

Uso de simuladores para entrenamiento en neurocirugía: cambio en el paradigma de entrenamiento quirúrgico

Jaime Jesús Martínez-Anda,* Ildefonso Muñoz-Romero,* Diego Pineda-Martínez,** Rafael Avendaño-Pradel,*** Jorge Domínguez-Higareda,* Roberto Alfonso-de Leo Vargas*

RESUMEN

Tradicionalmente, los sistemas de entrenamiento en las diferentes áreas quirúrgicas han sido desarrollados de forma que se cubra una necesidad asistencial hospitalaria, lo que pone en segundo plano la formación académica y el desarrollo de habilidades de los médicos especialistas en entrenamiento; este paradigma ha evolucionado debido a la relevancia que ha adquirido la seguridad del paciente y la prioridad en la capacitación del personal competente. El entrenamiento en simuladores tiene un papel fundamental en esta transición y evolución de los sistemas educativos de instrucción de personal médico. Existen diversos tipos de simuladores y todos tienen el objetivo de desarrollar habilidades y competencias que permitirán al médico especialista en formación resolver de forma eficiente las situaciones que se le presenten en un escenario real al completar la curva de aprendizaje y disminuir los riesgos que el desarrollo de dicha curva implica para el paciente. En el presente trabajo se expone una revisión de los sistemas de simulación disponibles en neurocirugía y se plantea la necesidad de un centro de simulación neuroquirúrgico que cumpla con las necesidades actuales de entrenamiento de un neurocirujano competente.

Palabras clave: Simuladores quirúrgicos, adiestramiento quirúrgico, formación de especialistas.

Nivel de evidencia: III

*Simulation in neurosurgical training:
changing training paradigms in surgical training*

ABSTRACT

Training systems in different surgical areas have traditionally been developed to satisfy a hospital care need, which puts in the background the academic training and the development of skills of surgical trainees. This paradigm has evolved given the importance of patient safety and the priority of training competent surgeons. Simulator training has a fundamental role in this setting. There are different types of simulators, all aiming to develop skills and competencies that will enable the specialist to efficiently solve situations that may arise in real scenarios when he or she completes the learning curve, reducing the risks to the patient that the development of this curve implies. In this paper, we present a review of the simulation systems available in neurosurgery, and a proposal for a simulation neurosurgical center that meets the current training needs of competent neurosurgeons.

Key words: Simulators, surgical training, specialist formation.

Level of evidence: III

* Neurocirugía, Centro Neurológico, Centro Médico, ABC.

** Departamento de Anfiteatro, Facultad de Medicina, UNAM.

*** Departamento de Anatomía, Facultad de Medicina, UNAM.

Recibido para publicación: 31/05/2016. Aceptado: 28/09/2016.

Correspondencia: Dr. Roberto Alfonso de Leo Vargas

Av. Carlos Graef Fernández Núm. 154, Int. 155, Col: Tlaxala Santa Fe, Del. Cuajimalpa de Morelos, 05300, Ciudad de México. Tel. 1664 7205
E-mail: neurocirugia155abc@gmail.com

Abreviaturas:

USD = Dólares norteamericanos.

CNS = Congress of Neurological Surgeons.

AANS = American Association of Neurological Surgeons.

CECAM = Centro de Enseñanza y Certificación en Aptitudes Médicas.

CESIP = Centro de Enseñanza por Simulación de Postgrado.

UNAM = Universidad Nacional Autónoma de México.

Este artículo puede ser consultado en versión completa en:

<http://www.medigraphic.com/analesmedicos>

INTRODUCCIÓN

En noviembre de 1999, el Instituto de Medicina publicó un reporte llamado «*To err is human: building a safer health system*» («Equivocarse es de humanos: construyendo un sistema de salud más seguro»).¹ En este reporte se sugiere que anualmente ocurren entre 44,000 y 98,000 defunciones en los Estados Unidos como resultado de errores médicos que podrían haberse prevenido. En las diversas regiones del mundo, los sistemas de salud se han preocupado cada vez más por la seguridad del paciente; sin duda, se requieren mayores niveles de competencia y un aumento en los niveles de rendimiento y desempeño.² Es imperativo que los residentes en las diferentes

áreas médicas tengan una preparación óptima para cubrir las exigencias que su especialidad demanda. Las especialidades en donde se realizan procedimientos invasivos requieren adquirir habilidades cuyo desarrollo lleva implícita una curva de aprendizaje; este camino se puede seguir de varias formas; desgraciadamente, en muchas ocasiones, su recorrido, sobre todo al principio, puede ser riesgoso para el paciente y el médico especialista en formación. Es por esto que se han planteado alternativas a los programas tradicionales de formación quirúrgica, integrando en sus programas la posibilidad de llevar a cabo entrenamientos en sistemas de simulación.

El término «simulación» se refiere al método de modelar o crear una realidad virtual para imitar una actividad. En términos de educación, los simuladores han sido y son un excelente método de enseñanza, en especial en áreas en donde el riesgo de errores es elevado. La evaluación de los simuladores se basa en dos criterios: 1) el grado en el cual recrean una experiencia de la vida real y 2) el grado al cual imparten la habilidad deseada. Su efectividad como instrumento de entrenamiento se relaciona con el desarrollo de un modelo útil, utilizable y validado, y debe servir para asistir al educando a adquirir la habilidad de interés.

En el contexto de un entrenamiento quirúrgico, la simulación permite adquirir y mejorar habilidades críticas en un ambiente seguro y sin poner en riesgo la seguridad de un paciente, de forma que cuando el médico se enfrenta al entrenamiento en un escenario real, su curva de aprendizaje se encuentra en un punto avanzado; asimismo, ayuda a cumplir varios propósitos, incluyendo la planeación de un procedimiento, la toma de decisiones, el entrenamiento visoespacial y la adquisición de habilidades y destrezas; con esto, se disminuyen los errores que ocurren en las fases iniciales de la curva de aprendizaje quirúrgica. De acuerdo con la Asociación Americana de Colegios Médicos, «la simulación tiene el potencial de revolucionar los sistemas de salud y redireccionar los asuntos en relación con la seguridad del paciente, si es utilizada de forma correcta e integrada en un proceso de mejora educativa y organizacional».³

El sistema de residencias en México ha evolucionado de forma progresiva con el objetivo de formar especialistas de calidad y con las competencias necesarias para desempeñar su labor de forma segura; neurocirugía no es la excepción. El desarrollo de las capacidades y competencias quirúrgicas en neurocirugía se ve limitado por la complejidad de muchas de las patologías y la baja frecuencia con la que se presentan algunas de ellas. La tendencia actual en la

enseñanza en neurocirugía es hacia un balance en las competencias prioritarias y alcanzar un desempeño clínico óptimo en el contexto de una práctica supervisada y regulada, lo cual requiere modificaciones a las metodologías tradicionales de entrenamiento en la residencia.⁴

Objetivos

Esta revisión pretende establecer un panorama general del uso necesario de simuladores para una mejor capacitación del médico especialista en formación, en beneficio del paciente. Se realizó una búsqueda bibliográfica en PubMed utilizando las palabras «*Neurosurgery training*», «*simulation*», «*residency*» y «*learning curve*»; se obtuvieron un total de 142 artículos, de los cuales se seleccionaron 32 publicaciones al contar con información relacionada a simulación y resultados de la misma en el entrenamiento en neurocirugía.

Curva de aprendizaje en neurocirugía: el neurocirujano «experto»

Los componentes nucleares de un entrenamiento neuroquirúrgico deben ser: 1) establecer una base teórica fundamental; 2) demostrar competencia en el diagnóstico de enfermedades neurológicas y médicas relevantes; 3) desarrollar habilidades técnico-quirúrgicas; y 4) acumular experiencia quirúrgica y de cuidado del paciente.⁵ Estos principios no se han modificado en términos generales a través del tiempo; sin embargo, las vías para alcanzarlos sí lo han hecho.

Desde que se tiene registro en las distintas sociedades respecto a la realización de procedimientos quirúrgicos, tener un alto grado de competencia ha sido una expectativa razonable por el paciente y la misma sociedad. Valorar este nivel de competencia ha requerido la definición de lo que es un cirujano «experto»; esto puede definirse como la habilidad de reproducir de forma consistentemente superior una tarea determinada a demanda de la misma. La literatura en la que se habla del camino para llegar al nivel de experto en cirugía se enfoca en el contexto de un programa centrado en el entrenamiento teórico, en combinación con evaluación constante, práctica deliberada y simulación. El camino para alcanzar el dominio de una habilidad a través de la instrucción formal y práctica define cinco estadios progresivos (escala de Dreyfus):⁶ 1) principiante, 2) principiante avanzado, 3) competente, 4) capacitado y 5) experto. El objetivo durante las diferentes residencias médicas ha sido alcanzar al menos el nivel de competencia

en el entrenamiento (*Figura 1*), y la pregunta es si esto es suficiente.

Para alcanzar el nivel de experto, se deben entrenar los factores técnicos relacionados con la especialidad, cuya práctica debe ser constante y continua, ya que la falta de seguimiento en la mejora y desarrollo de estas técnicas lleva a una pérdida significativa en las habilidades quirúrgicas.⁷

El uso de la simulación para alcanzar un nivel de experto desde el punto de vista quirúrgico se ve limitado por el hecho de que la lesión quirúrgica del paciente presenta una variedad de características individuales que son difíciles de integrar a un simulador o en un contexto de laboratorio, aunque actualmente se están desarrollando modelos que facilitan esta limitante.⁸ Sin embargo, la habilidad simulada debe ser lo más real posible para poder mantenerse en los límites que alcanza el abordaje de un experto. La transferencia de la competencia/pericia del simulador a la sala de operaciones debe ser evaluada cuidadosamente.

Utilidad de los simuladores neuroquirúrgicos

Los simuladores permiten al alumno practicar sin el riesgo en la seguridad de un paciente, lo cual es común en los hospitales escuela en todo el mundo. Otro aspecto importante es que disminuye el estrés de la sala de quirófano en el ambiente de entrenamiento.⁹ Existen ventajas teóricas de simuladores de alta fidelidad, ya que entre más se acercan a la esencia de la habilidad en un área determinada, es más factible

evaluar a través de estos modelos las diferencias entre principiante y experto. Los simuladores de alta fidelidad no se han analizado en estudios de costo-beneficio, por lo que se requiere de una investigación enfocada a justificar el costo de los recursos que se utilizan en desarrollarlos y utilizarlos. Los desarrolladores de simulación para un currículo de entrenamiento quirúrgico deben enfocarse en elaborar más que simples modelos de habilidades técnicas, ya que aprender a llevar a cabo un procedimiento quirúrgico, una vez establecidas algunas habilidades nucleares básicas, se convierte en una prueba cognitiva más que técnica.¹⁰

El entrenamiento con simuladores para alcanzar/evaluar el nivel de experto en una tarea quirúrgica debe perseguir cuatro objetivos: 1) práctica deliberada en un ambiente seguro, 2) disponibilidad de tutores expertos que asesoren el uso efectivo del material de enseñanza, 3) simuladores auténticos accesibles a una práctica comunitaria y 4) un ambiente que tome en cuenta el componente emocional del aprendizaje.¹¹

Una vez que se ha alcanzado el nivel de experto en el simulador, se debe determinar si el practicante en entrenamiento está capacitado para llevar esa habilidad a un escenario quirúrgico real; los estudios llevados a cabo para tratar de responder esa pregunta reportan que hay una mejoría notable en el desempeño quirúrgico «real».¹²

Otra pregunta interesante en relación con el entrenamiento quirúrgico es si es posible integrar un programa de entrenamiento que aspire a formar neurocirujanos expertos y no sólo competentes; es importante evaluar la respuesta a esta pregunta, ya que los comités de entrenamiento de residentes de neurocirugía se encuentran bajo la presión de cambiar los programas de entrenamiento actuales para enfocarlos en habilidades quirúrgicas, y no hay razón para prevenir que la simulación juegue un papel importante en este proceso de cambio.¹³ La conclusión a la que se ha llegado con la evidencia con que se cuenta es que la única forma de llegar a un nivel de *expertise* es la práctica quirúrgica deliberada, en el orden de unas 10,000 horas de práctica quirúrgica; para un neurocirujano, esto se alcanza entre la quinta y sexta décadas de su vida (*Figura 1*). Los modelos de simulación demuestran que este tiempo se logra dentro del entrenamiento de la residencia.¹⁴

El resultado final de los diferentes programas de neurocirugía no debe ser solamente alcanzar el nivel de experto quirúrgico, ya que esto es difícil de evaluar de forma objetiva, sino proveer a los residentes con las habilidades quirúrgicas y cognitivas neces-

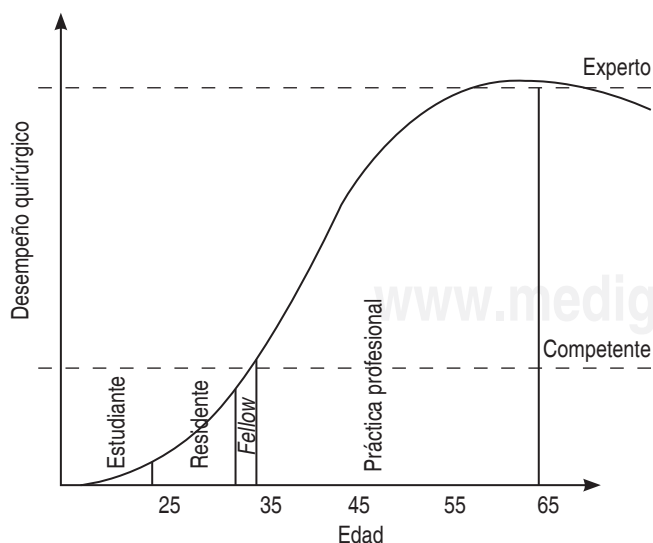


Figura 1. Curva de desempeño quirúrgico en las diferentes etapas del desarrollo profesional.

rias para: 1) disminuir los errores quirúrgicos y mejorar el desenlace clínico de los pacientes, 2) reducir los tiempos de entrenamiento y 3) permitir el mantenimiento de las habilidades adquiridas, e incluso, aumentarlas a través del tiempo, aun después de finalizada su residencia.

Modelos de simulación en neurocirugía

El Consejo de Acreditación para Educación Médica de Postgrado en Estados Unidos ha instituido el requisito de incorporar un entrenamiento basado en simulación a los programas de adiestramiento en cirugía general, debido a los buenos resultados que han obtenido. La implementación sistemática de un programa de simulación en la formación en neurocirugía es posible y, seguramente, tendrá un impacto positivo en los residentes de neurocirugía a todos los niveles.¹⁵

La mayoría de las habilidades quirúrgicas son una extensión natural de una tarea psicomotora dirigida. El modelo de adquisición de habilidades quirúrgicas describe tres etapas: 1) adquisición cognitiva, en la cual el individuo aprende los múltiples pasos requeridos para conseguir un determinado desempeño; 2) se trata de un estadio asociativo y resulta en una mejoría gradual del desempeño; 3) estadio automático, representa una etapa en la cual el cirujano ha logrado suficiente práctica como para desarrollar la tarea quirúrgica mientras libera cantidades importantes de insumos cognitivos.¹⁶ Algunos autores critican este modelo porque consideran contraproducente automatizar una tarea quirúrgica; sin embargo, las habilidades psicomotoras básicas pueden y deben ser automatizadas, pero el paradigma quirúrgico, en un sentido holístico, debe ser siempre perfectible a través de la práctica deliberada. Los modelos de simulación en áreas quirúrgicas tienen como objetivo ayudar a desarrollar y mejorar una habilidad quirúrgica.

Modelos de simulación neuroquirúrgica

Se agrupan en cuatro categorías:¹⁷

- Modelos físicos: son aquellos que implican manipulación y contacto directo con el dispositivo. Son los que han sido utilizados por mayor tiempo; como el mejor ejemplo tenemos la disección cadavérica y los modelos de columna con diferentes materiales sintéticos. Sus ventajas implican la manipulación manual y práctica directa en el modelo; sus limitaciones son no ser reutilizables y el costo que significa tener que reemplazarlos.

- Simuladores de realidad virtual: consisten en imágenes generadas por computadora y controlados a través de dispositivos de retroalimentación óptica/táctil; sus beneficios incluyen el ser reutilizables y su actualización continua. Algunos que se tienen ya en práctica incluyen modelos para *clipaje* de aneurismas, craneotomía en trauma, disección tumoral y de base de cráneo, descompresión de fosa posterior y colocación de sistemas de derivación ventricular. A pesar de lo mucho que se ha avanzado en estos modelos, continúan siendo inferiores a los modelos físicos en la experiencia quirúrgica que proveen.
- Simuladores en línea: se han vuelto de uso cada vez más común; consisten en modelos de autoevaluación en línea respecto a resolución de problemas clínicos, juicio clínico y habilidades en la toma de decisiones. No tienen retroalimentación táctil, pero son accesibles y de bajo costo.
- Modelos híbridos: combinan los anteriores.

Algunos estudios demuestran que el mayor beneficio en la mejoría del grado de competencia lo constituyen los modelos cadavéricos, seguidos de los modelos físicos y hápticos.¹⁸ Esto puede estar en relación con el hecho de que las disecciones proveen fidelidad anatómica y requieren de habilidades psicomotoras muy similares a aquellas utilizadas en quirófano. Asimismo, se muestra en estos trabajos que los beneficios de los ejercicios de simulación son superiores en etapas tempranas del entrenamiento de residencia; sin embargo, siguen siendo útiles en etapas avanzadas del entrenamiento, ya que dan retroalimentación positiva respecto al proceso de mejora hacia la excelencia quirúrgica, identificando habilidades que deben ser mejoradas sin arriesgar la seguridad de un paciente.

Los costos relacionados con los programas de simulación varían de acuerdo con los programas evaluados, pero en general, son elevados: promedian unos \$200 USD/hora de entrenamiento en un laboratorio de simulación;¹⁸ sin embargo, la práctica en simuladores disminuye el tiempo necesario de adiestramiento en el quirófano y podría reducir la morbilidad relacionada con errores del residente.

Modelos de disección en cadáver

La disección de cadáver humano ha sido la herramienta nuclear en la enseñanza de la anatomía por siglos.¹⁹ Actualmente, la medicina se ha vuelto más práctica, técnica y especializada; los médicos deben estar conscientes de los detalles relacionados con la anatomía regional de acuerdo al área de la medici-

na.²⁰ Diversos autores opinan que las consecuencias a largo plazo de un conocimiento anatómico deficiente tienen implicaciones serias en la seguridad del paciente, y se ha reafirmado lo esencial de la disección anatómica como método de simulación quirúrgica al inicio del entrenamiento de la residencia.²¹

Los laboratorios de anatomía microquirúrgica han sido la base para la neurocirugía moderna; el desarrollo de las diferentes técnicas quirúrgicas en cirugía de base de cráneo, neurocirugía vascular, etcétera no podrían haberse llevado a cabo sin los mismos, y las escuelas neuroquirúrgicas más importantes en el mundo cuentan invariablemente con un laboratorio de práctica microquirúrgica que incluye un programa extenso en neuroanatomía.¹⁸ Esto depende en gran parte de programas universitarios de donación de cuerpos y de métodos de preparación cadavérica adecuados.

Las estaciones de trabajo para disección cadavérica en neurocirugía comprenden diversos módulos; los más importantes son: 1) modelo encefálico de disección de fibras blancas con método de Kingler;²² 2) modelo vascular de encéfalo inyectado con látex; 3) modelo para abordajes quirúrgicos de la base del cráneo; 4) modelo para abordajes endoscópicos nasales y de la base del cráneo; 5) modelos para abordajes e instrumentación en columna vertebral. La mayoría de los programas en neurocirugía contemplan la rotación en laboratorios de anatomía microquirúrgica en etapas tempranas de la formación de residentes; sin embargo, este recurso es limitado en algunos países como México, donde son contados los esfuerzos por el desarrollo de dichos proyectos, lo que hace necesarias las rotaciones al extranjero, principalmente a universidades en Estados Unidos, donde se tiene bien implementado dicho método de enseñanza quirúrgica.

Modelos vasculares

Existen diversos modelos vasculares en microcirugía vascular; los más destacados en el entrenamiento en neurocirugía y cirugía plástica son los modelos animales,²³ principalmente en modelo de rata Wistar. Esta práctica favorece el desarrollo de habilidades en los estudiantes quirúrgicos y provee un modelo de muy alta fidelidad en relación con microcirugía clínica.²⁴ El uso de ratas en cursos avanzados, con programas de entrenamiento supervisados, es un excelente modelo de simulación para microcirugía vascular compleja.

Otros modelos físicos incluyen modelos de anastomosis vasculares con diversos materiales derivados

del plástico que simulan vasculatura encefálica, con buenos resultados en el desarrollo de habilidades microquirúrgicas principalmente.²

Otros modelos físicos

Existen diversos modelos físicos de diferentes materiales para el entrenamiento en técnicas neuroquirúrgicas. Los más concurridos son aquellos que simulan los procedimientos más comunes: se han desarrollado modelos para ventriculostomía y craneotomía, así como procedimientos más complejos como ventriculoscopia cerebral, abordajes endoscópicos de la base craneal, abordajes y procedimientos en cirugía de columna vertebral. Se ha evaluado su utilidad principalmente en estaciones de entrenamiento en los congresos en neurocirugía, como los desarrollados por el *Congress of Neurological Surgeons* (CNS)²⁵ y el *American Association of Neurological Surgeons* (AANS). Dichos programas reportan una mejoría sustancial en el desempeño de diversas habilidades, tanto básicas como complejas, en diferentes escenarios quirúrgicos controlados a través de estos modelos.

Simuladores de realidad virtual en neurocirugía

Los simuladores de realidad virtual ofrecen un método atractivo para complementar las técnicas estándar de entrenamiento de residentes en neurocirugía; esta tecnología permite a los residentes la oportunidad de ensayar procedimientos comunes sin arriesgar la seguridad de un paciente, teniendo un sistema de retroalimentación respecto al desempeño en el simulador tras la práctica en el mismo.

Los simuladores de realidad virtual ofrecen otra ventaja: la posibilidad de implementar, mejorar y evaluar las habilidades de los residentes, para de esta manera certificar su capacidad para realizar algunos procedimientos.²⁶ Los avances recientes en simulación a través de realidad virtual, combinados con el mayor entendimiento de cómo integrar la instrucción basada en simulación a los programas de entrenamiento, han llevado a desarrollar programas de adiestramiento en neurocirugía basados en simulación para mejorar la educación de los residentes de neurocirugía.

La colocación de ventriculostomía es uno de los procedimientos en neurocirugía que se realizan con mayor frecuencia; generalmente, es un procedimiento que se aprende en los primeros meses de la residencia, su enseñanza está a cargo de residentes de mayor jerarquía y, una vez enseñado, se lleva a cabo sin supervisión. El contexto en el que se ense-

ña es, por lo general, situaciones de urgencia, como suele ser la hidrocefalia, lo que limita la experiencia del aprendizaje y pone en riesgo de complicaciones al paciente. Es por esto que uno de los modelos más promovidos es el de simulación para colocación de ventriculostomía; existen modelos tanto físicos como de realidad virtual; ambos han probado ser útiles y mejorar el desempeño en un escenario real.²⁵

Otros modelos más complejos de simulación en realidad virtual incluyen procedimientos de angiografía cerebral, resección de tumores cerebrales, ventriculares o de la base del cráneo; abordajes endonasales a la base del cráneo, *clipaje* de aneurismas, fresado del hueso temporal, instrumentación de columna vertebral, etcétera.²⁷⁻³¹ La factibilidad de los modelos de simulación en realidad virtual para neurocirugía ha sido más que evidente, y su uso en el entrenamiento de neurocirujanos ha ido prevaleciendo. Es de vital importancia que el desarrollo y empleo de esta tecnología se haga en coordinación con un programa de adiestramiento apropiado, que evalúe de forma objetiva su utilidad y la mejora en el desempeño de los residentes. Los modelos de realidad virtual en neurocirugía se han enfocado en habilidades específicas y procedimientos, lo cual provee oportunidad de mejora en el desempeño en procedimientos complejos; no sólo eso, sino también en la evaluación del desempeño en neurocirujanos ya graduados.

Otra ventaja de los simuladores de realidad virtual es el hecho de permitir compartir la misma experiencia de aprendizaje a todos los miembros del equipo quirúrgico y mejorar de forma uniforme su desempeño. Los estudios realizados hasta la fecha han demostrado la mejoría de las habilidades quirúrgicas en diferentes escenarios y se han podido evaluar diferentes parámetros, como precisión y exacti-

tud quirúrgica, grados de error, tiempo de reacción, entre otros, lo que permite el cálculo del desempeño del residente o cirujano evaluado.³¹

Validación de los sistemas de simulación

En el proceso de desarrollo de un modelo de simulación, este debe ser primero calificado como una herramienta eficiente de entrenamiento respecto a una habilidad quirúrgica; esto se hace a través de diferentes escalas de evaluación para la validación de los modelos de simulación,^{2,32} con el fin de comparar el desempeño en habilidades quirúrgicas antes y después de una práctica en simuladores quirúrgicos.

DISCUSIÓN

Los esfuerzos por desarrollar un centro de simulación y entrenamiento en neurocirugía en México han sido aislados y los resultados en relación con los mismos no han podido ser evaluados por la falta de seguimiento a dichos proyectos. La Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México está dando cada vez más importancia y prioridad al entrenamiento en simulación tanto para el pregrado como para el postgrado, y ha establecido espacios destinados a dicho fin en diferentes áreas del campus. El Centro de Enseñanza y Certificación en Aptitudes Médicas (CECAM) en la Facultad de Medicina, el Centro de Enseñanza por Simulación de Postgrado (CESIP), el Departamento de Anfiteatro en conjunto con el Área de Entrenamiento en Cirugía de la Facultad de Medicina son algunos ejemplos del interés en el entrenamiento por simulación como elemento fundamental en los programas de pre- y postgrado en medicina (*Figura 2*).



Figura 2. Departamento de Anfiteatro, Facultad de Medicina, UNAM. Los métodos adecuados para la conservación del material cadavérico para disección y simulación son de vital importancia para que la práctica cumpla con sus objetivos. La UNAM se encuentra a la vanguardia internacional en este rubro.

Un centro de simulación en neurocirugía debe contar con los siguientes elementos para estar a la vanguardia en relación con otros centros de entrenamiento en neurocirugía en el mundo:

- Área de disección en modelo cadavérico: un área con estas características permitirá el desarrollo de simulación física en cadáver para disección de fibras blancas y vascular en encéfalos humanos, entrenamiento en abordajes neuroquirúrgicos craneofaciales y endoscópicos y simulación de procedimientos de instrumentación quirúrgica de columna vertebral. Un espacio con estos fines requerirá un área de adaptación para mantenimiento y refrigeración de cadáveres, un sistema de ventilación y uno de drenaje adecuado, así como equipos de aspiración y disposición de material biológico. Deberá, asimismo, contar con instrumental neuroquirúrgico de microcirugía, instrumental de cirugía de columna, equipo de craneótomo y fresado de alta velocidad, y equipos de fijación esquelética craneal y de fluoroscopia.
- Área de entrenamiento en microcirugía: con modelos animales como la rata Wistar para procedimientos de disección y anastomosis vasculares. Este adiestramiento permite adquirir habilidades básicas y avanzadas en el uso del instrumental de microcirugía y el microscopio quirúrgico, y en la habilidad del uso estereoscópico del mismo en relación con un procedimiento microquirúrgico; estas habilidades son fundamentales en la neurocirugía.
- Área de estaciones para procedimientos en neurocirugía: se pueden implementar espacios con modelos físicos no cadavéricos para procedimientos comunes en neurocirugía, como colocación de ventriculostomías, reparaciones dures, craneotomías de urgencia, entrenamiento de fresado óseo, etcétera. Estas estaciones de simulación son accesibles con diversas casas comerciales y los costos varían entre \$150 y \$1,000 USD por modelo de simulación para uno o varios procedimientos en el mismo.
- Área de simulación por realidad virtual: como ya se mencionó, los modelos de simulación con realidad virtual han avanzado enormemente en relación con el entrenamiento en neurocirugía, por lo que el acceso a alguno de estos equipos para práctica sería muy útil, tanto para el desarrollo de habilidades como para la evaluación de quienes están por empezar su práctica quirúrgica.

CONCLUSIONES

Los paradigmas en los programas entrenamiento en neurocirugía han ido cambiando por necesidad y por un proceso evolutivo, dada la importancia que tiene la formación de profesionales capacitados y competentes sin poner en riesgo la seguridad del paciente. Los programas de simulación son una opción interesante para este cambio; contar con un centro de simulación en neurocirugía ayudaría de forma importante a preparar y evaluar a los neurocirujanos durante su proceso de formación y práctica profesional, además de proveer un espacio seguro y eficaz para una educación médica y quirúrgica continua.

BIBLIOGRAFÍA

1. Kohn LT, Corrigan JM, Donaldson MS, editors. *To err is human: building a safer health system*. Washington DC, USA: National Academy Press; 1999.
2. El Ahmadieh TY, Aoun SG, El Tecle NE, Nanney AD, 3rd, Daou MR, Harrop J et al. A didactic and hands-on module enhances resident microsurgical knowledge and technical skill. *Neurosurgery*. 2013; 73 (Suppl 1): 51-56.
3. Colleges AoAM. Medical simulation in medical education: results of an AAMC survey 2011 [Citado 16 de noviembre 2015]. Available from: <https://members.aamc.org/eweb/upload/Medical%20Simulation%20in%20Medical%20Education%20Results%20of%20an%20AAMC%20Survey.pdf>
4. Robison RA, Liu CY, Apuzzo ML. Man, mind, and machine: the past and future of virtual reality simulation in neurologic surgery. *World Neurosurg*. 2011; 76 (5): 419-430.
5. Potts JR, 3rd. Core training in surgery: what does it need to include? *Semin Vasc Surg*. 2006; 19 (4): 210-213.
6. Dreyfus H, Dreyfus S. A five-stage model of the mental activities involved in directed skill acquisition. AFB B, editor. Washington DC, USA: US Air Force Office of Scientific Research; 1980.
7. Ericsson KA. An expert-performance perspective of research on medical expertise: the study of clinical performance. *Med Educ*. 2007; 41 (12): 1124-1130.
8. Choudhury N, Gelinas-Phaneuf N, Delorme S, Del Maestro R. Fundamentals of neurosurgery: virtual reality tasks for training and evaluation of technical skills. *World Neurosurg*. 2013; 80 (5): e9-19.
9. Tsuda S, Scott D, Doyle J, Jones DB. Surgical skills training and simulation. *Curr Probl Surg*. 2009; 46 (4): 271-370.
10. Windsor JA. Role of simulation in surgical education and training. *ANZ J Surg*. 2009; 79 (3): 127-132.
11. Kneebone R. Evaluating clinical simulations for learning procedural skills: a theory-based approach. *Acad Med*. 2005; 80 (6): 549-553.
12. Larsen CR, Soerensen JL, Grantcharov TP, Dalsgaard T, Schouenborg L, Ottosen C et al. Effect of virtual reality training on laparoscopic surgery: randomised controlled trial. *BMJ*. 2009; 338: b1802.
13. Bell RH Jr. Why Johnny cannot operate. *Surgery*. 2009; 146 (4): 533-542.
14. Omahen DA. The 10,000-hour rule and residency training. *CMAJ*. 2009; 180 (12): 1272.

15. (ACGME) ACfGME. Common program requirements 2011. [Citado 16 de noviembre 2015]. Available from: http://www.acgme.org/acgmeweb/Portals/0/dh_dutyhoursCommonPR07012007.pdf.
16. Fitts P, Posner M. Human performance. Belmont California, USA: Brooks/Cole; 1967.
17. Harrop J, Lobel DA, Bendok B, Sharan A, Rezai AR. Developing a neurosurgical simulation-based educational curriculum: an overview. *Neurosurgery*. 2013; 73 (Suppl 1): 25-29.
18. Gasco J, Holbrook TJ, Patel A, Smith A, Paulson D, Muns A et al. Neurosurgery simulation in residency training: feasibility, cost, and educational benefit. *Neurosurgery*. 2013; 73 (Suppl 1): 39-45.
19. Ghosh SK. Human cadaveric dissection: a historical account from ancient Greece to the modern era. *Anat Cell Biol*. 2015; 48 (3): 153-169.
20. Mavrodi A, Paraskevas G. Evolution of the paranasal sinuses' anatomy through the ages. *Anat Cell Biol*. 2013; 46 (4): 235-238.
21. Yammine K. The current status of anatomy knowledge: where are we now? Where do we need to go and how do we get there? *Teach Learn Med*. 2014; 26 (2): 184-188.
22. Ture U, Yasargil MG, Friedman AH, Al-Mefty O. Fiber dissection technique: lateral aspect of the brain. *Neurosurgery*. 2000; 47 (2): 417-426; discussion 26-7.
23. Yasargil MG. Microsurgery: applied to neurosurgery. In: Classics T, editor. Stuttgart: Thieme; 2006.
24. Shurey S, Akelina Y, Legagneux J, Malzone G, Jiga L, Ghanem AM. The rat model in microsurgery education: classical exercises and new horizons. *Arch Plast Surg*. 2014; 41 (3): 201-208.
25. Schirmer CM, Elder JB, Roitberg B, Lobel DA. Virtual reality-based simulation training for ventriculostomy: an evidence-based approach. *Neurosurgery*. 2013; 73 (Suppl 1): 66-73.
26. Gallagher AG, Cates CU. Approval of virtual reality training for carotid stenting: what this means for procedural-based medicine. *JAMA*. 2004; 292 (24): 3024-3026.
27. Stredney D, Rezai AR, Prevedello DM, Elder JB, Kerwin T, Hittle B et al. Translating the simulation of procedural drilling techniques for interactive neurosurgical training. *Neurosurgery*. 2013; 73 (Suppl 1): 74-80.
28. Rosseau G, Bailes J, del Maestro R, Cabral A, Choudhury N, Comas O et al. The development of a virtual simulator for training neurosurgeons to perform and perfect endoscopic endonasal transsphenoidal surgery. *Neurosurgery*. 2013; 73 (Suppl 1): 85-93.
29. Harrop J, Rezai AR, Hoh DJ, Ghobrial GM, Sharan A. Neurosurgical training with a novel cervical spine simulator: posterior foraminotomy and laminectomy. *Neurosurgery*. 2013; 73 (Suppl 1): 94-99.
30. Roitberg B, Banerjee P, Luciano C, Matulyauskas M, Rizzi S, Kania P et al. Sensory and motor skill testing in neurosurgery applicants: a pilot study using a virtual reality haptic neurosurgical simulator. *Neurosurgery*. 2013; 73 (Suppl 1): 116-121.
31. Schirmer CM, Mocco J, Elder JB. Evolving virtual reality simulation in neurosurgery. *Neurosurgery*. 2013; 73 (Suppl 1): 127-137.
32. Martin JA, Regehr G, Reznick R, MacRae H, Murnaghan J, Hutchison C et al. Objective structured assessment of technical skill (OSATS) for surgical residents. *Br J Surg*. 1997; 84 (2): 273-278.