consolidarse mediante un estudio sistemático que permita validar su efectividad en contextos reales de enseñanza de la química.

CONCLUSIONES

La distribución de los clústeres en el mapa de co-ocurrencia revela que los LR se están utilizando con distintos enfoques en la enseñanza de la química, destacados la integración de la Química Analítica a nivel universitario. Esto coincide con lo encontrado en el análisis de los LR por área de la química, donde la Química Analítica representa el 50% de las publicaciones, reflejando la facilidad de adaptación de los métodos instrumentales, para que puedan ser controlados y monitoreados a distancia a través de una interfaz; lo que refuerza la importancia de los LR en este campo.

La revisión sistemática revela un aumento significativo en la investigación sobre LR para la enseñanza y aprendizaje de la química en los últimos seis años, con un 75% de las publicaciones concentradas entre 2020 y 2024. La distribución equitativa de la complejidad de los LR, con un 50% clasificados como intermedios y el otro 50% como avanzados, refleja la capacidad de este tipo de experimentación para abordar una amplia gama de temas en la química.

El análisis de las estrategias didácticas utilizadas en los LR revela una predominancia de la estrategia exploratoria, empleada en el 43,5% de los artículos analizados, donde las personas estudiantes acceden al laboratorio de manera autónoma, permitiéndoles una interacción directa y flexible con los experimentos. La estrategia directriz, utilizada en el 34,8% de los estudios, se enfoca en guiar a las personas estudiantes a través de instrucciones precisas para la ejecución de actividades específicas, como en los experimentos de valoración ácido-base. Por último, la estrategia contextual, aplicada en el 21,7% de los casos, involucra la resolución de problemas reales utilizando el LR. Estas estrategias reflejan un enfoque

diverso en la enseñanza de la química mediante LR, adaptándose a diferentes necesidades pedagógicas y niveles de autonomía estudiantil.

El análisis de los artículos revela que, aunque la mayoría de los autores reconoce el potencial de los LR para fomentar HC, solo un pequeño número de estudios realiza un análisis fundamentado en la aplicación práctica con grupos de estudiantes. De los 32 artículos revisados, solo 6 (18,8%) emplearon instrumentos específicos para medir de manera sistemática las HC desarrolladas. La mayoría de los estudios se limitan a menciones teóricas o empíricas, dejando una brecha en este punto que necesita ser abordada. Futuras investigaciones no deben limitarse a describir el desarrollo e implementación de los LR, sino que también se evalúe de acuerdo con los alcances de las investigaciones, incluir la aplicación de metodologías más rigurosas y herramientas de evaluación que permitan medir el impacto de estos laboratorios en la formación de HC, a fin de optimizar su uso y maximizar su efectividad en entornos educativos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arguedas-Matarrita, C., Montero-Miranda, Eric., Vargas-Badilla, Laura., Sánchez-Brenes, R., Ríos-Badilla, E., Orduña, P. y Rodríguez-Gil, L. (2021). Design and development of an ultra-concurred laboratory for the study of an Acid-Base Titration (ABT) at the Universidad Estatal a Distancia (UNED), Costa Rica. *Online Engineering and Society 4.0.REV 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*, 298. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-82529-4_13
- Al-Najjar, A., Rao, N. S. V., Sankaran, R., Zandi, H., Mukherjee, D., Ziatdinov, M. y Bridges, C. (2023). Cyber Framework for Steering and Measurements *Collection over Instrument-Computing Ecosystems. Proceedings - 2023 IEEE International Conference on Smart Computing, SMARTCOMP 2023*, 198–200. <https://doi.org/10.1109/SMARTCOMP58114.2023.00046>
- Aubel, I., Kaiser, D. y Bertau, M. (2022). Rectification Laboratory - from in-lab to remote - the development story. *2022 IEEE German Education Conference, GeCon 2022*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/GeCon55699.2022.9942756>
- Baran, J., Currie, R. y Kennepohl, D. (2004). Remote Instrumentation for the Teaching Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 81(12), 1814. <https://doi.org/10.1021/ed081p1814>
- Bauzha, O., Kozinetz, A., Sus, B., Chaikivskyi, T. y Zagorodnyuk, S. (2021). Applying the Communication Technologies for Remote Laboratory Works and Reseach Experiments. *UkrMiCo 2021 - 2021 IEEE International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, Proceedings*, 97–102. <https://doi.org/10.1109/UkrMiCo52950.2021.9716597>
- Capuya, F., Montero Miranda, E., Arguedas Matarrita, C. e Idoyaga, I. Laboratorios Remotos: Un recurso para el aprendizaje de la temática de gases en cursos universitarios masivos en Argentina durante la pandemia

- de la COVID. *Innovaciones Educativas*, 25(38), 246–262.
<https://doi.org/10.22458/ie.v25i38.4121>
- Cedazo, R., Sánchez, F. M., Sebastián, J. M., Martínez, A., Pinazo, A., Barros, B. y Read, T. (2006). Ciclope Chemical: A remote laboratory to control a spectrograph. *Engineering and Computer Education*.
<http://www.ciclope.info>
- Clavijo, S., Serrano, G. y Catalán, L. (2020). Experiencias en metalurgia a través de un laboratorio remoto flexible con dispositivos programables. *Revista Enseñanza de La Física*, 32, 71-78.
<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/30968>
- Etkina, E., Brookes, D. y Planinsic, G. (2019). *Investigative Science Learning Environment When learning physics mirrors doing physics*. Morgan & Claypool Publishers. <https://doi.org/10.1088/2053-2571/ab3ebd>
- Elizondo-Blanco, D., Obando-Viquez, M. P. y Lizano-Sánchez, F. (2024). Desarrollo de un laboratorio remoto para el estudio de la expansión térmica de los metales. *Revista Nuevas Perspectivas*, 3(5).
<https://revistanuevasperspectivas.aduba.org.ar/ojs/index.php/nuevasperspectivas/article/view/55#:~:text=//revistanuevasperspectivas.aduba.org.ar/ojs/index.php/nuevasperspectivas/article/view/55>
- Frede, T. A., Hoving, S., Boettcher, K. E. R., Aubel, I., & Kockmann, N. (2022). Microcontroller-based Titration for Remote Lab. *2022 IEEE German Education Conference, GeCon 2022*.
<https://doi.org/10.1109/GeCon55699.2022.9942767>
- García-Peñalvo, F. J., Llorens-Largo, F., y Vidal, J. (2024). The new reality of education in the face of advances in generative artificial intelligence. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 27(1), 9–39.
<https://doi.org/10.5944/ried.27.1.37716>
- González-Pérez, L. I., Ramírez-Montoya, M. S., y García-Peñalvo, F. J. (2022). Technological Enablers 4.0 to Drive Open Science and Education: Input to UNESCO Recommendations. *RIED-Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 25(2), 23–48.
<https://doi.org/10.5944/ried.25.2.33088>
- Grassini, S. y Lombardo, L. (2024). New Insights in Remote Teaching and Learning of Instrumentation and Measurement: The iHomeX Remote Lab Project. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 27(1), 26-30.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/10423663#:~:text=DOI%3A%2010.1109/MIM.2024.10423663>
- Idoyaga, I. (2023). El Laboratorio Extendido: nuevas perspectivas para el diseño de la enseñanza de las ciencias naturales en contextos digitales. *Innovaciones Educativas*, 25(Especial), 44–58.
<https://doi.org/10.22458/ie.v25iespecial.5083>
- Idoyaga, I. J., Vargas-Badilla, L., Moya, C. N., Montero-Miranda, E., Maeyoshimoto, J. E., Capuya, F. G. y Arguedas-Matarrita, C. (2021). Knowledge of university faculty about teaching chemistry with remote

- laboratories. *Educación Química*, 32(5), 154–167. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.5.79189>
- Idoyaga, I., Vargas-Badilla, L., Moya, C. N., Montero-Miranda, E. y Garro-Mora, A. L. (2020). El Laboratorio Remoto: una alternativa para extender la actividad experimental. *Campo Universitario*, 2. <https://www.researchgate.net/publication/347112572>
- Kantor, A. G., Scherr, T. F., Wright, D. W. y Verberne-Sutton, S. D. (2022). Incorporating Lateral Flow Assays into Undergraduate Analytical Chemistry Lab Curricula for In-Person, Hybrid, and Remote Learning Formats. *Journal of Chemical Education*, 99(2), 902–909. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00088>
- Kelley, E. W. (2020). Reflections on three different high school chemistry lab formats during covid-19 remote learning. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 2606–2616. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00814>
- Kennepohl, D., Baran, J., Connors, M., Quigley, K. y Currie, R. (2005). Remote access to instrumental analysis for distance education in science. *International Review of Research in Open and Distance Learning*, 6(3), 1-14. <https://doi.org/10.19173/irrodl.v6i3.260>
- Leal, S. y Leal, J. P. (2013). A new Chemistry e-lab experiment: Chemical equilibrium reaction. *IEEE*, 154–155.
- Lima, J., Brito, T., Ferreira, O., Afonso, M. J., Pinto, V. H., Carvalho, J. A. y Costa, P. (2023). A Data logger for educational purposes of a laboratory chemical reactor: an IoT approach. *International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering, ICECCME 2023*. <https://doi.org/10.1109/ICECCME57830.2023.10253326>
- Lima, N., Viegas, C., Alves, G. y Garcia-Penalvo, F. J. (2016). VISIR's Usage as an Educational Resource: A Review of the Empirical Research. *ACM International Conference Proceeding Series*, 02-04-November 2016, 893–901. <https://doi.org/10.1145/3012430.3012623>
- Lizano-Sánchez, F., Montero-Miranda, E., Sánchez-Brenes, R. y Arguedas-Matarrita, C. (2024). Impacto de los laboratorios remotos ultra concurrentes para el desarrollo de la actividad experimental en química. *Repertorio Científico*, 27, 50–63. <https://doi.org/10.22458/rc.v27iEspecial.5273>
- Lu, Y., Xu, Y. y Zhu, X. (2021). Designing and Implementing VR2E2C, a Virtual Reality Remote Education for Experimental Chemistry System. *Journal of Chemical Education*, 98(8), 2720–2725. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00439>
- May, D., Alves, G. R., Kist, A. A. y Zvacek, S. M. (2023). Online Laboratories in Engineering Education Research and Practice. In *International Handbook of Engineering Education Research* (pp. 525–552). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003287483-29>
- McGlynn, D. F., Panji, N. S., Frazier, G., Bi, C. e Isaacman-VanWertz, G. (2023). An autonomous remotely operated gas chromatograph for

- chemically resolved monitoring of atmospheric volatile organic compounds. *Environmental Science: Atmospheres*, 3(2), 387–398. <https://doi.org/10.1039/d2ea00079b>
- Montero-Miranda, Er., Lizano-Sánchez, F., Castillo-Rodríguez, K. y Arguedas-Matarrita, C. (2022). Actualización docente en la Experimentación Remota: El caso de la Ley de Boyle. *Nuevas Perspectivas*, 1(1), 1-17. <https://revistanuevasperspectivas.aduba.org.ar/ojs/index.php/nuevasperspectivas/article/view/1>
- Navarro, E. A., Moya, C. N., Lizano-Sánchez, F., Arguedas-Matarrita, C., Ley, C. M. e Idoyaga, I. (2024). Study of Free Fall Using an Ultra-Concurrent Laboratory at the University. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, 20(2), 4–15. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v20i02.43099>
- Nolvachai, Y., Zavahir, J. S., Herron, R. y Marriott, P. J. (2023). Teaching Analytical Instrumentation Through Remote Access - A Gas Chromatography Perspective. *Journal of Chemical Education*, 100(3), 1100–1108. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00569>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. In *The BMJ* (Vol. 372). BMJ Publishing Group. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pinto, S. I. S. y Zvacek, S. M. (2022). Cognitive apprenticeship and T-shaped instructional design in computational fluid mechanics: Student perspectives on learning. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 50(1), 51–77. <https://doi.org/10.1177/0306419020915725>
- Pokoo-Aikins, G., Hunsu, N. y May, D. (2019). Development of a Remote Laboratory Diffusion Experiment Module for an Enhanced Laboratory Experience. *IEEE*.
- Ramos Mejía, A. (2020). Enseñar química en un mundo complejo. *Educación Química*, 31(2), 91-101. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.2.70401>
- Rubim, J. P., Mota, V. P., García, L. G., de Brito, G. L. R. y Dos Santos, G. F. (2019). The use of remote experimentation as a teaching tool: A literature review. *International Journal of Information and Education Technology*, 9(11), 826–830. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2019.9.11.1312>
- Saravana Mohan, M., Karthikeyan, P., Ram Kumar, D. y Rupesh, M. (2019). Remote laboratory. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(6 Special issue), 554–559. <https://doi.org/10.35940/ijeat.F1112.0886S19>
- Schauer, F., Gerhatova, Z., Ozvoldova, M., Cernansky, P. y Tkac, L. (2012). *Electrochemistry Remote Experiment - Galvanic Cell - II*. IEEE.

<https://doi.org/10.1109/REV.2012.6293184>

- Schulz, W., Fournier, C., Vahlbruch, J. W., Walther, C. (2016). IonLab - A remote-controlled experiment for academic and vocational education and training on extraction chromatography and ion exchange. *Radiochimica Acta*, 104(10), 743–748. <https://doi.org/10.1515/ract-2016-2588>
- Seery, M. K., Agustian, H. Y., Christiansen, F. V., Gammelgaard, B. y Malm, R. H. (2023). 10 Guiding principles for learning in the laboratory. *Chemistry Education Research and Practice*, 25, 383–402. <https://doi.org/10.1039/d3rp00245d>
- Silva, J. B. da, Meister Sommer Bilessimo, S., Scheffer, G. R. y Nardi da Silva, I. (2020). Laboratórios Remotos como Alternativa para Atividades Práticas em Cursos na Modalidade EAD. *EaD Em Foco*, 10(2). <https://doi.org/10.18264/eadf.v10i2.942>
- Sipka, R. y Bartova, D. (2021). Virtual laboratory based on reactor furnace control. *Proceedings of the 2021 23rd International Conference on Process Control, PC 2021*, 125–130. <https://doi.org/10.1109/PC52310.2021.9447529>
- Soong, R., Jenne, A., Lysak, D. H., Ghosh Biswas, R., Adamo, A., Kim, K. S. y Simpson, A. (2021). Titrate over the Internet: An Open-Source Remote-Control Titration Unit for All Students. *Journal of Chemical Education*, 98(3), 1037–1042. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01096>
- Trejo Lorenzana, M. M., Custodio Carrillo, Y., Pérez Ángeles, V. y Valdez Parra, R. (2024). Importancia de las Habilidades de Pensamiento de Orden Superior e Inferior en la Educación Superior. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 6137–6171. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3.11813
- Villalobos-González, W., Mora-Barrantes, J. C., Hernández-Chaverri, R., Villalobos-Forbes, M. (2022). Evaluación de la implementación de enseñanza remota de emergencia durante el contexto COVID-19: un caso de estudio en asignaturas de laboratorio de química en una institución de educación superior. *Revista Tecnología En Marcha*, 35(5), 272–285. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i5.6194>
- Wei, J., Treagust, D. F., Mocerino, M., Wallace, A. D. y Brown, T. C. (2022). Analysis and Characterization of Student Interactions in a Remote Laboratory: Measurement of the Enthalpy and Entropy of Vaporization of n-Octane. *Journal of Chemical Education*, 99(3), 1201–1210. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00697>
- Xie, C., Li, C., Sung, S. y Jiang, R. (2022). Engaging Students in Distance Learning of Science With Remote Labs 2.0. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 15(1), 15–31. <https://doi.org/10.1109/TLT.2022.3153005>
- Zapata, L. y Larrondo-Petrie, M. (2016). Models of Remote Laboratories and Collaborative Roles for Learning Environments. *International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)*, 423–429. <https://doi.org/10.1109/REV.2016.7444517>