



Artículo de revisión

Uso de la simulación en la enseñanza de la patología quirúrgica

Simulation as a teaching tool in Macroscopic and Microscopic Surgical Pathology

Uso de simulação no ensino de patologia cirúrgica macroscópica e microscópica.

Recibido: 06 | 05 | 2019

Aprobado: 03 | 10 | 2019

DOI: <https://doi.org/10.18270/rsb.v9i2.2808>

How to cite:

Jiménez-Tobón GA, Jiménez Tobón HA, Vélez Hoyos A. Uso de la simulación en la enseñanza de la patología quirúrgica. Rev. salud. bosque. 2019;9(2):56-64.

DOI: <https://doi.org/10.18270/rsb.v9i2.2808>.

Guillermo Antonio Jiménez Tobón

 orcid.org/0000-0002-2585-8877
Compensar EPS y Universidad del Rosario
Bogotá D.C., Colombia

Harold Azmed Jiménez Tobón

 orcid.org/0000-0001-9217-2894
Medellín, Colombia.

Alejandro Vélez Hoyos

 orcid.org/0000-0001-7921-9088
Hospital Pablo Tobón Uribe
Medellín, Colombia.

Correspondencia: guillermoajimenez@urosario.edu.co

Resumen

La enseñanza médica en el pregrado ha sufrido múltiples reformas con el fin de ajustarla a los nuevos retos que plantea esta disciplina en la actualidad. La patología no es ajena a estos cambios, los cuales se han reflejado en la disminución del tiempo dedicado a su enseñanza; al respecto, se han generado diversas opiniones que van desde proponer su completa eliminación de los currículos hasta darle mayor énfasis.

La simulación como técnica de enseñanza no es un concepto nuevo en medicina y para el campo de la patología es una oportunidad para optimizar el tiempo de docencia, generar más estudio independiente entre los estudiantes y estimular el aprendizaje en las nuevas generaciones. En esta revisión se mostrarán los diferentes trabajos de simulación realizados en esta área.

Palabras clave: Simulación por computador; Patología; Materiales de enseñanza; Realidad virtual; Realidad aumentada.

Abstract:

Multiple reforms to undergraduate medical education have been carried out to fit to the new challenges posed by current medicine. Pathology is no stranger to these changes and has been reflected in the decrease in the time dedicated to its teaching, with such diverse opinions between completely eliminating pathology from undergraduate curricula or to give it greater emphasis. Simulation is not a new concept in medicine and for pathology is an opportunity to optimize teaching time, generate more independent study among students and stimulate learning to new generations. In this review we will show the different works that have been done in pathology simulation.

Keywords: Computer Simulation; Pathology; Teaching Materials; Virtual Reality; Augmented Reality.

Introducción

La medicina actual ha sufrido profundos cambios debido a la cantidad de nuevo conocimiento que reemplaza el anterior, el crecimiento poblacional, los incrementos en el costo de la atención médica y la incorporación de nueva y compleja tecnología. Dichos cambios son contantes y se dan a gran velocidad, un ejemplo de esto es que en la base de datos de MEDLINE se agregan 12.000 nuevos artículos cada semana (1).

A causa de esta transformación y para poderse adaptar a los nuevos tiempos, los programas de pregrado de medicina han tenido una gran cantidad de reformas en las últimas décadas mediante las cuales se ha migrado de la enseñanza en “ologías”, —tales como ginecología, hematología, patología, etc.— y el uso de medios tradicionales de enseñanza, a una formación enfocada al aprendizaje basado en problemas en donde se integran distintos saberes que se distribuyen de forma transversal y en espiral a lo largo del currículo. En este sentido, actualmente el proceso pedagógico está centrado en el estudiante y no en el docente y se estimula el aprendizaje autónomo y la adquisición de habilidades para aprender a aprender a lo largo de la vida (2,3).

Esta migración ha sido de mucho interés en el área de la enseñanza y varias instituciones han hecho propuestas para poder realizarla:

El *Panel on the General Professional Education of the Physician of the Association of the American Medical Colleges (AAMC)* propone limitar la cantidad de información a memorizar, adoptar métodos para aprender

Resumo:

Teve várias reformas na educação médica de graduação para conseguir se ajustar aos novos desafios da medicina atual. A patologia não é estranha a essas mudanças e se refletiu na diminuição do tempo dedicado ao seu ensino, com opiniões tão diversas entre eliminar completamente a patologia dos currículos de graduação e dar-lhe maior ênfase. Simulação não é um conceito novo em Medicina e, para a patologia, é uma oportunidade de otimizar o tempo de ensino, gerar um estudo mais independente entre os alunos e estimular o aprendizado para as novas gerações. Nesta revisão, mostraremos os diferentes trabalhos que foram realizados em simulação em patologia.

Palavras-chave: Simulação computacional, patologia, materiais didáticos, realidade virtual, realidade aumentada.

de forma independiente, reducir el aprendizaje pasivo y guiar la aplicación de tecnología computacional (4).

El *UK General Medical Council* propone realizar una disminución de los contenidos y facilitar el acceso de los estudiantes al aprendizaje basado en simulación (5,6).

La *Association of American Medical Colleges* propone hacer énfasis en la promoción, prevención y adaptación de los cambios en salud, en la adquisición y desarrollo de habilidades mediante el impulso del aprendizaje independiente, en la disminución del número de horas programadas y en la incorporación a la educación de las ciencias de la información (7).

El *College of American Pathologists* y la *American Pathology Chairs* proponen desarrollar instrumentos para enseñar y evaluar las habilidades necesarias para la práctica, tales como simulaciones asistidas por computadora en patología (8).

En resumen, el aprendizaje no debe ser memorístico sino que debe facilitar la comprensión y estimular la adquisición e integración de habilidades en el saber, hacer y ser, lo que justifica el uso de la simulación como estrategia pedagógica.

El final del siglo XX y el inicio del siglo XXI se caracterizaron por el desarrollo exponencial de tecnologías que en la actualidad hacen parte de la cotidianidad de las personas; es así que los estudiantes actuales crecieron con la nueva tecnología digital y experimentaron desde niños con diferentes herramientas de esta nueva era. Debido a esta clase de ambiente, su forma de procesar la información es diferente a la

de sus predecesores, por lo cual se sugiere cambiar las metodologías previas de aprendizaje basadas en métodos pasivos a uno que pueda explotar el aprendizaje multisensorial (9,10).

El uso de gráficos, animaciones y ambientes interactivos permite una enseñanza que involucra múltiples sentidos y participación activa del estudiante, lo cual puede facilitar la comprensión de los diferentes temas y desarrollar habilidades para resolver problemas (9).

Gaba (11) define la simulación como una técnica —y no una herramienta o tecnología— para reemplazar, aumentar o amplificar la realidad con experiencias guiadas, a menudo inmersivas por naturaleza, que evocan o replican aspectos substanciales del mundo real en una forma interactiva. Asimismo, Wilson *et al.* (12) afirman que esta intenta conseguir un objetivo específico en un contexto determinado, por lo cual pretende representar las situaciones tan fiel como sea posible. Finalmente, Lawson *et al.* (13) plantean que la simulación se clasifica en alta o baja fidelidad, dependiendo qué tan cercana a la realidad está la réplica.

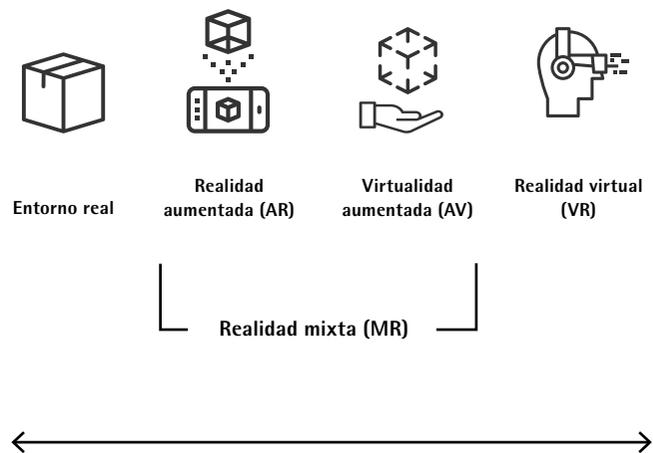
En medicina, de forma tradicional, las habilidades y los procedimientos médicos se han aprendido en pacientes reales, pero con la nueva tecnología es posible practicar y entrenar en ambientes seguros y simulados (13). Este tipo de simulación ha demostrado importantes beneficios como el mejoramiento de la comunicación entre miembros médicos (14), la inmersión del aprendiz (11), el incremento de la motivación y el rendimiento y la disminución del tiempo de instrucciones (12,15); sin embargo, es importante resaltar que esta no reemplaza la guía de un tutor, sino que es complementaria (16).

La simulación en medicina comprende un espectro amplio de métodos y herramientas que incluyen el uso de cadáveres, maniquíes, modelos animales, simuladores basados en pantalla, realidad virtual (RV) y realidad aumentada (RA) (17).

La RV es un modelo artificial generado por computadora, en el cual los individuos hacen una inmersión completa ya que involucra sentidos como la visión, la audición e incluso el tacto; este modelo sintético puede o no tener las propiedades, características y límites del mundo real. Por su parte, en la RA los objetos virtuales son superpuestos sobre o combinados con el ambiente real, por lo cual reemplaza

parte del espacio real con un modelo virtual (18,19). Estos dos conceptos están completamente relacionados como un continuo donde en un extremo se encuentra el ambiente real y en el otro el ambiente virtual (Figura 1) (20).

Figura 1. Continuo de realidad-virtualidad



Fuente: Elaboración con base en (20).

Uso de simulación en la enseñanza de la patología

La patología macroscópica —entendida como la inspección del espécimen quirúrgico con el ojo desnudo y donde se realiza un procesamiento adicional para ser evaluado microscópicamente— y la patología microscópica —entendida como la evaluación de las muestras a nivel microscópico, ya sea usando un microscopio o un computador con la lámina previamente escaneada— son parte integral de la educación médica.

La enseñanza de la patología macroscópica permite conocer la apariencia macroscópica de la enfermedad, ya que en la práctica médica los estudiantes y médicos se encuentran con autopsias, imágenes radiológicas y técnicas quirúrgicas. Por su parte, la patología microscópica ayuda a tener una imagen a nivel microscópico, la cual permite a los estudiantes comprender la patogenia y morfología de la enfermedad (21). En este contexto, para un adecuado aprendizaje de la patología, es necesario que los estudiantes

estén expuestos a multitud de casos tanto en cantidad como en calidad y el contacto no se debe limitar a clases magistrales, sino que la observación y la experimentación son necesarias.

Tradicionalmente, la asignatura de patología era el puente entre el periodo básico y el clínico (5); sin embargo, esta división no existe en los currículos modernos o se ha hecho mucho más sutil. Hoy en día su enseñanza se distribuye a la largo de toda la carrera, lo que es percibido por algunos como un menor número de horas directas de docencia. A esto se suma el hecho de que cada vez es menor el número de autopsias en hospitales y universidades, y que las reglamentaciones nacionales ponen límites a la disponibilidad de cadáveres y piezas anatómicas, lo que dificulta los procesos de docencia (2).

En adición a estas limitantes, existen dos opiniones diametralmente opuestas sobre la importancia de la enseñanza de la patología en pregrado. La primera corriente opina que la medicina no solo abarca ciencia y atención moderna, sino que por el contrario debe dar elementos humanísticos de la práctica y la educación médica. Y la segunda corriente sugiere que la enseñanza de la patología es importante para comprender el lenguaje médico, explicar la enfermedad a los pacientes y poder entender los nuevos desarrollos como la post-genómica (2,3).

Debido a la disminución del tiempo de la enseñanza de la patología, el uso de herramientas de simulación puede ser una solución frente a este problema, ya que permite optimizar el aprendizaje al eliminar las restricciones de tiempo y lugar, además genera una mayor inmersión en los contenidos y favorece los procesos de aprendizaje individualizados (22). La implementación de esta metodología ha ido en aumento, tanto que en Estados Unidos los instructores basados en computadora pasaron de tener 1.3 horas en promedio de las horas totales de patología en el currículo en 1993 a tener 4 horas en 1999 (23).

Simuladores basados en computadora

En patología se han creado algunos simuladores para computadora, por ejemplo, Kanthan & Senger diseñaron dos videojuegos para la enseñanza de las generalidades de esta disciplina en estudiantes de primer y segundo año de medicina. Estos videojuegos consistían en preguntas de selección múltiple en un medio digital y al implementarlos los investigadores encontraron que, aunque todos los alumnos

en general se favorecieron, los que tenían mayores dificultades de aprendizaje con el esquema tradicional se beneficiaban mucho más de este tipo de plataformas (10).

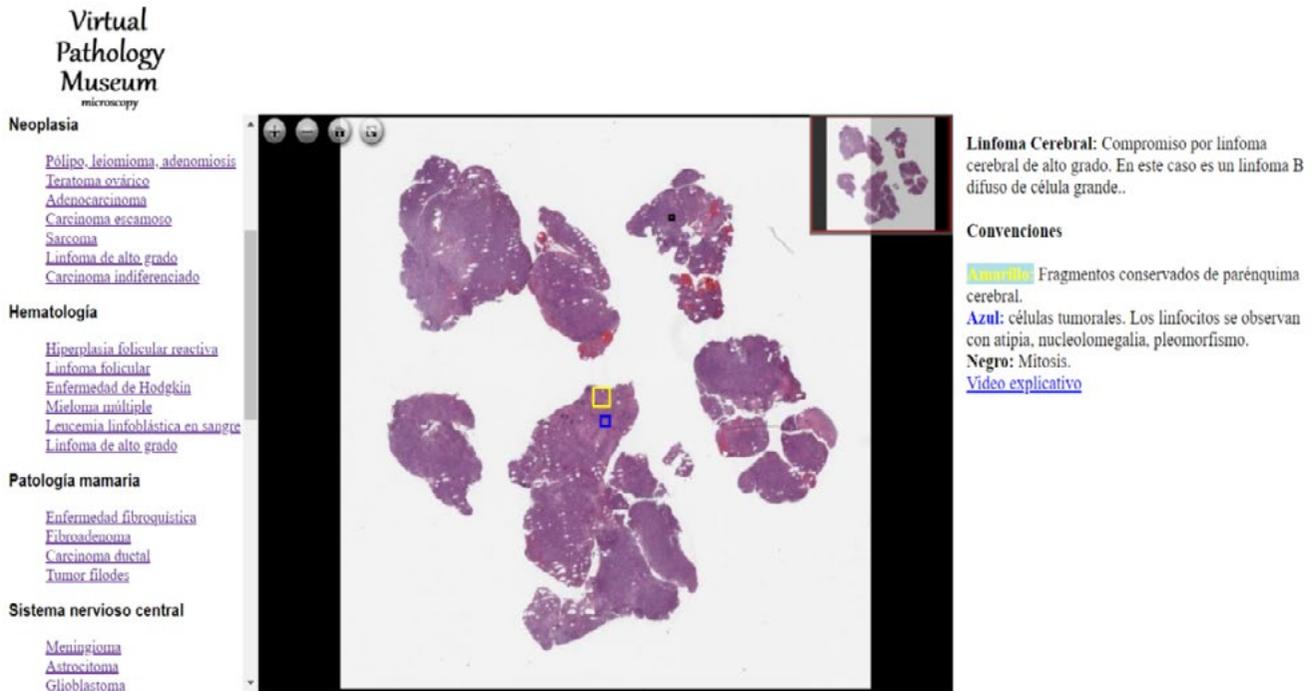
En patología microscópica, la tecnología denominada "Imágenes de láminas completas" escanea las láminas a resolución diagnóstica y almacena las imágenes para usarlas de forma local o remota. Esta lámina virtual puede ser vista en la pantalla del computador navegando en los ejes X y Y, y permite hacer magnificaciones en tiempo real, realizar anotaciones y, en algunos casos, enfocar en un nivel Z (un escaneo en diferentes planos focales que produce una imagen compuesta multiplanar y permite ver estructuras tridimensionales) (Figura 2) (24).

Farahani *et al.* (26) compararon el kit de desarrollo de las Oculus Rift II (una clase de gafas de RV) con monitores de computador personal de escritorio y encontraron que la calidad de la imagen y la confianza en el diagnóstico son menores. Según los autores, esto se explica por la baja definición de las gafas, la baja tasa de refrescamiento y la falta de dispositivos de entrada más intuitivos (26). En los últimos meses se han lanzado al mercado nuevos modelos de gafas de RV, por lo cual esta situación podría cambiar.

En comparación con la microscopía usual, las láminas escaneadas no se rompen, no se degrada su coloración con el tiempo, son accesibles desde cualquier lugar y momento, hay un gran ahorro de tiempo y son comparables (27-30). Además, no solo funcionan con computadores de escritorio, sino que también existen aplicaciones y páginas web que permiten analizarlas desde tabletas y celulares.

Con respecto a si los estudiantes tienen mejores resultados en los exámenes en comparación con la microscopía usual, se encuentran resultados contradictorios (31,32). Para los residentes de patología las láminas escaneadas permiten un entrenamiento continuo y se usan para evaluar sus habilidades en el diagnóstico microscópico en los exámenes RISE y en el Board examinations of the College of American Pathologists (24,33,34). Algunas desventajas que presentan estas láminas son el costo del escáner y de los medios para almacenarlas; la baja resolución en el mayor aumento; la necesidad de tener experiencia en el uso de microscopios; que si la visualización se hace de manera externa la carga de las imágenes en el programa depende de la conexión al servidor, y que algunos elementos son difíciles de escanear (35).

Figura 2. Láminas histológicas disponibles en la página del Museo virtual de Patología de la Universidad del Rosario.



Fuente: Tomado de (25).

Existen dos trabajos que de manera interesante describen una forma innovadora y económica para escanear las láminas: en uno se usa una cámara acoplada a un microscopio con la cual se toman multitud de fotos de forma manual y luego se reconstruye la lámina virtual al crear una panorámica en un programa externo, siendo este un proceso bastante dispendioso y que toma tiempo (36), y en el otro se usa un microscopio estándar modificado con controladores robóticos (37).

La tendencia actual es la digitalización completa de los cursos de patología, tanto microscópica como macroscópica (38,39), lo que ha causado que los laboratorios de microscopía de luz convencional para estudiantes de Medicina en la Universidad de Arizona hayan desaparecido (40). A esto se suma que existen iniciativas para digitalizar colecciones privadas que están disponibles en internet para ser consultadas de forma gratuita (41).

Una de las iniciativas más interesantes es el virtual microscopy database, el cual fue creado como una

colección centralizada donde la comunidad académica puede compartir gran cantidad de láminas digitalizadas para la educación y la investigación. Esta base de datos está dirigida a los docentes e investigadores y no a los estudiantes, ya que su propósito es centralizar las colecciones; sin embargo, estas pueden ser descargadas y usadas con licencia creative commons 4.0 (42,43).

Otra excelente iniciativa es el *Genomic Data Commons Data Portal*, en el cual se pueden encontrar láminas digitalizadas, imágenes radiográficas, historias clínicas y análisis genómicos de diferentes tipos de cáncer (44).

Por su parte, el grupo de patología de la Universidad del Rosario ha creado un museo virtual haciendo uso de las láminas digitalizadas del *Virtual Microscopy Database* y del *Genomic Data Commons Data Portal*, las cuales se cargan en el visor *OpenSeaDragon* (45) y se pueden visualizar como láminas histológicas (Figura 2) (25).

En cuanto a trabajos en patología macroscópica, Madrigal *et al.* (46), al revisar el cuestionario post-experimental, encuentran que el 88% de los residentes mejoraron su confianza al examinar especímenes mediante un método que usa videos en alta definición visibles tanto en 2D como en 3D. Del mismo modo, Melin-Aldana *et al.* (47) proponen la reconstrucción tridimensional por medio de múltiples fotografías de un espécimen y su posterior reconstrucción usando *QuickTime VR*. Finalmente, Turchini *et al.* (48) plantean el uso de fotogrametría tridimensional, un método de modelado en el cual se toman múltiples imágenes desde diferentes puntos de vista y un programa los analiza y genera un modelo tridimensional.

En cuanto a la aplicación de la RA en patología macroscópica, Chow *et al.* (49) usaron un escalpelo que podía ser rastreado magnéticamente y permitía visualizar en la pantalla del computador los planos cortados de especímenes macroscópicos y sus dimensiones.

La reconstrucción tridimensional y la visualización de los especímenes con gafas de RV mejoran el entrenamiento en procesamiento macroscópico, tanto en la descripción como en la adecuada selección de las áreas de interés. Sin embargo, los medios simulados no pueden emular algunas características como el olor, la consistencia y el peso.

Por su parte, Hanna *et al.* (50) publicaron un estudio descriptivo usando *HoloLens*, unas gafas de RA que poseen aplicaciones específicas que permiten rastreo del movimiento de la cabeza, gestos manuales, comandos de voz y captura de fotos y video. Los autores presentan seis casos:

1. *Autopsia*, donde se mostró que los lentes pueden ser usados para dar instrucciones de disección y anotación virtual bidireccional.
2. *Especímenes de patología macroscópica 3D holográficos*, donde se evidenció que si los especímenes son capturados por un escáner 3D y exportados, pueden ser visualizados en las gafas, además el visor 3D permite interacciones como rotar y cambiar de tamaño y de eje.
3. *Telepatología*, donde se encontró que el funcionamiento de los lentes era similar a la autopsia y estos tenían una buena resolución de las imágenes con anotaciones bidireccionales.
4. *Coregistro con especímenes radiográficos*, donde, al manipular las imágenes radiológicas virtuales, se

halló que la velocidad de búsqueda con las gafas era mayor en comparación con el método usual de búsqueda.

5. *Visión de imágenes de placas patológicas escaneadas*, donde se comprobó que estas imágenes pueden ser cargadas y manipuladas con una resolución adecuada.
6. *Reconstrucción de imágenes microscópicas en 3D*, donde se encontró que los archivos son bastante pesados y que, aunque estos pueden ser optimizados e importados, no tienen la posibilidad de ser manipulados.

Modelos físicos sintéticos

Durante la revisión, se encontraron dos trabajos realizados directamente por departamentos de patología que crean modelos físicos sintéticos para entrenamiento de patología macroscópica: en el primero, Pongpailbul *et al.* (51) crearon cinco unidades de un prototipo de carcinoma rectal en látex para entrenar a residentes y asistentes de patología, lo cual fue bastante efectivo y tuvo un reflejo aceptable de la realidad (51); en el segundo, Mahmoud & Bennett (52) usaron impresión 3D (una técnica que crea un objeto físico tridimensional a partir de un modelo diseñado por computadora al añadir múltiples capas de material usando una máquina diseñada para tal fin) y encontraron que se puede generar cualquier espécimen con facilidad de reemplazarlos, producir en masa, imprimir en diferentes tamaños y evitar la exposición de los estudiantes a químicos de preservación como el formol, el cual es un conocido cancerígeno. Sin embargo cada espécimen tiene un precio elevado y su tamaño, la granularidad de la superficie y calidad variable de los colores puede no ser exacta (52-53).

En la actualidad, la impresión 3D se usa en diferentes áreas médicas como entrenamiento en técnicas quirúrgicas y en toma de biopsias, enseñanza de anatomía, planeación de procedimientos quirúrgicos e impresión de algunos implantes en casos clínicos seleccionados (53-55).

Existen otros trabajos que no fueron realizados desde el área de la patología, pero están muy relacionados: en el de Lioufas *et al.* (56) se imprimieron en 3D imágenes de resonancias magnéticas de dos niños con paladar hendido, y en el de Jones *et al.* (57), a partir de imágenes de tomografía axial computarizada y resonancia magnética, se realizó la impresión en 3D de tres modelos, uno de mama, uno de pulmón y uno de hígado, todos ellos tumorales.

Conclusiones

La simulación en patología quirúrgica tiene una gran cantidad de usos potenciales; sin embargo, y aunque en otros países hay bastantes avances en la materia, en Colombia la enseñanza de la patología quirúrgica en pregrado ha quedado relegada al aprendizaje convencional, sin haberse ajustado a los cambios actuales de la medicina, tanto de su práctica como de su enseñanza. Todo esto puede convertir a la especialidad en algo anacrónico.

Paola Domizio (3) señala que la pérdida de la patología de los currículos modernos debe ser corregida y que la sobrecarga de la enseñanza de esta disciplina debe ser manejada de forma adecuada. En este sentido, es necesario que los patólogos que se dediquen a la docencia abracen estas tecnologías y puedan implementarlas en la enseñanza tanto de pregrado como de postgrado y así poder recuperar la relevancia, optimizar el tiempo y hacer más comprensible y atractiva la materia para los estudiantes.

Esta revisión permite conocer los diferentes trabajos y experiencias que se están desarrollando alrededor del mundo en simulación para la enseñanza de la patología quirúrgica. Muchos de estos trabajos no solo están dirigidos a patología, sino que también pueden ser adaptados a la enseñanza de otras especialidades.

Conflicto de intereses

Ninguno declarado por los autores.

Financiación

Ninguna declarada por los autores.

Agradecimientos

Ninguno declarado por los autores.

Referencias

- Glasziou PP. Information overload: What's behind it, what's beyond it? *Med J Aust.* 2008;189(2):84-5. DOI: 10.5694/j.1326-5377.2008.tb01922.x.
- Burton JL. Teaching pathology to medical undergraduates. *Curr Diagnostic Pathol.* 2005;11(5):308-16. DOI: 10.1016/j.cdip.2005.05.009.
- Domizio P. 12 The Changing Role of Pathology in the Undergraduate Curriculum. *Underst Dis A Centen Celebr Pathol Soc.* 2006;137-52.
- Piemme TE. Computer-assisted learning and evaluation in medicine. *JAMA.* 1988;260(3):367-72. DOI: 10.1001/jama.1988.03410030083033.
- Nash JR, West KP, Foster CS. The teaching of anatomic pathology in England and Wales: A transatlantic view. *Hum Pathol.* 2001;32(11):1154-6. DOI: 10.1053/hupa.2001.30376.
- General Medical Council (GMC). Promoting excellence: standards for medical education and training. Manchester: GMC; 2015.
- Physician for the 21st Century. Report of the project panel on the general professional education of the physician and college preparation for medicine. *J Med Educ.* 1984;59(11 Pt 2):1-208.
- Talbert ML, Ashwood ER, Brownlee NA, Clark JR, Horowitz RE, Lepoff RB, *et al.* Resident preparation for practice a white paper from the College of American Pathologists and Association of Pathology Chairs. *Arch Pathol Lab Med.* 2009;133(7):1139-47. DOI: 10.1043/1543-2165-133.7.1139.
- Deshpande AA, Huang S. Simulation games in engineering education: A state-of-the-art review. *Comput Appl Eng Educ.* 2011;19(3):399-410. DOI: 10.1002/cae.20323.
- Kanthan R, Senger JL. The Impact of Specially Designed Digital Games-Based Learning in Undergraduate Pathology and Medical Education. *Arch Pathol Lab Med.* 2011;135(1):135-42. doi: 10.1043/2009-0698-OAR1.1.
- Gaba DM. The future vision of simulation in health care. *Simul Healthc.* 2007;2(2):126-35. DOI: 10.1097/01.SIH.0000258411.38212.32.
- Wilson KA, Bedwell WL, Lazzara EH, Salas E, Burke CS, Estock JL, *et al.* Relationships Between Game Attributes and Learning Outcomes: Review and Research Proposals. *Simul Gaming.* 2009;40(2):217-66. DOI: 10.1177/1046878108321866.
- Lawson S, Reid J, Morrow M, Gardiner K. Simulation-based Education and Human Factors Training in Postgraduate Medical Education: A Northern Ireland Perspective. *Ulster Med J.* 2018;87(3):163-7.
- Krange I, Moen A, Ludvigsen S. Computer-based 3D simulation: A study of communication practices in a trauma team performing patient examination and diagnostic work. *Instr Sci.* 2012;40(5):829-47. DOI: 10.1007/s11251-012-9214-9.
- Van Eck R. Digital game based learning : It's Not Just the Digital Natives Who Are Restless. *EDUCASE Review.* 2006;41(2):16-30.
- Silvennoinen M, Helfenstein S, Ruoranen M, Saariluoma P. Learning basic surgical skills through simulator training.

- Instr Sci. 2012;40(5):769-83. DOI: 10.1007/s11251-012-9217-6.
17. Ziv A, Small SD, Wolpe PR. Patient safety and simulation-based medical education. *Med Teach*. 2000;22(5):489-95. DOI: 10.1080/01421590050110777.
 18. Huang TK, Yang CH, Hsieh YH, Wang JC, Hung CC. Augmented reality (AR) and virtual reality (VR) applied in dentistry. *Kaohsiung J Med Sci*. 2018;34(4):243-8. DOI: 10.1016/j.kjms.2018.01.009.
 19. Azuma RT. A Survey of Augmented Reality Abstract. *Presence Teleoperators Virtual Environ*. 1997;6(4):355-85.
 20. Milgram P, Takemura H, Utsumi A, Kishino F. Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. *Telem Manipulator and Telepresence Technologies*, SPIE, 1995;2351:282-92. DOI: 10.1117/12.197321.
 21. Dick F, Leaven T, Dillman D, Torner R, Finken L. Core morphological concepts of disease for second-year medical students. *Hum Pathol*. 1998;29(9):1017-20. DOI: 10.1016/s0046-8177(98)90210-6.
 22. Pengcheng F, Mingquan Z, Xiaoyan X. A pilot study on virtual pathology laboratory. En: Zhu M, editor. *Communications in Computer and Information Science*, vol 236. Berlin: Heidelberg; 2011 [citado 2016 jul 11]. p. 528-35. Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-24097-3_79.
 23. Kumar K, Indurkha A, Nguyen H. Curricular trends in instruction of pathology: A nationwide longitudinal study from 1993 to present. *Hum Pathol*. 2001;32(11):1147-53. DOI: 10.1053/hupa.2001.29788.
 24. Hamilton PW, Wang Y, McCullough SJ. Virtual microscopy and digital pathology in training and education. *APMIS*. 2012;120(4):305-15. DOI: 10.1111/j.1600-0463.2011.02869.x.
 25. Museo virtual de patología. Bogotá D.C.: Universidad del Rosario; 2018 [citado 2019 oct 20]. Disponible en: <https://virtualpathologymuseum.urosario.edu.co/>
 26. Farahani N, Post R, Duboy J, Ahmed I, Kolowitz BJ, Krinchai T, et al. Exploring virtual reality technology and the Oculus Rift for the examination of digital pathology slides. *J Pathol Inform*. 2016;7(1):22. DOI: 10.4103/2153-3539.181766.
 27. Boyce BF. Whole slide imaging: Uses and limitations for surgical pathology and teaching. *Biotech Histochem*. 2015;90(5):321-30. DOI: 10.3109/10520295.2015.1033463.
 28. Harris T, Leaven T, Heidger P, Kreiter C, Duncan J, Dick F. Comparison of a virtual microscope laboratory to a regular microscope laboratory for teaching histology. *Anat Rec*. 2001;265(1):10-4. DOI: 10.1002/ar.1036.
 29. Heidger PM, Dee F, Consoer D, Leaven T, Duncan J, Kreiter C. Integrated approach to teaching and testing in histology with real and virtual imaging. *Anat Rec*. 2002;269(2):107-12. DOI: 10.1002/ar.10078.
 30. Ordi J, Bombí JA, Martínez A, Ramírez J, Alós L, Saco A, et al. Virtual microscopy in the undergraduate teaching of pathology. *J Pathol Inform*. 2015;6(1):1. DOI: 10.4103/2153-3539.150246.
 31. Scoville SA, Buskirk TD. Traditional and virtual microscopy compared experimentally in a classroom setting. *Clin Anat*. 2007;20(5):565-70. DOI: 10.1002/ca.20440.
 32. Krippendorf BB, Lough J. Complete and rapid switch from light microscopy to virtual microscopy for teaching medical histology. *Anat Rec B New Anat*. 2005;285(1):19-25. DOI: 10.1002/ar.b.20066.
 33. Zarella MD, Bowman D, Aeffner F, Farahani N, Xthona A, Absar SF, et al. A Practical Guide to Whole Slide Imaging: A White Paper From the Digital Pathology Association. *Arch Pathol Lab Med*. 2018;143(2):222-34. DOI: 10.5858/arpa.2018-0343-RA.
 34. Bruch LA, De Young BR, Kreiter CD, Haugen TH, Leaven TC, Dee FR. Competency assessment of residents in surgical pathology using virtual microscopy. *Hum Pathol*. 2009;40(8):1122-8. DOI: 10.1016/j.humpath.2009.04.009.
 35. Dee FR. Virtual microscopy in pathology education. *Hum Pathol*. 2009;40(8):1112-21. DOI: 10.1016/j.humpath.2009.04.010.
 36. Banavar SR, Chippagiri P, Pandurangappa R, Annavajjula S, Rajashekaraiyah PB. Image Mounting for Creating a Virtual Pathology Slide: An Innovative and Economical Tool to Obtain a Whole Slide Image. *Anal Cell Pathol*. 2016;2016:9084909. DOI: 10.1155/2016/9084909.
 37. Romer DJ, Yearsley KH, Ayers LW. Using a modified standard microscope to generate virtual slides. *Anat Rec B New Anat*. 2003;272(1):91-7. DOI: 10.1002/ar.b.10017.
 38. Virtual Pathology Museum. Singapore: National University of Singapore; [citado 2019 oct 20]. Disponible en: <https://pathweb.nus.edu.sg/virtual-pathology-museum/>.
 39. Biolucida. Wiliston: MBF Bioscience; [citado 2019 oct 20]. Disponible en: <https://www.mbfbioscience.com/iowavirtualslidebox>.
 40. Weinstein RS, Graham AR, Richter LC, Barker GP, Krupinski EA, Lopez AM, et al. Overview of telepathology, virtual microscopy, and whole slide imaging: prospects for the future. *Hum Pathol*. 2009;40(8):1057-69. DOI: 10.1016/j.humpath.2009.04.006.
 41. Juan Rosai's Collection of Surgical Pathology Seminars (1945 - Present). Augusta: United States and Canadian Academy of Pathology; [citado 2019 oct 20]. Disponible en: <http://www.rosaicollection.org/>.
 42. Hortsch M. Sharing Virtual Histology Images Worldwide - The Virtual Microscopy Database. *J Cytol Histol*. 2017;08(5):e120. DOI: 10.4172/2157-7099.100e120.
 43. Lee LMJ, Goldman HM, Hortsch M. The virtual microscopy database-sharing digital microscope images for re-

- search and education. *Anat Sci Educ.* 2018;11(5):510-5. DOI: 10.1002/ase.1774.
44. Grossman RL, Heath AP, Ferretti V, Varmus HE, Lowy DR, Kibbe WA, *et al.* Toward a Shared Vision for Cancer Genomic Data. *N Engl J Med.* 2016;375(12):1109-12. DOI: 10.1056/NEJMp1607591.
45. Foundation C. OpenSeaDragon 2.4.1. 2019 [citado 2019 oct 20]. Disponible en: <https://openseadragon.github.io/>.
46. Madrigal E, Prajapati S, Hernández-Prera JC. Introducing a virtual reality experience in anatomic pathology education. *Am J Clin Pathol.* 2016;146(4):462-8. DOI: 10.1093/ajcp/aqw133.
47. Melin-Aldana H, Sciortino D. Virtual reality demonstration of surgical specimens, including links to histologic features. *Mod Pathol.* 2003;16(9):958-61. DOI: 10.1097/01.MP.0000085597.48271.BD.
48. Turchini J, Buckland ME, Gill AJ, Battye S. Three-dimensional pathology specimen modeling using “structure-from-motion” photogrammetry: A powerful new tool for surgical pathology. *Arch Pathol Lab Med.* 2018;142(11):1415-20. DOI: 10.5858/arpa.2017-0145-OA.
49. Chow JA, Törnros ME, Waltersson M, Richard H, Kusoffsky M, Lundstrom CF, *et al.* A Design Study Investigating Augmented Reality and Photograph Annotation in a Digitalized Grossing Workstation. *J Pathol Inform.* 2017;8:31. DOI: 10.4103/jpi.jpi_13_17.
50. Hanna MG, Ahmed I, Nine J, Prajapati S, Pantanowitz L. Augmented reality technology using microsoft hololens in anatomic pathology. *Arch Pathol Lab Med.* 2018;142(5):638-44. DOI: 10.5858/arpa.2017-0189-OA.
51. Pongpaibul A, Chiravirakul P, Leksrisakul P, Silakorn P, Chumtap W, Chongpipatchaipron S, *et al.* Rectal carcinoma model a novel simulation in pathology training. *Simul Healthc.* 2017;12(3):189-95. DOI: 10.1097/SIH.0000000000000214.
52. Mahmoud A, Bennett M. Introducing 3-dimensional printing of a human anatomic pathology specimen: Potential benefits for undergraduate and postgraduate education and anatomic pathology practice. *Arch Pathol Lab Med.* 2015;139(8):1048-51. DOI: 10.5858/arpa.2014-0408-OA.
53. Li KHC, Kui C, Lee EKM, Ho CS, Wong SH, Wu W, *et al.* The role of 3D printing in anatomy education and surgical training: A narrative review. *MedEdPublish.* 2017. DOI: 10.15694/mep.2017.000092
54. Waran V, Narayanan V, Karupiah R, Pancharatnam D, Chandran H, Raman R, *et al.* Injecting realism in surgical training-Initial simulation experience with custom 3D models. *J Surg Educ.* 2014;71(2):193-7. DOI: 10.1016/j.jsurg.2013.08.010.
55. Zopf DA, Hollister SJ, Nelson ME, Ohye RG, Green GE. Bioresorbable airway splint created with a three-dimensional printer. *N Engl J Med.* 2013;368(21):2043-5. DOI: 10.1056/NEJMc1206319.
56. Lioufas PA, Quayle MR, Leong JC, McMenamin PG. 3D Printed Models of Cleft Palate Pathology for Surgical Education. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2016;4(9):e1029. DOI: 10.1097/GOX.0000000000001029
57. Jones DB, Sung R, Weinberg C, Korelitz T, Andrews R. Three-Dimensional Modeling May Improve Surgical Education and Clinical Practice. *Surg Innov.* 2016;23(2):189-95. DOI: 10.1177/1553350615607641.