









Evaluación de la digitalización de muestras histológicas en el aprendizaje activo de las Ciencias Morfológicas

Evaluation of histological sample digitalization on active learning in morphological sciences

Daniela López Espíndola^{1,2*} , Elizabeth Leiva Pastén^{1,2} , Juan Francisco Varas Muñoz^{1,2,3} ,
Alejandra Moller Díaz¹ , Claudio Córdova Lepe^{1,2,3} , Alejandra Calderón Torres³ 

¹ Universidad de Valparaíso, Facultad de Medicina, Escuela de Tecnología Médica. Valparaíso, Chile.

² Universidad de Valparaíso, Centro Interdisciplinario de Investigación Biomédica e Ingeniería para la Salud (MEDING). Valparaíso, Chile.

³ Universidad de Valparaíso, Facultad de Medicina, Escuela de Medicina, Valparaíso, Chile.

*Autor para la correspondencia: daniela.lopez@uv.cl

Cómo citar este artículo

López Espíndola D, Leiva Pastén E, Varas Muñoz JF, Moller Díaz A, Córdova Lepe C, Calderón Torres A: Evaluación de la digitalización de muestras histológicas en el aprendizaje activo de las Ciencias Morfológicas. Rev haban cienc méd [Internet]. 2026 [citado]; 25. Disponible en: <http://www.revhabanera.sld.cu/index.php/rhab/article/view/6270>

Recibido: 06 de enero de 2026

Aprobado: 12 de marzo de 2026

RESUMEN

Introducción: Las Ciencias Morfológicas son asignaturas de alta complejidad en la Educación Superior, ya que exigen que los estudiantes desarrollen habilidades de reconocimiento e interpretación mediante la microscopía. Este requisito impone un reto pedagógico, especialmente con grupos numerosos y recursos pedagógicos limitados, como microscopios y láminas histológicas para cada estudiante. Por ello, la implementación de estrategias didácticas tecnológicas innovadoras que promuevan el aprendizaje significativo es una necesidad imperante.

Objetivo: Evaluar el uso de la digitalización como estrategia didáctica en la enseñanza de las Ciencias Morfológicas.

Material y Métodos: Este estudio cuantitativo y pre-experimental, corresponde a una intervención educativa, implementada en una cohorte de 15 estudiantes universitarios de ciencias de la salud en la asignatura de Histoquímica. Los participantes realizaron técnicas histológicas, capturaron microfotografías de sus preparaciones y las analizaron colaborativamente, culminaron en la elaboración de diagnósticos y la cuantificación de señales mediante un software especializado. El logro de los resultados de aprendizaje y competencias se midió con pautas estructuradas en laboratorios, talleres y tareas, y se compararon las calificaciones con cohortes previas que realizaron actividades pedagógicas convencionales.

Resultados: Se alcanzó cumplimiento superior a 94 % de los resultados de aprendizaje y competencias, y se logró el promedio final más alto registrado en los últimos quince años. Además, se construyó una microteca digital colaborativa, un recurso valioso para futuras generaciones, fomentando una educación más sustentable.

Conclusiones: La digitalización como estrategia didáctica potencia el aprendizaje significativo, fortalece el análisis crítico y consolida la formación práctica y teórica en las Ciencias Morfológicas, al fomentar el trabajo colaborativo.

Palabras Claves:

Microscopía digital, Ciencias Morfológicas, aprendizaje colaborativo, aprendizaje activo, ciencias de la salud, Educación Superior.

ABSTRACT

Introduction: Morphological sciences are highly complex subjects in higher education, as they require students to develop recognition and interpretation skills through microscopy. This requirement poses a pedagogical challenge, particularly when working with large groups and limited teaching resources such as microscopes and histological slides for each student. Therefore, implementing innovative technological teaching strategies that promote meaningful learning has become an urgent need.

Objective: To evaluate the use of digitalization as a teaching strategy in the instruction of morphological sciences.

Material and Methods: This quantitative and pre-experimental study corresponds to an educational intervention, implemented in a cohort of 15 health science university students enrolled in the Histochemistry course. Participants performed histological techniques, captured microphotographs of their own preparations, and analyzed them collaboratively. These activities culminated in the elaboration of diagnoses and the quantification of colored signals using specialized software. The achievement of learning outcomes and competencies was measured using structured rubrics in laboratories, workshops, and assignments, and scores were compared with previous cohorts that performed conventional pedagogical activities.

Results: A fulfillment rate exceeding 94% of the learning outcomes and competencies was achieved, resulting in the highest final average score recorded in the last fifteen years. Furthermore, a collaborative digital micro-library was built, serving as a valuable resource for future generations and promoting a more sustainable education.

Conclusions: Digitalization as a teaching strategy enhances meaningful learning, strengthens critical analysis, and consolidates practical and theoretical training in the morphological sciences, especially by fostering collaborative work.

Keywords:

Digital microscopy, morphological sciences, collaborative learning, active learning, health sciences, higher education.



INTRODUCCIÓN

Las Ciencias Morfológicas constituyen un eje fundamental en la formación de los profesionales de la salud, al proporcionar las bases estructurales necesarias para comprender la organización y función del cuerpo humano. Su enseñanza, sin embargo, representa un desafío constante en la Educación Superior debido a la alta carga conceptual, el nivel de detalle requerido y la necesidad de desarrollar habilidades de observación, análisis e interpretación mediante el uso de la microscopía. Este carácter visual y técnico exige metodologías que integren la teoría con la práctica, promoviendo aprendizajes significativos y duraderos.

Dentro de este campo, la Histoquímica representa una disciplina clave para el estudio funcional de tejidos normales y patológicos mediante técnicas que permiten la localización específica de componentes celulares y tisulares. Estas se basan en la afinidad de los componentes por determinados colorantes que, al reaccionar químicamente, generan productos coloreados observables al microscopio óptico.⁽¹⁾ Aunque sus orígenes se remontan a más de dos siglos atrás —y pese al desarrollo de metodologías más recientes, como la inmunohistoquímica y la hibridación *in situ*, las técnicas histoquímicas siguen siendo herramientas vigentes y valiosas por su confiabilidad, reproducibilidad, rapidez y accesibilidad.⁽²⁾ Su aplicación se mantiene activa tanto en laboratorios de investigación en Ciencias Biomédicas⁽³⁾ como en servicios de anatomía patológica, donde cumplen una función fundamental en el diagnóstico clínico.

En el contexto universitario, la enseñanza de las Ciencias Morfológicas combina clases teóricas con prácticas de laboratorio que requieren el análisis detallado de preparaciones histológicas. Este proceso implica observar, identificar e interpretar señales coloreadas, y evaluar su localización y expresión en los tejidos. Tal complejidad exige un alto grado de autonomía, dominio técnico y habilidades interpretativas, lo que representa un desafío para la enseñanza y evaluación del aprendizaje, especialmente en contextos con grupos numerosos o recursos pedagógicos limitados,⁽⁴⁾ en especial microscopios y láminas histológicas para cada estudiante.

En este escenario, el diseño de estrategias pedagógicas innovadoras que promuevan el aprendizaje significativo resulta esencial. Asimismo, el desarrollo de habilidades digitales y tecnológicas se ha vuelto cada vez más relevante, dado el avance de la digitalización en los entornos académicos y profesionales. En línea con estas necesidades, la incorporación de modelos pedagógicos apoyados en tecnologías digitales ha mostrado un impacto positivo en la enseñanza, y la hace más atractiva, flexible y efectiva.⁽⁵⁾

Numerosos estudios han evidenciado que el uso adecuado de herramientas digitales se asocia a mejoras en el rendimiento académico⁽⁶⁻⁸⁾ y a una mayor participación y eficiencia en los procesos de aprendizaje, particularmente en estudiantes con competencias digitales desarrolladas.^(9,10,11)

En el ámbito de las Ciencias Morfológicas, la incorporación de metodologías innovadoras —especialmente aquellas basadas en recursos digitales para el estudio histológico, como la inteligencia artificial, el aprendizaje automático y la digitalización de imágenes— favorece el aprendizaje significativo, incrementa la motivación y genera mayor satisfacción estudiantil.^(12,13,14,15)

Una de las transformaciones más notorias ha sido la digitalización de imágenes histológicas, que ha modificado profundamente el entorno formativo en las Ciencias Morfológicas. Esta innovación facilita la transición desde un aprendizaje pasivo hacia experiencias participativas e inmersivas, promoviendo el desarrollo de habilidades cognitivas superiores, como el análisis, la resolución de problemas y la construcción activa del conocimiento. La microscopía virtual, basada en la digitalización de preparaciones histológicas, ha demostrado ser eficaz para superar las limitaciones del microscopio tradicional y enriquecer la experiencia educativa.

La evidencia indica que esta metodología mejora el rendimiento académico y facilita el aprendizaje autónomo y la colaboración entre estudiantes,^(16,17,18,19) incluso en contextos adversos como la enseñanza remota durante la pandemia de la COVID-19.⁽²⁰⁾ Además, su dominio resulta indispensable para los futuros profesionales del área de histopatología, considerando el creciente uso de estas tecnologías en el diagnóstico anatomopatológico.⁽²¹⁾ No obstante, diversos autores advierten que no todas las estrategias tecnológicas garantizan resultados exitosos, por lo que es necesario evaluar su impacto en los aprendizajes.^(22,23,24) En paralelo, el trabajo colaborativo en entornos digitales ha mostrado ser una estrategia complementaria valiosa, al fomentar la reflexión conjunta, la co-construcción del conocimiento, la autorregulación y el desarrollo de habilidades comunicativas y de trabajo en equipo,⁽²⁵⁾ competencias esenciales en el ámbito de las ciencias de la salud.

Desde nuestra experiencia en la enseñanza de las Ciencias Morfológicas, hemos identificado dos estrategias para el análisis colectivo de preparaciones histológicas: ⁽¹⁾ la proyección en tiempo real de la imagen a través del microscopio durante la clase y ⁽²⁾ el uso de microfotografías digitalizadas de las preparaciones. La primera se circunscribe al espacio sincrónico del aula y depende de la atención inmediata del estudiantado, mientras que la segunda amplía las posibilidades pedagógicas al permitir un acceso asincrónico al material, favorecer un análisis más reflexivo y facilitar la incorporación de descripciones, anotaciones y dinámicas de discusión colaborativa.

Sobre la base de estas consideraciones, la hipótesis de este trabajo es que la digitalización de preparaciones histológicas teñidas mediante técnicas histoquímicas, integrada como estrategia didáctica para su análisis colectivo, puede promover un aprendizaje más profundo y significativo en las Ciencias Morfológicas. En este contexto, el **objetivo** del presente estudio es evaluar el impacto del uso de la digitalización como herramienta pedagógica en la enseñanza de dichas disciplinas..

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio cuantitativo de tipo pre-experimental con grupo único, orientado a evaluar el impacto de la digitalización de muestras histológicas como estrategia didáctica en el aprendizaje activo de las Ciencias Morfológicas.

La muestra estuvo compuesta por los 15 estudiantes que cursaron la asignatura de Histoquímica durante el segundo semestre de 2023, pertenecientes a la mención de Morfofisiopatología y Citodiagnóstico de la carrera de Tecnología Médica de la Facultad de Medicina de la Universidad de Valparaíso (sede Casa Central, Viña del Mar, Chile).

La selección de participantes se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, pues la cohorte representaba la totalidad de estudiantes inscritos en esa sede. Como criterios de inclusión se consideraron a todos los estudiantes matriculados en la asignatura de Histoquímica durante el período de estudio, y como criterios de exclusión, aquellos estudiantes que no completaron las actividades evaluativas del curso.

Para el análisis comparativo retrospectivo, se utilizaron los registros históricos de calificaciones correspondientes a las cohortes 2009–2022 de la misma asignatura, carrera, mención y sede, desde las bases de datos institucionales.

Las variables principales fueron: 1) el cumplimiento de resultados de aprendizaje y desarrollo de competencias, operacionalizadas mediante los puntajes obtenidos en tres tipos de actividades evaluativas: prácticas de laboratorio, talleres de análisis digital y tareas de cuantificación; y 2) el rendimiento académico global, medido por el promedio final de calificaciones de la cohorte 2023 y comparado con las cohortes previas (2009–2022).

Cada variable se cuantificó según pautas estructuradas con indicadores específicos, evaluados en una escala de 0 a 3 puntos, cuyos resultados se tradujeron a notas en escala de 1 a 7.

Procedimientos

Se emplearon instrumentos de evaluación específicos diseñados por el equipo docente para cada tipo de actividad:

- Evaluación de desempeño en laboratorio: Pauta con cinco indicadores de desempeño individual (dos de los cuales se promedian ya que tributan al mismo resultado de aprendizaje/competencia), con un máximo de 12 puntos (Tabla 1).
- Evaluación de talleres de análisis digital: Descripción estructurada de microfotografías mediante plantilla (Tabla 2) y pauta de análisis cualitativo con cinco indicadores (dos de los cuales se promedian ya que tributan al mismo resultado de aprendizaje/competencia), con un máximo de 12 puntos (Tabla 3).
- Evaluación de tareas de cuantificación e interpretación: Pauta con cuatro indicadores sobre cuantificación, interpretación y respaldo bibliográfico, con un máximo de 12 puntos (Tabla 4).

Tabla 1. Pauta de evaluación de prácticas de laboratorio					
Resultado de aprendizaje o Competencia	Indicador	Logrado (3)	Parcialmente logrado (2)	No logrado (1)	Ausencia (0)
Aplique procedimientos histoquímicos en la identificación de macromoléculas	Manejo en laboratorio Realiza las actividades de forma ordenada y eficiente, siguiendo el protocolo.				
	Resultado de la técnica histoquímica Realiza correctamente los procedimientos, obteniendo la tonalidad de la marca esperada de las macromoléculas en estudio.				
Planifique el uso de recursos de un laboratorio de histoquímica utilizando herramientas de gestión apropiadas	Uso de recursos de laboratorio Utiliza en forma eficiente los insumos y reactivos, sin derrochar recursos.				
Utilice protocolos de bioseguridad durante la aplicación de las diversas técnicas histoquímicas	Aplicación de criterios de bioseguridad Sigue protocolos de bioseguridad dentro de laboratorio.				
Emplea los conocimientos anatomopatológicos y tecnológicos en la utilización de los procedimientos, técnicas y exámenes cito e histopatológicos para el apoyo en el diagnóstico, pronóstico y tratamiento médico.	Captura de microfotografías Digitaliza la técnica histoquímica correctamente, obteniendo una microfotografía de una zona representativa, con buena calidad (color, saturación, brillo, contraste, fondo, etc.).				

Tabla 2. Plantilla de descripción de resultados de técnicas histoquímicas	
Indicador	Descripción
Técnica histoquímica Señale la técnica y describa brevemente sus fundamentos.	
Identificación de la señal histoquímica Mencione el tipo de macromoléculas identificadas y su localización en el tejido.	
Descripción de la señal histoquímica Refiérase a la ubicación celular y/o subcelular, forma, tamaño, intensidad y patrón de expresión de las macromoléculas analizadas.	
Interpretación diagnóstica Interprete el resultado de la señal histoquímica y asociarla a una condición patológica.	
Evaluación técnica de los resultados Evalúe los resultados, identificando las posibles variables procedimentales que pueden haber influido, y recomendaciones para su mejora, si corresponde.	
Controles Mencione los controles más apropiados para la realización de la técnica histoquímica.	

Tabla 3. Pauta de evaluación de talleres colaborativos					
Resultado de aprendizaje o Competencia	Indicador	Logrado (3)	Parcialmente logrado (2)	No logrado (1)	Ausencia (0)
Describa técnicas histoquímicas para el reconocimiento de macromoléculas	Identificación de la señal histoquímica Reconoce las macromoléculas analizadas en su localización tisular.				
	Descripción de la señal histoquímica Describe la forma, tamaño, intensidad y localización de las macromoléculas analizadas.				
Interpreta el resultado de exámenes clínicos, basado en su conocimiento científico y tecnológico, para apoyar el diagnóstico y rehabilitación del paciente.	Interpretación de la señal histoquímica Interpreta el resultado de la señal histoquímica y lo asocia a una condición patológica.				
Analice las variables procedimentales que influyen en los resultados de microscopía que se analizan por imágenes	Análisis de los resultados Evalúa los resultados obtenidos, identificando las posibles variables procedimentales que pueden haber influido en los resultados analizados mediante microscopía óptica.				
Diseñe los métodos de controles más adecuados para la identificación histoquímica de macromoléculas	Uso de controles Selecciona, utiliza y analiza los controles apropiados para la realización de la técnica histoquímica.				

Tabla 4. Pauta de evaluación de tareas de análisis técnico					
Resultado de aprendizaje o Competencia	Indicador	Logrado (3)	Parcialmente logrado (2)	No logrado (1)	Ausencia (0)
Emplea los conocimientos anatomopatológicos y tecnológicos en la utilización de los procedimientos, técnicas y exámenes cito e histopatológicos para el apoyo en el diagnóstico, pronóstico y tratamiento médico.	Análisis cuantitativo Cuantifica con el software las dimensiones, cantidades e intensidades de las marcas de macromoléculas en microfotografías de preparaciones histoquímicas.				
Interpreta el resultado de exámenes clínicos basados en su conocimiento científico y tecnológico para apoyar el diagnóstico y rehabilitación del paciente.	Interpretación de resultados Interpreta y diagnóstica correctamente la señal de la microfotografía de la técnica histoquímica.				
Utilice buscadores científicos para la selección de información requerida en los trabajos de la asignatura	Utiliza buscadores científicos para la elaboración de trabajos.				
Seleccione literatura pertinente a la asignatura, tanto en español como inglés, durante la realización de los trabajos	Utiliza material bibliográfico adecuado para la elaboración de trabajos.				

Como primera actividad, se impartió una práctica de introducción al uso de la cámara digital Motic Moticam 4000, acoplada a un microscopio Olympus CX43, con el fin de entrenar a los estudiantes en digitalización de preparaciones histológicas.

Cada semana, a lo largo del semestre, los estudiantes realizaron técnicas histoquímicas específicas (Verhoeff, Orceína, Gomori, PAS, Feulgen, Rojo Congo, Fontana-Masson, Perl's y Negro Sudán B). Luego del laboratorio, se realizaron talleres grupales de análisis, donde se discutieron colectivamente las microfotografías, conformando una microteca digital colaborativa. Además, en esta instancia, los estudiantes recibieron retroalimentación de los docentes, propiciando un entorno que promoviera la observación detallada, la descripción estructurada, la reflexión y la interpretación crítica de las preparaciones. Finalmente, se incorporó el análisis cuantitativo de la señal histoquímica mediante el software ImageJ, guiado por una clase teórico-práctica introductoria. Las tareas individuales permitieron aplicar técnicas de medición de área, perímetro, intensidad y conteo de estructuras teñidas.

Los datos recolectados incluyeron los puntajes obtenidos por los estudiantes en las distintas actividades, con los instrumentos de evaluación diseñados para cada una de ellas (Tablas 1, 3 y 4). El porcentaje de cumplimiento de los resultados de aprendizaje y competencias se estimó mediante la relación entre el promedio y el puntaje máximo posible por pauta. Para evaluar el impacto de la estrategia pedagógica en el desempeño académico de los estudiantes, se compararon los promedios finales de la cohorte 2023 con las cohortes 2009–2022.

El procesamiento de datos y las gráficas se realizó con *Microsoft Excel 365*, y el análisis estadístico descriptivo (promedios y porcentajes) con *GraphPad Prism* versión 8.0.2.

Esta intervención se realizó en el marco de una actividad curricular formal, evaluada, con fines de mejora docente; por lo tanto, no requirió revisión por el Comité de Ética Institucional. Todos los procedimientos se ajustaron a los lineamientos institucionales de confidencialidad y uso de datos académicos, así como a los principios de la Declaración de Helsinki, las normas CIOMS-OMS para investigaciones en humanos y la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos humanos.

RESULTADOS

Desempeño en las prácticas de laboratorio

Durante todo el semestre, los estudiantes mantuvieron un rendimiento alto y sostenido en las prácticas de laboratorio, con puntajes promedios de curso por práctica entre 11 y 12 puntos y un promedio general de 11,46 sobre un máximo de 12 puntos (Figura 1A).

El cumplimiento promedio de los resultados de aprendizaje y competencias fue de 95,9 % de logro, y se alcanzó 100 % en la última semana del curso. El resultado de aprendizaje con menor porcentaje de logro promedio del curso fue “Emplea los conocimientos anatomopatológicos y tecnológicos en la utilización de los procedimientos, técnicas y exámenes cito e histopatológicos para el apoyo en el diagnóstico, pronóstico y tratamiento médico” (90 %), mientras que el mejor logrado fue “Aplique procedimientos histoquímicos en la identificación de macromoléculas” (100 %) (Figura 1B).

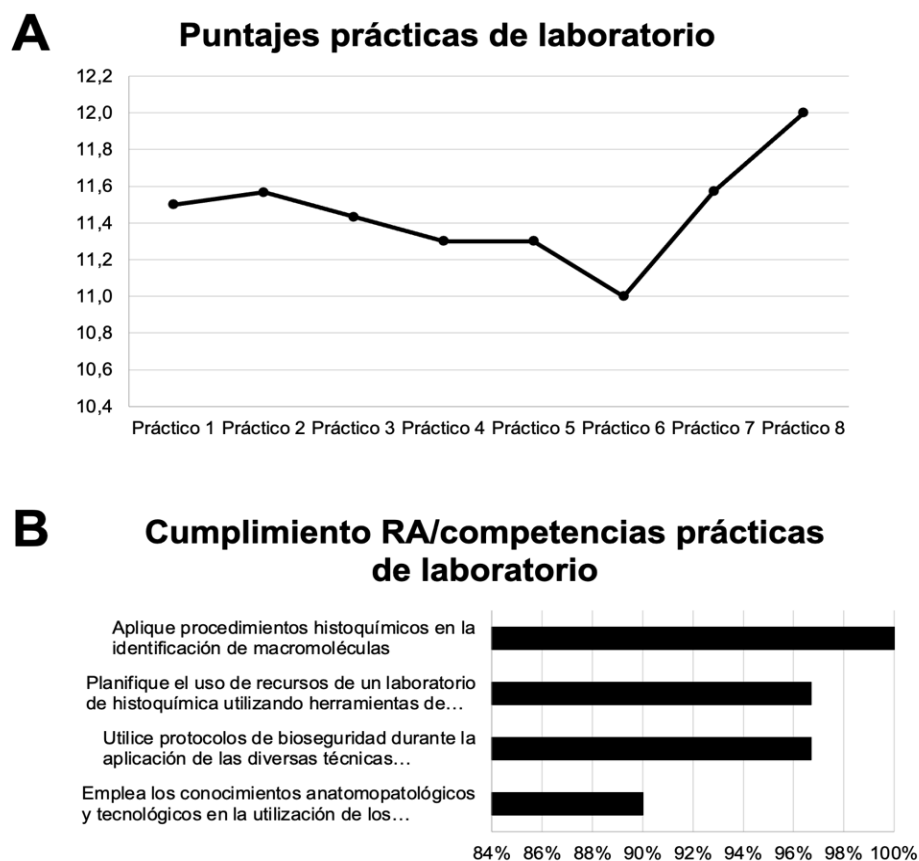


Figura 1. Resultados de desempeño estudiantil en prácticas de laboratorio. (A) Puntaje prácticas de laboratorio. (B) Cumplimiento de RA/competencias de prácticas de laboratorio por indicador (Tabla 1). RA: Resultados de aprendizaje.

Análisis de los talleres colaborativos

El puntaje promedio de curso de los talleres aumentó significativamente desde la primera semana (6,73 puntos) hasta estabilizarse en un promedio de 11,49 puntos a partir de la segunda semana (Figura 2A).

El cumplimiento promedio de los resultados de aprendizaje y competencias fue de 91,7 % de logro. Todos los indicadores mostraron niveles similares de cumplimiento, excepto “Diseño los métodos de controles más adecuados para la identificación histoquímica de macromoléculas”, con un porcentaje promedio de 96,7 %, como el más alto (Figura 2B).

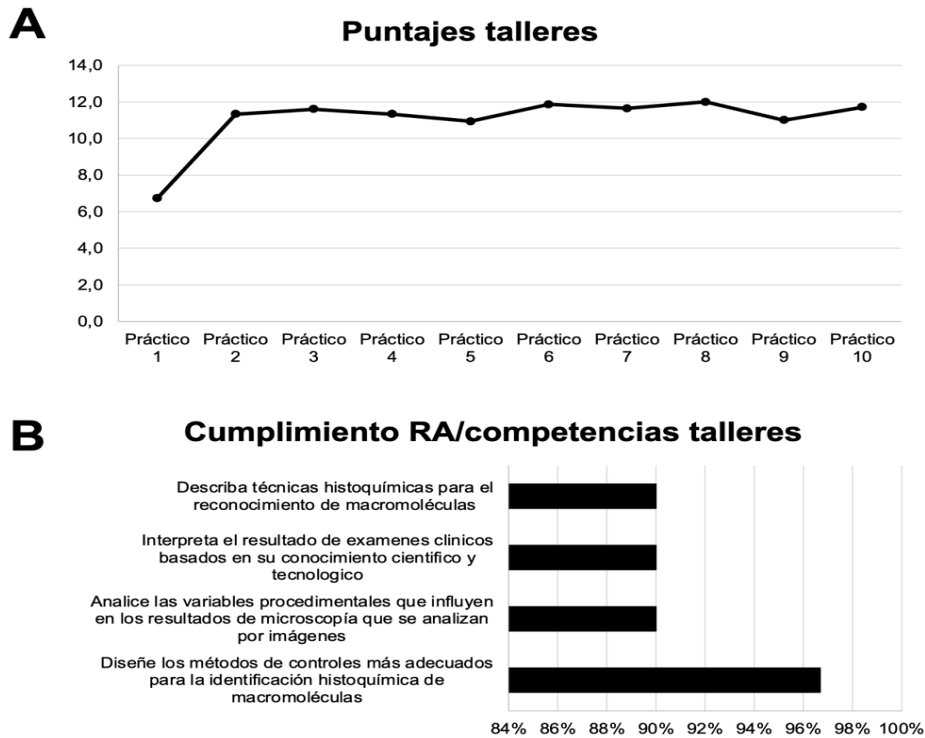


Figura 2. Resultados de desempeño estudiantil en talleres. (A) Puntaje talleres. (B) Cumplimiento de RA/competencias de talleres por indicador (Tabla 3). RA: Resultados de aprendizaje.

Evaluación de tareas de análisis técnico

En las tareas individuales de análisis técnico de señales histoquímicas, los estudiantes obtuvieron un puntaje promedio de 11,29 sobre 12 puntos (Figura 3A).

El porcentaje promedio de curso de cumplimiento de resultados de aprendizaje y competencias fue de 94,2 %. La competencia con menor logro fue “Utilice buscadores científicos para la selección de información requerida en los trabajos de la asignatura” (86,7 %). En contraste, se alcanzó 100 % de cumplimiento en “Seleccione literatura pertinente a la asignatura, tanto en español como en inglés” y “Emplea los conocimientos anatomopatológicos y tecnológicos en la utilización de los procedimientos, técnicas y exámenes cito e histopatológicos” (Figura 3B).

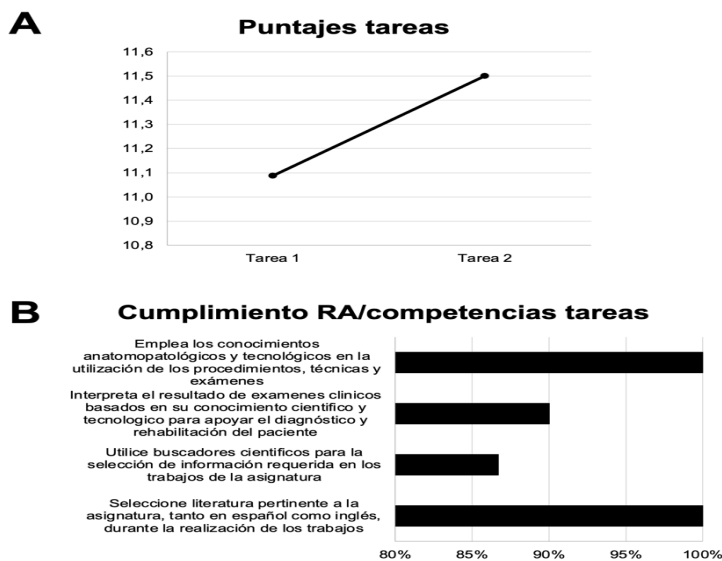


Figura 3. Resultados de desempeño estudiantil en tareas. (A) Puntaje tareas. (B) Cumplimiento de RA/competencias de tareas por indicador (Tabla 4). RA: Resultados de aprendizaje.

Comparación histórica de calificaciones

Para estimar el impacto global de la estrategia pedagógica, se compararon las calificaciones finales de la cohorte 2023 con las cohortes históricas 2009–2022.

El promedio de notas de la cohorte 2023 fue de 6,0 (escala 1–7), superior al promedio histórico de 5,2, cuyo rango fluctuó entre 4,6 y 5,9 (Tabla 5).

Cohorte	Promedio de notas
2009	4,9
2010	4,6
2011	4,8
2012	5,0
2013	5,1
2014	5,6
2015	5,6
2016	5,0
2017	5,4
2018	5,3
2019	4,9
2020	5,9
2021	5,6
2022	5,4
2023	6,0

Fuente: Registros de calificaciones histórico Escuela de Tecnología Médica, Universidad de Valparaíso, Chile.

DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio evidencian la eficacia pedagógica de la digitalización como recurso de apoyo en el aprendizaje de disciplinas morfológicas. Los estudiantes alcanzaron un cumplimiento promedio cercano a 94 % en los resultados de aprendizaje y competencias evaluadas, junto con una mejora sustantiva en el rendimiento académico global, reflejada en un promedio final superior al registrado en los últimos 15 años.

Estos resultados son congruentes con la literatura reciente que subraya el valor de las tecnologías digitales en la enseñanza de las Ciencias Biomédicas, al potenciar el rendimiento académico, la comprensión conceptual y el pensamiento crítico.^(18,19) En el ámbito de las Ciencias Morfológicas, la microscopía virtual y los atlas digitales se han consolidado como herramientas efectivas para superar las limitaciones de uso del microscopio óptico convencional, contribuyendo a la autonomía, flexibilidad y motivación estudiantil.^(12,16)

La propuesta desarrollada se sustentó en un enfoque de “aprender haciendo”, que involucró a los estudiantes en todas las etapas del proceso: ejecución de técnicas de laboratorio, captura de microfotografías, análisis cualitativo y cuantificación digital mediante ImageJ. Esta integración entre lo procedimental y lo analítico generó una experiencia de aprendizaje activa, participativa y reflexiva, en contraste con modelos centrados en la transmisión de contenidos. El alto rendimiento alcanzado en las prácticas, talleres y tareas corrobora la efectividad de este enfoque, en concordancia con un metaanálisis que demuestra que las estrategias de aprendizaje activo superan significativamente a las clases magistrales en disciplinas STEM.⁽²⁶⁾

El análisis microscópico digital fue un componente clave de esta propuesta. La familiaridad de los estudiantes con herramientas tecnológicas facilitó su adopción, generando altos niveles de motivación y compromiso, como se observó en los comentarios recopilados mediante una encuesta interna (datos no mostrados). Este resultado coincide con estudios que indican que los estudiantes de la Generación Z responden mejor a entornos digitales y valoran el uso de tecnologías educativas que se alinean con sus estilos de aprendizaje.^(5,27)

De igual manera, el trabajo colaborativo desempeñó un papel importante en esta intervención. Los talleres grupales, concebidos como espacios formativos más que evaluativos, promovieron la reflexión conjunta, la argumentación y la co-construcción del conocimiento. Este entorno favoreció el desarrollo de competencias comunicativas, digitales y cognitivas, en línea con estudios que destacan el valor de los entornos colaborativos híbridos para lograr aprendizajes más profundos. ^(15,28)

La implementación de metodologías activas que integran tecnologías digitales y trabajo colaborativo demostró ser una estrategia efectiva para el desarrollo de competencias específicas y transversales, especialmente en asignaturas profesionalizantes. En este sentido, la experiencia refuerza la necesidad de que las instituciones de Educación Superior avancen hacia modelos docentes más flexibles, inclusivos, participativos y sustentables, capaces de responder a los desafíos de la formación sanitaria contemporánea.

Un aporte destacado de esta experiencia fue la creación de una microteca digital colaborativa, concebida como un recurso pedagógico reutilizable que promueve la sustentabilidad educativa. Este repositorio digital podrá ser adaptado a otras asignaturas morfológicas, como Histología, Técnica Histológica o Anatomía Patológica, y constituye un ejemplo de educación abierta orientada al aprendizaje continuo y compartido.

Desde la perspectiva docente, esta intervención permitió adquirir nuevas competencias tecnológicas y pedagógicas, lo que mejoró la capacidad del equipo académico para integrar recursos digitales en la planificación curricular. Uno de los aprendizajes más significativos fue constatar que la combinación de distintas modalidades dentro de una misma sesión —exposición teórica, práctica de laboratorio, análisis colaborativo y uso de herramientas digitales— potencia la comprensión de contenidos complejos y fomenta el pensamiento crítico. Asimismo, se evidenció la importancia de diseñar actividades que resulten motivadoras, significativas y útiles para los estudiantes, así como la necesidad de incorporar espacios de retroalimentación formativa que consoliden el aprendizaje colaborativo.

Por otro lado, la metodología propuesta se distingue por ser viable, sostenible y de bajo costo, ya que requiere únicamente equipamiento básico de microscopía digital (un microscopio y una cámara acoplada). Su adaptabilidad la convierte en una estrategia replicable en otras asignaturas que involucren el análisis de tejidos o células.

Si bien los resultados son alentadores, este estudio presenta algunas **limitaciones** que deben considerarse al interpretar sus hallazgos. En primer lugar, la intervención se aplicó en una única cohorte de estudiantes, lo que restringe la generalización de los resultados, aunque la propuesta metodológica es potencialmente replicable en otras asignaturas de las Ciencias Morfológicas y en carreras afines del área de la salud. Además, aunque las cohortes históricas son comparables en tamaño (número similar de estudiantes) y perfil académico (nivel de conocimientos biológicos similar, pues aprobaron el mismo examen para acceder a la mención de la carrera un semestre antes), el tamaño muestral sigue siendo reducido, por lo que sería deseable validar estos resultados en grupos más amplios y diversos.

Otra **limitación** es la ausencia de un grupo control paralelo que permitiera evaluar de manera más directa el efecto de la intervención frente a metodologías tradicionales. Finalmente, al tratarse de un estudio aplicado en un contexto curricular específico, factores como la motivación intrínseca del grupo o el compromiso del equipo docente podrían haber influido en los resultados observados. Futuras investigaciones podrían incorporar diseños comparativos, evaluaciones de largo plazo y análisis cualitativos más sistemáticos para profundizar en el impacto de esta estrategia en el aprendizaje significativo y en el desarrollo de competencias profesionales.

CONCLUSIONES

La digitalización de preparaciones histológicas, como herramienta pedagógica, mejora el rendimiento académico y es una estrategia eficaz para promover un aprendizaje significativo en las ciencias morfológicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pearse AGE. Histoquímica. Teórica y aplicada. Madrid: Editorial Aguilar; 1960.
2. Wick MR. Diagnostic histochemistry: A historical perspective. *Semin Diagn Pathol* [Internet]. 2018 [Citado 11/10/2025];35(6):354–9. Disponible en: <https://doi.org/10.1053/j.semdp.2018.10.007>
3. Pellicciari C. Twenty years of histochemistry in the third millennium, browsing the scientific literature Views and Comments. *European Journal of Histochemistry* [Internet]. 2020 [Citado 08/10/2025];64(3213):330–7. Disponible en: <https://www.ejh.it/index.php/ejh/article/view/3213>
4. Durrani Z, Pickavance L, Duret D, Nevitt S, Noble K. Evaluation of innovative digital microscopy and interactive team-based learning approaches in histology teaching. *Developing Academic Practice* [Internet]. 2021 [Citado 02/10/2025];2021(3):1–16. Disponible en: https://livrepository.liverpool.ac.uk/3128159/1/10_3828_dap_2021_8-2021062901016.pdf
5. Szymkowiak A, Melović B, Dabić M, Jeganathan K, Kundi GS. Information technology and Gen Z: The role of teachers, the internet, and technology in the education of young people. *Technol Soc* [Internet]. 2021 [Citado 02/10/2025];65(101565):1–10. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160791X21000403>
6. Salguero Alcalá GK, Benites Zúñiga JL, Salguero Alcalá AG, Orosco León OE, Orosco Toribio EG, Vega Vilca CS. Competencias digitales y rendimiento académico en los estudiantes universitarios. *Horizontes Revista de Investigación en Ciencias de la Educación* [Internet]. 2024 [Citado 03/10/2025];8(32):164–73. Disponible en: <https://revistahorizontes.org/index.php/revistahorizontes/article/view/1312>

7. Valverde-Berrocoso J, Acevedo-Borrega J, Cerezo-Pizarro M. Educational Technology and Student Performance: A Systematic Review. *Front Educ (Lausanne)* [Internet]. 2022 [Citado 12/09/2025];7(916502):1–12. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/education/articles/10.3389/feduc.2022.916502/full>
8. Abuarab NK, Aldarmahi AA. The Impact of Integration of E-Learning in Science: Applying Technology in Biology Classes as a Model. *Cureus* [Internet]. 2024 [Citado 13/10/2025];5(16):1–11. Disponible en: <https://www.cureus.com/articles/243578-the-impact-of-integration-of-e-learning-in-science-applying-technology-in-biology-classes-as-a-model#!/>
9. Getenet S, Cantle R, Redmond P, Albion P. Students' digital technology attitude, literacy and self-efficacy and their effect on online learning engagement. *International Journal of Educational Technology in Higher Education* [Internet]. 2024 [Citado 14/11/2025];21(3):1–20. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1186/s41239-023-00437-y>
10. Prior DD, Mazanov J, Meacheam D, Heaslip G, Hanson J. Attitude, digital literacy and self efficacy: Flow-on effects for online learning behavior. *Internet and Higher Education* [Internet]. 2016;29:91–7. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2016.01.001>
11. Yuan X, Rehman S, Altalbe A, Rehman E, Shahiman MA. Digital literacy as a catalyst for academic confidence: exploring the interplay between academic self-efficacy and academic procrastination among medical students. *BMC Med Educ* [Internet]. 2024 [Citado 17/10/2025];24(1317):1–14. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12909-024-06329-7>
12. Pomárico MC, Vargas Cardenás V, Soler Calvo IJ, Hernández-Vela S, Gómez Garzón M. Implementación de actividades pedagógicas mediadas por el uso de imágenes digitales obtenidas a partir de preparaciones histopatológicas del laboratorio de parasitología. *Hechos Microbiológicos* [Internet]. 2023 [Citado 16/10/2025];14(2):25–33. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/hm/article/view/354873>
13. Rodríguez L V. Metodologías de enseñanza para un aprendizaje significativo de la histología. *Revista digital universitaria*. 2014;15(11):1–16.
14. Stokes AL, Mayall FG. Machine learning and machine teaching in histopathology. *Pathol Res Pract* [Internet]. 2024 [Citado 16/10/2025];253(155034):1–3. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0344033823007355>
15. Zhang Y, Li C, Zhou C. Improving student learning outcomes and perception through a blended learning strategy based on virtual microscopy for teaching a histology laboratory course. *Adv Physiol Educ* [Internet]. 2025 [Citado 16/10/2025];49(1):79–86. Disponible en: [https://journals.physiology.org/Disponible en https://full/10.1152/advan.00058.2024](https://journals.physiology.org/Disponible%20en%20https://full/10.1152/advan.00058.2024)
16. Felszeghy S, Pasonen-Seppänen S, Koskela A, Mahonen A. Student-focused virtual histology education: Do new scenarios and digital technology matter? *MedEdPublish* [Internet]. 2017;6(154):1–17. Disponible en: <https://doi.org/10.15694/mep.2017.000154>
17. Maity S, Nauhria S, Nayak N, Nauhria S, Coffin T, Wray J, et al. Virtual Versus Light Microscopy Usage among Students: A Systematic Review and Meta-Analytic Evidence in Medical Education. *Diagnostics* [Internet]. 2023 [Citado 17/11/2025];13(558):1–28. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2075-4418/13/3/558>
18. Qing J, Cheng G, Ni XQ, Yang Y, Zhang W, Li Z. Implementation of an interactive virtual microscope laboratory system in teaching oral histopathology. *Sci Rep* [Internet]. 2022 [Citado 23/22/2025];12(1). Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-09473-6>
19. Sharmin N, Chow AK, Dong AS. A Comparison Between Virtual and Conventional Microscopes in Health Science Education Comparaison entre les microscopes virtuels et conventionnels dans l'enseignement des sciences de la santé. *Canadian Journal of Learning and Technology* [Internet]. 2023 [Citado 01/11/2025];49(2):1–20. Disponible en: <https://cjlt.ca/index.php/cjlt/article/view/28270/20740>
20. Guiter GE, Sapia S, Wright AI, Gordon G, Hutchins GA, Arayssi T. Development of a Remote Online Collaborative Medical School Pathology Curriculum with Clinical Correlations, across Several International Sites, through the Covid-19 Pandemic. *Med Sci Educ* [Internet]. 2021 [Citado 01/11/2025];2(31):549–56. Disponible en: <http://www.link.springer.com/article/10.1007/s40670-021-01212-2#citeas>
21. Nauhria S, Hangfu L. Virtual microscopy enhances the reliability and validity in histopathology curriculum: Practical guidelines. *MedEdPublish* [Internet]. 2019 [Citado 01/11/2025];8(28):1–16. Disponible en: <https://mededpublish.org/articles/8-28>
22. Joaquim DC, Hortsch M, Silva ASR da, David PB, Leite ACR de M, Girão-Carmona VCC. Digital information and communication technologies on histology learning: What to expect?—An integrative review. *Anat Histol Embryol* [Internet]. 2022 [Citado 15/11/2025];51(2):180–8. Disponible en: [https://onlinelibrary.wiley.com/Disponible en/10.1111/ahe.12776](https://onlinelibrary.wiley.com/Disponible%20en/10.1111/ahe.12776)
23. Lee M, Shin S, Lee M, Hong E. Educational outcomes of digital serious games in nursing education: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *BMC Med Educ* [Internet]. 2024 [Citado 11/11/2025];24(1458):1–10. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1186/s12909-024-06464-1>
24. Rodríguez-Fernández CI, Speight PM, Khurram SA, Araújo ALD, Pérez DE da C, Fonseca FP, et al. The use of digital microscopy as a teaching method for human pathology: a systematic review. *Virchows Archiv* [Internet]. 2020 [Citado 17/11/2025];477(4):475–86. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00428-020-02908-3>

25. Paucar Ñacata VP, Chalco López CL, Birmania Piedad. ML, Arizala Campo RE. Impacto de las plataformas digitales en el aprendizaje colaborativo: análisis de casos y prácticas exitosas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* [Internet]. 2023 [Citado 17/11/2025];7(3):1321–42. Disponible en: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6316>
26. Freeman S, Eddy SL, McDonough M, Smith MK, Okoroafor N, Jordt H, et al. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proc Natl Acad Sci U S A* [Internet]. 2014;111(23):8410–5. Disponible en: <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
27. Chardonens S. Adapting educational practices for Generation Z: integrating metacognitive strategies and artificial intelligence. *Front Educ (Lausanne)* [Internet]. 2025 [Citado 23/10/2025];10:1–14. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/education/articles/10.3389/feduc.2025.1504726/full>
28. De Souza FM, Milind Karapurkar N, Meleena QC, Alvares JJ. Integrated virtual teaching, learning and testing in histology: A student's perspective. *Journal of Medical Education Development* [Internet]. 2024 [Citado 11/10/2025];53(17):72–81. Disponible en: <http://edujournal.zums.ac.ir/article-1-1895-fa.html>

Financiamiento:

Este trabajo fue financiado por la convocatoria “Segundo Concurso de Investigación en Docencia Universitaria”, perteneciente al proyecto “Fortaleciendo el proceso formativo de los estudiantes de la Universidad de Valparaíso, para una mayor inclusión, diversidad, equidad y pertinencia”, UVA21991, de la Universidad de Valparaíso, Chile.

Conflicto de intereses

Todos los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de autoría

Daniela López: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos, metodología, administración del proyecto, recursos, supervisión, validación, visualización, redacción del borrador original, redacción-revisión y edición.

Elizabeth Leiva: Conceptualización, curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, metodología, validación, visualización, redacción-revisión y edición.

Juan Varas: Curación de datos, investigación, recursos.

Alejandra Moller: Conceptualización, adquisición de fondos, investigación, metodología, recursos, redacción-revisión y edición.

Claudio Córdova: Investigación, redacción-revisión y edición.

Alejandra Calderón: Investigación, recursos, redacción-revisión y edición.

Todos los autores participamos en la discusión de los resultados y hemos leído, revisado y aprobado el texto final.