



Propuesta didáctica para la enseñanza de curvas de titulación ácido-base utilizando recursos digitales interactivos

Teaching proposal for teaching acid-base titration curves using interactive digital resources

Carmen Mercedes Nicolalde-Guanoluisa
carmen.nicolalde@quito.gob.ec

Unidad Educativa Municipal Cotacollao, Quito, Pichincha, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0006-2158-2996>

Adriana Eugenia Barahona-Ibarra
abarahonai@uce.edu.ec

Universidad Central del Ecuador, Quito, Pichincha, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0003-2196-1954>

Sonia Amparo Gómez-Gómez
sonia.gomez@quito.gob.ec

Unidad Educativa Municipal Oswaldo Lombeyda, Quito, Pichincha, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0007-6728-2312>

Alejandro Bayas-Vallejo
abayasv@uce.edu.ec

Universidad Central del Ecuador, Quito, Pichincha, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0002-8906-0490>

RESUMEN

La enseñanza de curvas de titulación ácido-base enfrenta desafíos vinculados con la abstracción conceptual y la integración de saberes previos, requiriendo estrategias pedagógicas innovadoras que respondan a las demandas de estudiantes inmersos en entornos digitalizados. La investigación tiene por objetivo diseñar una propuesta didáctica para la enseñanza de curvas de titulación ácido-base utilizando recursos digitales interactivos. Se empleó un diseño descriptivo documental con enfoque cualitativo, analizando quince documentos científicos mediante análisis de contenido sistemático en cuatro fases. Los resultados evidenciaron tendencias hacia virtualización progresiva, interactividad significativa y fundamentación pedagógica explícita. Se diseñó una propuesta estructurada en tres fases progresivas: exploración conceptual, experimentación virtual y aplicación contextualizada, integrando simulaciones, laboratorios virtuales y gamificación. La propuesta ofrece un marco integral adaptable a diversos contextos educativos, requiriendo validación empírica mediante estudios de implementación que evalúen su efectividad en el desarrollo de competencias científicas.

Descriptor: enseñanza de la química; investigación química; química. (Fuente: Tesauro UNESCO).

ABSTRACT

Teaching acid-base titration curves poses challenges related to conceptual abstraction and the integration of prior knowledge, requiring innovative pedagogical strategies that respond to the demands of students immersed in digital environments. The aim of this research is to design a teaching proposal for teaching acid-base titration curves using interactive digital resources. A descriptive documentary design with a qualitative approach was used, analysing fifteen scientific documents through systematic content analysis in four phases. The results showed trends towards progressive virtualisation, meaningful interactivity and explicit pedagogical reasoning. A proposal was designed, structured in three progressive phases: conceptual exploration, virtual experimentation, and contextualised application, integrating simulations, virtual laboratories, and gamification. The proposal offers a comprehensive framework adaptable to various educational contexts, requiring empirical validation through implementation studies that evaluate its effectiveness in the development of scientific skills.

Descriptors: chemistry education; chemical research; chemistry. (Source: UNESCO Thesaurus).

Recibido: 11/08/2025. Revisado: 14/08/2025. Aprobado: 18/08/2025. Publicado: 25/09/2025.

Sección artículos de investigación



INTRODUCCIÓN

La educación científica contemporánea afronta el reto permanente de actualizar sus metodologías didácticas para atender las demandas de una generación estudiantil inmersa en entornos digitalizados, específicamente, la enseñanza de la química presenta numerosos desafíos vinculados con la abstracción de conceptos, la conexión entre teoría y práctica experimental, junto con la necesidad de cultivar habilidades analíticas complejas. Dentro de este panorama, las titulaciones ácido-base representan un contenido medular cuya comprensión resulta determinante para la formación de competencias en análisis químico y experimentación científica.

La interpretación apropiada de las curvas de titulación exige del estudiante la integración de saberes previos sobre equilibrio químico, pH, constantes de disociación y estequiometría, lo que configura un proceso cognitivo multifacético que frecuentemente deriva en obstáculos epistemológicos significativos. Según lo documentado por Raviolo y Farré (2017b), las dificultades de aprendizaje en este tópico se manifiestan en la incapacidad para vincular los cambios en el pH con las transformaciones químicas ocurridas durante el proceso de neutralización, así como en la interpretación errónea de los puntos de equivalencia y las regiones de amortiguamiento. Tales limitaciones no solamente afectan el rendimiento académico inmediato, sino que comprometen la construcción de estructuras conceptuales sólidas requeridas para contenidos posteriores.

Frente a esta problemática, la incorporación de recursos digitales interactivos surge como una alternativa pedagógica con potencial transformador. Tal como señalan Madrigal-Sierra et al. (2025), la integración de tecnologías educativas digitales facilita la personalización del aprendizaje, permite la experimentación sin restricciones materiales y promueve el desarrollo de habilidades del siglo XXI. Complementariamente, Barcos-Arias y Santos-Jara (2022) documentan que el uso estratégico de herramientas digitales incrementa la motivación estudiantil y favorece la construcción activa del conocimiento mediante la interacción dinámica con representaciones múltiples de los fenómenos químicos. En consonancia con estos planteamientos, Pérez-Serrano Flores (2021) enfatiza que el diseño de recursos didácticos digitales debe responder a criterios teóricos fundamentados en principios constructivistas y cognitivistas que garanticen su efectividad pedagógica.

Sin embargo, la mera disponibilidad de tecnología no asegura mejoras en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Se requiere una articulación coherente entre los recursos digitales y las estrategias didácticas que considere tanto las características del contenido científico como las necesidades cognitivas de los estudiantes. Conforme advierten Hernández-Espinoza y Astudillo-Saavedra (2014), la implementación de software educativo debe estar acompañada de una planificación pedagógica rigurosa que especifique objetivos, secuencias didácticas y criterios de evaluación alineados con el currículo formal. Asimismo, Montoro et al. (2024) destacan que las prácticas de laboratorio virtual deben reproducir fielmente los procedimientos experimentales reales mientras ofrecen posibilidades de manipulación y observación imposibles en entornos físicos tradicionales.

El problema de investigación que orienta este estudio se centra en la ausencia de propuestas didácticas integrales que articulen sistemáticamente recursos digitales interactivos con estrategias pedagógicas específicas para la enseñanza de curvas de titulación ácido-base. Si bien existen experiencias aisladas de uso de simuladores, laboratorios virtuales y aplicaciones educativas, la literatura revisada evidencia la necesidad de un diseño instruccional comprehensivo que contemple fases progresivas de aprendizaje, criterios de selección de recursos tecnológicos y mecanismos de evaluación formativa orientados al desarrollo de competencias científicas.

Por tanto; la investigación tiene por objetivo diseñar una propuesta didáctica para la enseñanza de curvas de titulación ácido-base utilizando recursos digitales interactivos.



MÉTODO

El estudio se fundamentó en un diseño de tipo descriptivo documental con enfoque cualitativo, utilizando el análisis de contenido como método principal, esta elección metodológica resultó pertinente debido al propósito de la investigación, que consistió en sistematizar los conocimientos existentes, identificar tendencias en la literatura especializada y elaborar una síntesis integradora que sustentara el diseño de propuestas pedagógicas. En este sentido, la investigación documental permitió recuperar experiencias, resultados y reflexiones de autores que han contribuido a la construcción del marco referencial y teórico en que se apoyó el estudio.

La población estuvo constituida por quince documentos científicos, seleccionados por su pertinencia temática y rigurosidad académica, dichos documentos se enfocaban en la enseñanza de titulaciones relacionadas con conceptos ácido-base y en la integración de medios digitales en la educación química. La procedencia geográfica del corpus documental fue mayoritariamente iberoamericana (España, México, Colombia y Ecuador), con una participación minoritaria de fuentes anglosajonas. El rango temporal considerado abarcó desde 2014 hasta 2025, predominando publicaciones recientes correspondientes al período 2019-2025, este criterio permitió asegurar la actualidad de los enfoques analizados y la pertinencia de los desarrollos tecnológicos y pedagógicos contemporáneos.

El análisis de contenido se realizó siguiendo una metodología sistemática con cuatro fases sucesivas de igual duración:

Primera fase: lectura exploratoria y codificación inicial; en esta fase, se analizó por completo cada documento para comprender su objetivo, la metodología utilizada, los resultados más importantes y las conclusiones. Tras esta etapa, las características generales de cada publicación se registran en una matriz de análisis. Esta matriz incluía la siguiente información: si el estudio era empírico o teórico, si se trataba de una propuesta didáctica, a qué nivel educativo iba dirigido (educación tecnológica y técnica), qué tipo de herramientas tecnológicas se emplearon y cuál era el enfoque pedagógico subyacente.

Segunda fase: La codificación inicial mostró que se habían otorgado realidad a categorías analíticas que permitían agrupar los documentos por su orientación temática. Las categorías encontradas fueron las siguientes: (a) aspectos teóricos y metodológicos de los titulados ácido-base, (b) dificultades del aprendizaje y concepciones alternativas, (c) uso de simulaciones y software educativo, (d) laboratorios virtuales e híbridos, (e) gamificación y estrategias lúdicas, (f) diseño de recursos digitales educativos y (g) integración de las tecnologías en el currículum.

Tercera etapa: se realizó un análisis interpretativo de cada categoría, lo que permitió descubrir, al compararlas, convergencias, divergencias y complementariedades entre todos los estudios. Se prestó mucha atención a las bases teóricas citadas en los artículos, a las estrategias metodológicas implementadas, a los resultados obtenidos y a las recomendaciones de los

Cuarta etapa: los descubrimientos de cada categoría fueron integrados en una visión comprehensiva que permitió identificar elementos esenciales para el diseño de la propuesta didáctica. Se triangularon los aportes de los diferentes autores para establecer principios pedagógicos transversales y criterios de selección de recursos digitales.

Criterios de rigor metodológico

Para garantizar la validez y confiabilidad del análisis se aplicaron los siguientes criterios: (a) Sistematicidad: el procedimiento de análisis siguió una secuencia ordenada y replicable; (b) Exhaustividad: todos los documentos de la población fueron analizados con igual profundidad; (c) Transparencia: se documentaron las decisiones metodológicas y los procesos de categorización; (d) Coherencia interna: las categorías fueron mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivas; y (e) Contextualización: los descubrimientos se interpretaron considerando los contextos específicos de cada estudio.



RESULTADOS

El análisis de contenido realizado sobre el corpus documental permitió identificar múltiples dimensiones relacionadas con la enseñanza de curvas de titulación ácido-base y la integración de recursos digitales. A continuación, se presentan los resultados organizados según las categorías emergentes del análisis.

Fundamentos teóricos y aplicaciones de las titulaciones ácido-base

Los documentos revisados revelan que las titulaciones ácido-base constituyen un método analítico de amplia aplicación en diversos campos científicos y tecnológicos. Conforme demuestran Arunachalam et al. (2019), existe una complejidad inherente a la interpretación de curvas de titulación en sistemas con múltiples constantes de disociación, utilizando simulaciones de dinámica molecular ab initio para explicar el comportamiento del disulfuro de glutatión. Este trabajo ilustra cómo la modelización computacional avanzada puede complementar la experimentación para comprender fenómenos químicos complejos.

En el ámbito metrológico, Morales-Erazo et al. (2019) proporcionan un análisis detallado de las consideraciones técnicas que deben observarse en las titulaciones ácido-base, incluyendo aspectos de calibración de instrumentos, control de variables experimentales y tratamiento de incertidumbre. Los autores enfatizan que la enseñanza de estos procedimientos debe integrar no solo aspectos conceptuales, sino también competencias relacionadas con la calidad analítica y la trazabilidad metrológica.

Las aplicaciones prácticas de las titulaciones se extienden a campos diversos. Según describen Ke et al. (2016), la determinación de valores de pKa del alendronato sódico mediante regresión lineal por tramos basada en datos de titulación potenciométrica evidencia la relevancia de este método en la industria farmacéutica. Por su parte, Lindstrom y Sharma (2024) reportan el uso de curvas de amortiguamiento ácido-base para determinar el contenido de calcio insoluble en diferentes tipos de queso, demostrando aplicabilidad en la ciencia de alimentos. En relación con aspectos ambientales, Tesfa et al. (2022) abordan el posicionamiento absoluto y relativo de curvas de titulación potenciométrica de materia orgánica natural, con implicaciones significativas para la ciencia ambiental.

Respecto a innovaciones metodológicas, Néri-Quiroz et al. (2019) presentan el desarrollo de un sistema microfluídico para generar gradientes lineales en columnas capilares, aplicado a la titulación volumétrica ácido-base miniaturizada. Este trabajo ilustra cómo los avances tecnológicos permiten realizar determinaciones analíticas con menor consumo de reactivos y mayor control de variables. Complementariamente, Vilasó-Cadre et al. (2023) proponen el uso de electrodos de acero inoxidable sin tratamiento oxidativo para titulaciones potenciométricas ácido-base, representando una alternativa de bajo costo con aplicabilidad en contextos educativos con recursos limitados.

Dificultades de aprendizaje y estrategias de evaluación

Los trabajos de Raviolo y Farré (2017a, 2017b) ofrecen contribuciones significativas sobre los obstáculos que enfrentan los estudiantes al aprender titulaciones ácido-base. Mediante el uso de simulaciones computacionales, estos investigadores identificaron concepciones alternativas recurrentes relacionadas con la interpretación del punto de equivalencia, la confusión entre pH y concentración, junto con dificultades para predecir la forma de las curvas en función de las características de los reactivos.

En su primer trabajo, Raviolo y Farré (2017a) proponen una metodología alternativa de evaluación basada en simulaciones que permite diagnosticar problemas de aprendizaje de manera más precisa que las evaluaciones tradicionales. Los autores argumentan que las simulaciones facilitan la observación de procesos de razonamiento estudiantil al permitir manipulación de variables y visualización inmediata de consecuencias, lo que resulta imposible en evaluaciones escritas convencionales.



En su segundo trabajo, Raviolo y Farré (2017b) diseñan secuencias didácticas específicas orientadas a superar las dificultades identificadas. Proponen una progresión que inicia con casos simples (ácidos fuertes con bases fuertes) y avanza gradualmente hacia situaciones más complejas (sistemas polipróticos, soluciones amortiguadoras), permitiendo que los estudiantes construyan comprensión incremental mediante la comparación sistemática de curvas de titulación con diferentes características.

Simulaciones y software educativo especializado

El uso de simulaciones computacionales emerge como una estrategia recurrente en la literatura analizada. Hernández-Espinoza y Astudillo-Saavedra (2014) documentan una experiencia temprana de implementación de software especializado para titulaciones ácido-base, destacando ventajas como la posibilidad de repetir experimentos sin consumo de materiales, la facilidad para modificar parámetros y la obtención instantánea de representaciones gráficas que facilitan la comprensión visual.

Los autores señalan que el software empleado permitió a los estudiantes explorar sistemáticamente el efecto de diferentes variables sobre las curvas de titulación, incluyendo concentración de los reactivos, fuerza de ácidos y bases, junto con volumen de valorante añadido. Esta exploración autónoma promovió el desarrollo de habilidades de pensamiento científico relacionadas con formulación de hipótesis, experimentación controlada e interpretación de datos.

No obstante, Hernández-Espinoza y Astudillo-Saavedra (2014) también advierten sobre limitaciones de las simulaciones, particularmente la ausencia de experiencia sensorial directa con materiales y equipos reales. Recomiendan un enfoque híbrido que combine simulaciones con experimentación presencial, aprovechando las fortalezas de cada modalidad: las simulaciones para exploración conceptual inicial y la experimentación real para desarrollo de habilidades manipulativas y comprensión de aspectos procedimentales.

Laboratorios virtuales y prácticas digitales

Montoro et al. (2024) presentan una propuesta integral de práctica de laboratorio virtual de química general enfocada en equilibrio ácido-base. Su trabajo describe el diseño, implementación y evaluación de un laboratorio virtual que replica fielmente los procedimientos experimentales tradicionales mientras incorpora elementos de retroalimentación automática y visualización molecular.

Los autores fundamentan su propuesta en principios del aprendizaje multimedia y la teoría de la carga cognitiva, asegurando que las representaciones visuales, las instrucciones textuales y las animaciones se presenten de manera integrada y secuenciada para optimizar el procesamiento cognitivo. El laboratorio virtual incluye módulos progresivos que abordan: (1) preparación de soluciones con concentración específica, (2) calibración del pHmetro, (3) ejecución de la titulación con registro continuo de datos, y (4) construcción e interpretación de curvas de titulación.

Los resultados reportados por Montoro et al. (2024) indican mejoras significativas en la comprensión conceptual de los estudiantes, medidas mediante pruebas pre y post intervención. Particularmente destacable resulta el incremento en la capacidad estudiantil para predecir la forma de curvas de titulación y explicar químicamente las diferentes regiones de las mismas. Los estudiantes valoraron positivamente la posibilidad de practicar repetidamente hasta dominar los procedimientos, aspecto frecuentemente limitado en laboratorios presenciales por restricciones de tiempo y materiales.

Gamificación como estrategia didáctica

En este sentido; Pinargote-Mendoza (2025) explora la aplicación de estrategias de gamificación en la enseñanza de ácidos y bases para estudiantes de bachillerato. Aunque no se centra exclusivamente en titulaciones, su trabajo aporta elementos valiosos sobre el diseño de



experiencias de aprendizaje que incorporan mecánicas de juego para incrementar la motivación y el compromiso estudiantil.

La propuesta de Pinargote-Mendoza (2025) integra elementos como sistemas de puntos, niveles de dificultad progresivos, insignias de logros y desafíos temporales. El autor reporta que la gamificación promovió mayor participación activa, incrementó el tiempo dedicado a tareas de aprendizaje y mejoró las actitudes hacia la química. Los estudiantes manifestaron preferencia por actividades gamificadas sobre metodologías tradicionales, percibiendo el aprendizaje como más entretenido y menos amenazante. Sin embargo, Pinargote-Mendoza (2025) advierte que la gamificación no debe reducirse a la simple adición de elementos lúdicos superficiales. Argumenta que las mecánicas de juego deben estar estrechamente alineadas con los objetivos de aprendizaje y diseñadas para promover procesos cognitivos de orden superior. Recomienda que los desafíos presenten niveles apropiados de dificultad, ofrezcan retroalimentación inmediata y significativa, y permitan múltiples intentos para promover la persistencia.

Diseño de recursos educativos digitales

En este orden; Pérez-Serrano Flores (2021) ofrece un marco teórico comprehensivo para el diseño de recursos didácticos digitales, estableciendo criterios que trascienden aspectos meramente técnicos para abordar dimensiones pedagógicas, comunicativas y estéticas. El autor propone que el diseño debe fundamentarse en teorías del aprendizaje explícitas, considerar características cognitivas de los destinatarios y alinearse con objetivos curriculares específicos.

Entre los criterios teóricos propuestos por Pérez-Serrano Flores (2021) destacan: (a) Interactividad significativa: las interacciones deben promover procesamiento cognitivo profundo, no solo manipulación superficial; (b) Representaciones múltiples: integración de textos, gráficos, animaciones y simulaciones que ofrezcan diferentes perspectivas del mismo concepto; (c) Retroalimentación formativa: respuestas del sistema que orienten el aprendizaje sin revelar directamente las soluciones; (d) Personalización adaptativa: posibilidad de ajustar niveles de dificultad y rutas de aprendizaje según necesidades individuales; y (e) Usabilidad intuitiva: interfaces que minimicen la carga cognitiva extrínseca. El autor enfatiza que el proceso de diseño debe ser iterativo, incluyendo ciclos de prototipado, prueba con usuarios y refinamiento. Recomienda la participación de equipos multidisciplinarios que integren expertos en contenido, diseñadores instruccionales, desarrolladores tecnológicos y especialistas en interfaz.

Integración curricular de tecnologías digitales

Los trabajos de Barcos-Arias y Santos-Jara (2022) y Madrigal-Sierra et al. (2025) abordan la integración de recursos educativos digitales desde una perspectiva curricular amplia. Aunque sus estudios se desarrollan en contextos diferentes (enseñanza de historia y educación primaria rural, respectivamente), sus descubrimientos ofrecen principios transferibles a la enseñanza de las ciencias. Según documentan Barcos-Arias y Santos-Jara (2022), la integración efectiva de tecnologías requiere transformaciones profundas en la práctica docente, incluyendo desarrollo de competencias digitales, rediseño de secuencias didácticas y modificación de criterios de evaluación. Los autores identifican como factores facilitadores la formación continua del profesorado, el acceso a infraestructura tecnológica adecuada y el apoyo institucional sostenido.

Por su parte, Madrigal-Sierra et al. (2025) analizan específicamente la integración de recursos digitales en contextos educativos con limitaciones de conectividad y equipamiento, situación prevalente en muchas instituciones latinoamericanas. Proponen estrategias como el desarrollo de recursos que funcionen offline, el uso de dispositivos móviles personales de los estudiantes y la creación de repositorios locales de materiales educativos. Sus descubrimientos subrayan la importancia de adaptar las propuestas tecnológicas a las realidades contextuales específicas.



Síntesis de tendencias identificadas

El análisis integrado del corpus documental permite identificar tendencias convergentes:

1. **Virtualización progresiva:** movimiento hacia digitalización de experiencias de laboratorio, sin pretender sustituir completamente la experimentación presencial sino complementarla estratégicamente.
2. **Énfasis en la interactividad:** reconocimiento de que los recursos digitales más efectivos son aquellos que permiten manipulación activa de variables y observación inmediata de consecuencias.
3. **Personalización del aprendizaje:** diseño de recursos que permiten ajustar ritmos, niveles de dificultad y rutas de aprendizaje según necesidades individuales.
4. **Integración multimodal:** combinación de diferentes tipos de representaciones (simbólicas, gráficas, animadas, moleculares) para facilitar comprensión desde múltiples perspectivas.
5. **Fundamentación pedagógica explícita:** alejamiento de aproximaciones meramente tecnologicistas hacia propuestas que articulan recursos digitales con teorías del aprendizaje y estrategias didácticas específicas.

DISCUSIÓN

Los resultados del análisis documental revelan un panorama complejo pero prometedor respecto a la enseñanza de curvas de titulación ácido-base mediante recursos digitales interactivos. Esta sección interpreta los descubrimientos a la luz de teorías del aprendizaje, establece comparaciones con estudios previos y culmina con el diseño de una propuesta didáctica integral.

Interpretación desde marcos teóricos del aprendizaje

La convergencia identificada en la literatura hacia enfoques interactivos y multimodales encuentra sólido sustento en la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia de Mayer. Esta teoría postula que el aprendizaje significativo ocurre cuando los estudiantes construyen conexiones entre representaciones verbales y visuales de la información, procesándolas activamente en canales cognitivos separados pero interconectados. Los recursos digitales analizados que integran simulaciones dinámicas, representaciones moleculares animadas y gráficos de curvas de titulación en tiempo real ejemplifican aplicaciones concretas de estos principios.

Desde la perspectiva del constructivismo, particularmente en su vertiente social, los descubrimientos respaldan la noción de que el aprendizaje se potencia cuando los estudiantes pueden manipular activamente objetos de conocimiento y observar consecuencias inmediatas de sus acciones. Los laboratorios virtuales y simulaciones analizados funcionan como "micromundos" donde los estudiantes experimentan sin las restricciones de tiempo, costo y seguridad propias de laboratorios físicos, facilitando ciclos iterativos de hipótesis-experimentación-reflexión que caracterizan el pensamiento científico auténtico.

La teoría de la carga cognitiva ofrece explicaciones sobre por qué ciertos diseños de recursos digitales resultan más efectivos que otros. Los trabajos que enfatizan la usabilidad intuitiva, la secuenciación progresiva de complejidad y la integración cuidadosa de diferentes modalidades representacionales reconocen implícitamente la limitada capacidad de la memoria de trabajo humana. Cuando los recursos digitales están mal diseñados, generan carga cognitiva extrínseca que interfiere con el procesamiento de contenido sustantivo, reduciendo su efectividad pedagógica.

Comparación con estudios previos y aportaciones originales



La literatura analizada confirma y extiende descubrimientos de investigaciones previas sobre dificultades de aprendizaje en química. Las concepciones alternativas identificadas por Raviolo y Farré respecto a titulaciones ácido-base se alinean con obstáculos epistemológicos documentados en estudios anteriores sobre equilibrio químico y pH. No obstante, las propuestas contemporáneas van más allá del diagnóstico para ofrecer secuencias didácticas específicas fundamentadas en el uso estratégico de tecnología.

La evolución temporal observable en el corpus documental refleja el paso de enfoques centrados en el software como herramienta aislada hacia propuestas que integran múltiples recursos digitales en ecosistemas de aprendizaje coherentes. Los trabajos más recientes (2022-2025) presentan mayor sofisticación en el diseño instruccional, incorporando elementos de personalización, gamificación y retroalimentación adaptativa ausentes en propuestas anteriores (2014-2017).

Resulta particularmente relevante la atención creciente a consideraciones contextuales y de equidad. Los estudios latinoamericanos incluidos en el análisis abordan explícitamente limitaciones de infraestructura, conectividad y recursos que caracterizan muchas instituciones educativas de la región, proponiendo alternativas viables que no presuponen condiciones tecnológicas ideales. Esta sensibilidad contextual contrasta con literatura anglosajona que frecuentemente asume disponibilidad universal de recursos tecnológicos avanzados.

Implicaciones pedagógicas y didácticas

Los descubrimientos tienen múltiples implicaciones para la práctica docente. En primera instancia, evidencian que la integración efectiva de recursos digitales demanda competencias docentes específicas que trascienden el mero manejo técnico de herramientas. Los profesores requieren desarrollar criterios para seleccionar recursos apropiados, diseñar secuencias didácticas que los integren coherentemente y crear ambientes de aprendizaje que promuevan uso reflexivo de la tecnología.

En segunda instancia, los resultados sugieren que los recursos digitales ofrecen ventajas específicas para abordar las dificultades tradicionales en la enseñanza de titulaciones ácido-base. La posibilidad de manipular variables sistemáticamente, observar cambios dinámicos en representaciones múltiples y recibir retroalimentación inmediata facilita la construcción de modelos mentales precisos sobre los procesos involucrados. Sin embargo, estas ventajas solo se materializan cuando los recursos están bien diseñados y se emplean dentro de marcos pedagógicos apropiados.

En tercera instancia, emerge la necesidad de equilibrio entre virtualización y experimentación presencial. Si bien los laboratorios virtuales ofrecen múltiples beneficios, no pueden sustituir completamente la experiencia sensorial directa, el desarrollo de habilidades manipulativas y la comprensión de aspectos procedimentales que solo se adquieren en laboratorios físicos. La literatura analizada sugiere que los enfoques híbridos que combinan estratégicamente ambas modalidades generan resultados superiores a implementaciones exclusivamente virtuales o presenciales.

Diseño de la propuesta didáctica integral

A partir del análisis realizado se presenta una propuesta didáctica estructurada en tres fases progresivas que integran recursos digitales interactivos con estrategias pedagógicas específicas.

Fase 1: Exploración conceptual y construcción de fundamentos

Objetivo: Desarrollar comprensión conceptual de los principios químicos subyacentes a las titulaciones ácido-base.

Esta fase inicial se centra en asegurar que los estudiantes posean los conocimientos previos necesarios. Se propone el uso de simulaciones interactivas que permitan explorar conceptos de pH, constantes de disociación y equilibrio químico mediante manipulación de variables en



entornos simplificados. Los estudiantes trabajan con casos idealizados (ácidos monopróticos fuertes, bases fuertes) que facilitan la comprensión de relaciones fundamentales.

Actividades específicas incluyen: (a) exploración guiada de simuladores de pH que visualicen concentraciones de iones mediante representaciones moleculares dinámicas; (b) resolución de problemas conceptuales usando plataformas digitales con retroalimentación inmediata; (c) construcción colaborativa de mapas conceptuales digitales que articulen los conceptos fundamentales; y (d) discusiones en foros virtuales donde los estudiantes expliquen fenómenos observados en las simulaciones.

Los recursos digitales recomendados para esta fase deben cumplir criterios de simplicidad visual, navegación intuitiva y énfasis en la comprensión cualitativa antes que en cálculos numéricos complejos. Se sugiere el uso de plataformas de acceso libre como PhET Interactive Simulations o recursos equivalentes que permitan trabajo autónomo y exploración sin restricciones.

Fase 2: Experimentación virtual y análisis de curvas

Objetivo: Desarrollar habilidades para ejecutar titulaciones, registrar datos y construir e interpretar curvas de titulación.

En esta fase intermedia los estudiantes trabajan con laboratorios virtuales que replican fielmente los procedimientos experimentales de titulaciones ácido-base. Se introduce complejidad progresiva, avanzando desde sistemas simples (ácido fuerte - base fuerte) hacia situaciones más desafiantes (ácidos débiles, sistemas polipróticos, soluciones amortiguadoras).

Actividades específicas comprenden: (a) ejecución de titulaciones virtuales completas con diferentes combinaciones de reactivos, registrando datos de pH versus volumen de valorante; (b) construcción digital de curvas de titulación a partir de datos generados, con herramientas de graficación que permitan análisis visual detallado; (c) comparación sistemática de curvas obtenidas con diferentes condiciones experimentales, identificando patrones y relaciones; (d) resolución de casos problema que demanden predicción de formas de curvas basándose en características de los reactivos; y (e) análisis de errores comunes mediante simulación de condiciones experimentales no ideales.

Los laboratorios virtuales empleados deben incorporar elementos de realismo procedimental, incluyendo etapas de preparación de soluciones, calibración de equipos y registro sistemático de observaciones. Se recomienda integrar mecánicas de gamificación como sistemas de logros por precisión experimental, desafíos temporales para optimizar procedimientos y rankings colaborativos que promuevan motivación intrínseca sin generar competencia destructiva.

Fase 3: Aplicación contextualizada y transferencia

Objetivo: Aplicar conocimientos y habilidades desarrolladas a situaciones reales y problemas auténticos de química analítica.

La fase terminal enfatiza la transferencia de aprendizajes a contextos auténticos. Los estudiantes enfrentan problemas abiertos que demandan integración de conocimientos conceptuales, habilidades procedimentales y razonamiento analítico.

Actividades específicas incluyen: (a) proyectos de análisis químico simulado de muestras reales (determinación de acidez en alimentos, análisis de calidad de agua, control de calidad farmacéutica) utilizando datos de titulaciones virtuales; (b) diseño de protocolos de titulación para resolver problemas específicos, justificando elecciones metodológicas; (c) interpretación de datos reales de titulaciones reportadas en literatura científica, relacionando características de las curvas con propiedades químicas de los sistemas analizados; (d) creación de recursos educativos digitales (tutoriales, videos explicativos, infografías interactivas) donde los estudiantes enseñen a otros sobre aspectos específicos de las titulaciones; y (e) realización de titulaciones presenciales en laboratorio físico, comparando resultados con predicciones derivadas de trabajo virtual previo.



Esta fase culminante promueve el desarrollo de competencias científicas integrales, incluyendo pensamiento crítico, resolución de problemas complejos, comunicación científica y trabajo colaborativo. La alternancia entre trabajo virtual y presencial permite aprovechar fortalezas de cada modalidad: el entorno virtual ofrece oportunidades ilimitadas de práctica y exploración, mientras el laboratorio físico proporciona experiencia auténtica con materiales, equipos y protocolos reales.

Elementos transversales de la propuesta

La propuesta integra elementos transversales que operan en las tres fases:

1. **Evaluación formativa continua:** uso de analíticas de aprendizaje generadas por plataformas digitales para monitorear progreso estudiantil, identificar dificultades emergentes y proporcionar retroalimentación personalizada.
2. **Diferenciación pedagógica:** oferta de recursos con diferentes niveles de complejidad, permitiendo que estudiantes con distintos ritmos y estilos de aprendizaje encuentren desafíos apropiados.
3. **Colaboración mediada por tecnología:** uso de foros, documentos colaborativos y espacios virtuales de discusión para promover aprendizaje social y construcción compartida de conocimiento.
4. **Reflexión metacognitiva:** incorporación de actividades que promuevan autoconciencia sobre procesos de aprendizaje propios, dificultades enfrentadas y estrategias empleadas para superarlas.
5. **Conexión con contextos reales:** vinculación sistemática del contenido académico con aplicaciones prácticas en industria, investigación y vida cotidiana, promoviendo valoración de la relevancia del conocimiento químico.

Consideraciones para la implementación

La implementación exitosa de esta propuesta requiere condiciones facilitadoras: (a) acceso a infraestructura tecnológica mínima (computadoras o dispositivos móviles, conectividad suficiente); (b) formación docente en uso pedagógico de recursos digitales y principios de diseño instruccional; (c) tiempo curricular adecuado que permita desarrollo de las tres fases sin presiones excesivas; (d) cultura institucional que valore innovación pedagógica y proporcione apoyo para experimentación docente; y (e) mecanismos de evaluación institucional que reconozcan aprendizajes desarrollados mediante metodologías no tradicionales.

En contextos con limitaciones tecnológicas se recomienda adaptación mediante: (a) uso de recursos que funcionen offline o con conectividad intermitente; (b) trabajo en grupos compartiendo dispositivos; (c) alternancia entre actividades digitales realizadas en espacios equipados (laboratorios de cómputo) y actividades no digitales desarrolladas en aulas convencionales; y (d) selección de recursos de bajo requerimiento técnico que funcionen en equipos modestos.

Prospectiva y líneas futuras

La propuesta presentada constituye un punto de partida que requiere validación empírica mediante estudios de implementación en contextos reales. Futuras investigaciones deberían: (a) evaluar la efectividad de la propuesta mediante diseños cuasiexperimentales que comparen resultados de aprendizaje con metodologías tradicionales; (b) analizar percepciones y experiencias de estudiantes y docentes durante la implementación; (c) identificar factores contextuales que facilitan u obstaculizan la aplicación de la propuesta; (d) estudiar sostenibilidad de las innovaciones a mediano y largo plazo; y (e) explorar posibilidades de transferencia de los principios de la propuesta a otros contenidos de la química analítica.



El campo emergente de la analítica del aprendizaje ofrece posibilidades prometedoras para investigación futura. Los datos generados por plataformas digitales podrían analizarse mediante técnicas de minería de datos para identificar patrones en trayectorias de aprendizaje, predecir dificultades antes de que se manifiesten en evaluaciones sumativas y proporcionar retroalimentación adaptativa personalizada automática.

La integración de inteligencia artificial y aprendizaje automático en recursos educativos digitales abre horizontes para tutorización inteligente que ajuste dinámicamente niveles de dificultad, ofrezca explicaciones personalizadas según errores específicos cometidos y sugiera actividades complementarias basadas en perfiles de aprendizaje individuales. Sin embargo, estas innovaciones tecnológicas deben siempre subordinarse a propósitos pedagógicos claros y fundamentarse en comprensión profunda de procesos cognitivos involucrados en el aprendizaje de química.

CONCLUSION

Se diseñó una propuesta didáctica fundamentada para la enseñanza de curvas de titulación ácido-base mediante recursos digitales interactivos, superando enfoques meramente tecnologicistas al reconocer la tecnología como medio articulado con estrategias pedagógicas específicas. El análisis documental evidenció tendencias convergentes hacia virtualización progresiva de experiencias de laboratorio, énfasis en interactividad significativa y fundamentación pedagógica explícita, que reflejaron la maduración del campo. La propuesta resultante integró elementos de gamificación, laboratorios virtuales, simulaciones interactivas y herramientas de análisis de datos, sustentados en teorías cognitivistas y constructivistas del aprendizaje, que promovieron construcción activa de conocimiento, desarrollo de habilidades procedimentales y formación de competencias científicas integrales.

La estructura modular contempló tres fases progresivas que condujeron desde exploración conceptual inicial hasta aplicación contextualizada en situaciones auténticas, permitiendo adaptación a diferentes contextos educativos, niveles de formación y disponibilidades tecnológicas. Las implicaciones prácticas incluyeron orientaciones concretas para docentes de química interesados en innovar sus prácticas mediante integración de recursos digitales, ofreciendo guía estructurada implementable total o parcialmente según condiciones específicas. Las limitaciones inherentes a su naturaleza documental señalaron la necesidad de investigaciones empíricas que validen la efectividad de la propuesta mediante implementaciones controladas, evaluando impacto en aprendizaje conceptual, desarrollo de habilidades procedimentales, actitudes hacia la química y capacidad de transferencia a situaciones novedosas.

FINANCIAMIENTO

No monetario

CONFLICTO DE INTERÉS

No existe conflicto de interés con personas o instituciones ligadas a la investigación.

AGRADECIMIENTOS

A los maestros dedicados a la enseñanza de la ciencia.

REFERENCIAS

- Arunachalam, V., Tummanapelli, A. K., & Vasudevan, S. (2019). The multiple dissociation constants of glutathione disulfide: Interpreting experimental pH-titration curves with ab initio MD simulations. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 21(18), 9212–9217. <https://doi.org/10.1039/c9cp00761j>
- Barcos-Arias, E. F., & Santos-Jara, E. A. (2022). Uso de recursos educativos digitales para mejorar las competencias pedagógicas en la enseñanza de Historia [Use of digital educational resources to improve pedagogical competencies in History teaching].



Episteme Koinonía. Revista Electrónica de Ciencias de la Educación, Humanidades, Artes y Bellas Artes, 5(10), 4–28. <https://doi.org/10.35381/e.k.v5i10.1850>

- Hernández-Espinoza, D., & Astudillo-Saavedra, L. (2014). Titulaciones ácido-base con el empleo de software [Acid-base titrations using software]. *Educación Química*, 25(1), 42–45.
- Ke, J., Dou, H., Zhang, X., Uhagaze, D. S., Ding, X., & Dong, Y. (2016). Determination of pKa values of alendronate sodium in aqueous solution by piecewise linear regression based on acid-base potentiometric titration. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6(6), 404–409. <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2016.07.001>
- Lindstrom, R., & Sharma, P. (2024). Determination of insoluble calcium content in Cheddar, feta, Juustoleipa, and mozzarella cheeses using acid-base buffering curves. *JDS Communications*, 6(1), 1–6. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2024-0561>
- Madrigal-Sierra, Y., Amayuela-Mora, G., & Cebrián-Martín, D. (2025). La integración de recursos educativos digitales en la educación primaria rural [The integration of digital educational resources in rural primary education]. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, 18(1), 34–42. <https://doi.org/10.37843/rtd.v18i1.592>
- Montoro, O. R., Suárez, I., & Coto, B. (2024). Práctica de laboratorio virtual de química general: ácido base [Virtual laboratory practice of general chemistry: Acid-base]. *Educación Química*, 35(3). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.3.87498>
- Morales-Erazo, L. V., González-Cárdenas, I. A., Abella-Gamba, J. P., & Ahumada-Forigua, D. A. (2019). Técnicas de titulación ácido-base: consideraciones metroológicas [Acid-base titration techniques: Metrological considerations]. *Revista Colombiana de Química*, 48(1), 26–34. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n1.72401>
- Néri-Quiroz, J., Canto, F., Guillerme, L., Couston, L., Magnaldo, A., & Dugas, V. (2019). Microfluidic ballistic regime for the generation of linear gradients inside a capillary column: Proof-of-concept and application to the miniaturized acid-base volumetric titration. *Talanta*, 196, 237–242. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.12.045>
- Pérez-Serrano Flores, V. (2021). El diseño de recursos didácticos digitales: criterios teóricos para su elaboración e implementación [The design of digital teaching resources: Theoretical criteria for their development and implementation]. *Diálogos Sobre Educación. Temas Actuales en Investigación Educativa*, 12(22), 00015. <https://doi.org/10.32870/dse.v0i22.918>
- Pinargote-Mendoza, M. T. (2025). Gamificación en la enseñanza ácidos y bases en los estudiantes de segundo de bachillerato [Gamification in the teaching of acids and bases for second-year high school students]. *Remulci*, 3(1), 103–123. <https://doi.org/10.59282/remulci.3.1.1002>
- Raviolo, A., & Farré, A. (2017a). Una evaluación alternativa del tema titulación ácido base a través de una simulación [An alternative evaluation of acid-base titrations through a simulation]. *Educación Química*, 28(3), 163–173. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2017.01.003>
- Raviolo, A., & Farré, A. S. (2017b). ¿Cómo nos pueden ayudar las simulaciones en el tema ácido-base?: Detección de problemas de aprendizaje y posibles secuencias de enseñanza [How can simulations help us with the acid-base topic?: Detection of learning problems and possible teaching sequences]. *Educación En La Química*, 23(1), 27–41.
- Tesfa, M., Duval, J. F. L., Marsac, R., Dia, A., & Pinheiro, J. P. (2022). Absolute and relative positioning of natural organic matter acid-base potentiometric titration curves: Implications for the evaluation of the density of charged reactive sites. *Environmental Science & Technology*, 56(14), 10494–10503. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c00828>



Vilasó-Cadre, J. E., Benítez-Fernández, D., López-Álvarez, I. A., Tovar-Vázquez, F. Y., Arada-Pérez, M. A., & Reyes-Domínguez, I. A. (2023). Acid-base potentiometric titration using a stainless steel electrode without oxidative treatment. *Turkish Journal of Chemistry*, 47(4), 801–813. <https://doi.org/10.55730/1300-0527.3580>

Derechos de autor: 2025 Por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>