

# Programa de Simulación Neuroquirúrgica

## Premio Junior “Jorge Shilton”, Neuromar 2019

Daniela Massa, Jorge Rasmussen, Sebastián Kornfeld, Pedro Plou, Fernando Padilla, Miguel Villaescusa  
Hospital Italiano de Buenos Aires. C.A.B.A., Argentina.

### RESUMEN

**Objetivo:** Describir un programa de entrenamiento básico para implementar en la residencia de Neurocirugía con una metodología estructurada, diferentes niveles de complejidad y elementos de fácil adquisición.

**Introducción:** La simulación se define como el uso de modelos para imitar experiencias de la vida real. Debido a la complejidad del aprendizaje en Neurocirugía, el programa de la Residencia debería incluir entrenamiento básico mediante simulación que permita al residente entrenarse en habilidades básicas fuera del quirófano, o bien, desarrollar y complejizar las ya aprendidas.

**Materiales y Métodos:** Se realizó un programa de entrenamiento básico a desarrollar en el Centro de Simulación Quirúrgica del Hospital Italiano, dividido en tres niveles de complejidad quirúrgica. Se idearon distintos ejercicios con materiales accesibles, de bajo costo y replicables. El programa se diseñó para ser llevado a cabo con una frecuencia de una vez por semana durante cinco horas.

**Discusión:** Los modelos propuestos presentan fácil acceso y alta disponibilidad; y permitieron el desarrollo de habilidades microquirúrgicas desde etapas muy tempranas de la residencia, abarcando la utilización del instrumental microquirúrgico y la magnificación microscópica, y simulando distintas técnicas quirúrgicas en materiales biológicos y sintéticos realistas; enmarcado por un programa basado en objetivos sin límites de repeticiones. La evaluación con un neurocirujano Senior permitió brindar un espacio relajado de enseñanza y debate, sin ser influenciado por las presiones propias de la cirugía. El aprendizaje de técnicas quirúrgicas se basa en la repetición de maniobras específicas, por lo que el desarrollo de habilidades quirúrgicas en ámbitos académicos no asistenciales es fundamental en cualquier aprendizaje quirúrgico.

**Conclusión:** La simulación en el entrenamiento neuroquirúrgico sigue siendo un campo de estudio que requiere mayor investigación y validación en su implementación. En nuestra experiencia resulta una herramienta sumamente favorable para su posterior aplicación en procedimientos quirúrgicos reales, que podría mejorar y homogeneizar la enseñanza en programas de formación quirúrgica.

**Palabras Clave:** Simulación; Habilidades Quirúrgicas; Enseñanza; Residencia Neurocirugía

### ABSTRACT

**Objective:** To describe a basic training program to implement at neurosurgery residency with a structured methodology, different complexity levels, and easily acquired elements.

**Introduction:** Simulation is defined as use of models to imitate real life experiences. Due to complexity of neurosurgery learning, residency program should include simulation training that allows the resident learning basic skills outside the operating room and develop practices learned.

**Materials and methods:** A training program was developed at Centro de Simulación Quirúrgica del Hospital Italiano, divided into three surgical complexity levels. Different exercises were designed with accessible, low cost and replicable materials. This program is carried out with a frequency of once a week, five hours each.

**Discussion:** The proposed models have easy acquisition and high availability, allowing the development of microsurgical skills since early stages in residency, including the use of microsurgical instruments and microscopic magnification, surgical techniques in realistic biological and synthetic materials, based on a program with objectives without repetition limits. The evaluation with a senior neurosurgeon allowed providing a relaxed teaching space, without pressures of surgery. Learning of surgical techniques is based on repetition, so the development of surgical skills in non-assistance academic fields is fundamental in any surgical learning.

**Conclusion:** Simulation in neurosurgical training remains a field that requires further investigation and validation in its implementation. In our experience, it is an extremely favorable tool because its subsequent application in real life procedures, which could improve and standardize surgical programs teaching.

**Key words:** Simulation; Surgical Skills; Teaching; Neurosurgery Residency Program

## INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente la enseñanza en el ámbito quirúrgico general se basó en el principio “Ver, hacer, enseñar”, en donde los residentes luego de ver un procedimiento específico, deberían ser capaces de realizarlo y luego poder enseñárselo a un residente menor.<sup>6,11</sup> La neurocirugía es un campo quirúrgico complejo, donde no siempre se puede aplicar este principio, siendo la curva de aprendizaje más lenta y la cantidad de procedimientos necesarios para aprender, aún mayor.<sup>4</sup>

Daniela Massa

daniela.massa@hospitalitaliano.org.ar

También, han surgido muchos interrogantes sobre la aplicación de este método en relación a la seguridad del paciente,<sup>6,11</sup> ya que idealmente las habilidades quirúrgicas básicas deberían aprenderse fuera del quirófano, en simuladores quirúrgicos o preparados cadavéricos; donde el residente puede, no solo conocer teóricamente el procedimiento sino realizarlo cuantas veces necesite, identificando sus propias fortalezas y debilidades.

El objetivo de nuestro trabajo es describir el programa de simulación quirúrgica para habilidades básicas y avanzadas que se lleva a cabo en la Residencia de neurocirugía del Hospital Italiano de Buenos Aires.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El programa de actividades está basado en la disponibilidad de materiales, año de residencia y tiempo disponible; además está desarrollado para un total de cinco horas semanales y organizado de la siguiente manera:

1. Lectura de Material Bibliográfico: anatomía y técnica quirúrgica (semana previa).
2. Evaluación previa a la actividad Hands-on (15 minutos).
3. Descripción de la actividad con el docente a cargo (15 minutos).
4. Ejecución de la actividad Hands-On (4 horas).
5. Evaluación de la ejecución por el docente a cargo (15 minutos).
6. Devolución oral post-actividad: resumen, correcciones y observaciones (15 minutos).

### Obtención del material

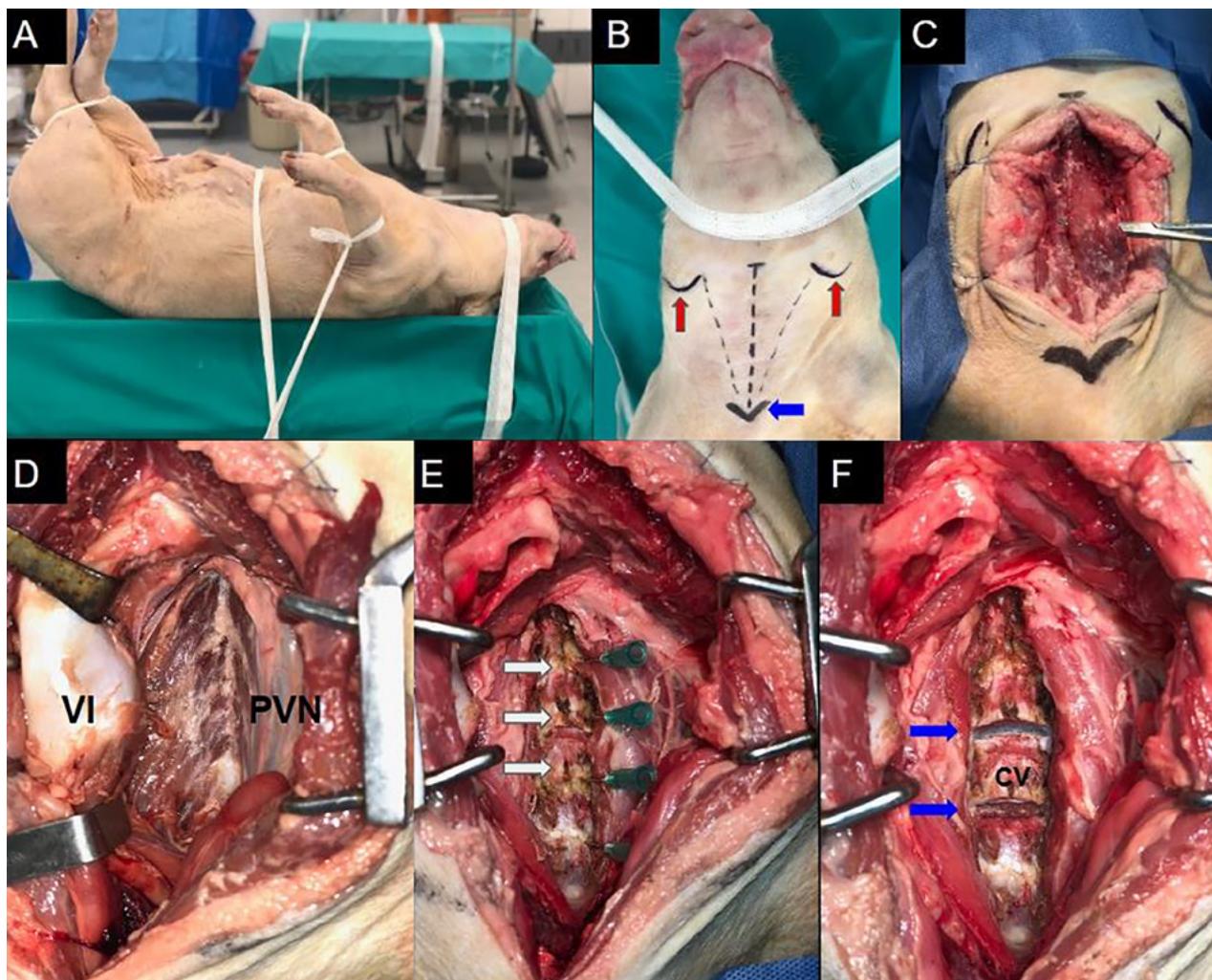
El instrumental quirúrgico utilizado es el sobrante o en desuso de quirófano central, similar al utilizado en las cirugías convencionales.

Las piezas animales de pollo fueron compradas en comercios. Las placentas son donadas de maternidad. Los especímenes porcinos son criados para fin educativo en el Bioterio, cumpliendo la normativa del CICUAL (Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales de Laboratorio).

Para las actividades microquirúrgicas se utiliza un microscopio Zeiss® Universal S3, torre de endoscopia Storz® y arco en C Phillips®. Todas las actividades se desarrollan en el Centro de Simulación Quirúrgica del Hospital Italiano.

### Metodología de trabajo

Se adaptaron distintos ejercicios destinados al entrena-



**Figura 1:** Dissectomía cervical anterior, 2 niveles. A) Posición del porcino en decúbito dorsal con la cabeza en extensión. Línea interrumpida en línea media marcando el sitio de incisión y a ambos lados línea interrumpidas marcando borde medial del músculo esternocleidomastoideo. Flecha roja: línea que marca el reborde óseo de la base del cráneo del porcino. Flecha azul: reborde superior del manubrio esternal. B) Incisión medial sobre la cara anterior del cuello del porcino. C) Diseción del plano cutáneo. Reparado en la pinza se observa el músculo platisma del porcino. D) Diseción del plano visceral, separando hacia la izquierda la traquea y el esófago (VI) y el paquete vasculo nervioso (PVN) hacia la derecha (flecha blanca). En la línea media se evidencia músculo recto capitis anterior. E) Exposición de la cara anterior de los cuerpos vertebrales (flechas blancas) y de los discos intervertebrales con las agujas clavadas. F) Dissectomía cervical (flechas) en el disco superior e inferior del cuerpo vertebral (CV).

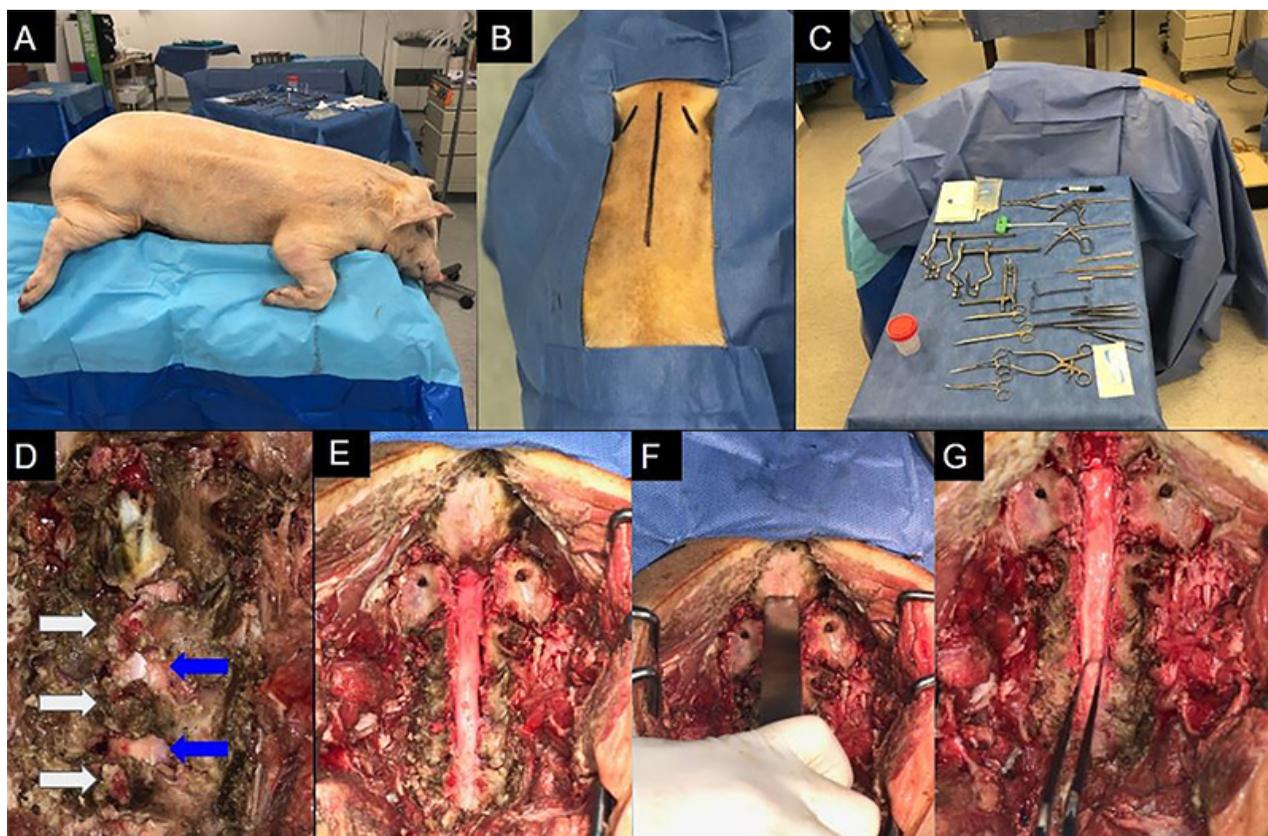


Figura 2: Laminectomía cervical posterior. A) Posición del porcino en decúbito ventral. B) Marcación de la incisión a nivel cervical posterior sobre línea media. C) Instrumental utilizado: Separadores autoestáticos, pinzas, bisturí, gubias, kerrison y monopolar. D) Exposición de las láminas cervicales (flechas blancas) luego de disecar el plano muscular. Se puede observar la duramadre en los espacios interlaminares (flechas azules) luego de resecar el ligamento amarillo. E) Exposición de la duramadre de la médula cervical luego de completada la laminectomía. F) Osteotomía de la lámina de C1. G) Exposición de la duramadre cervical a nivel C1 y C2.

miento de habilidades de manera reproducible y accesible.

#### *Fase 1: destinado a residentes de 1er y 2do año*

- *Introducción a la microcirugía*  
Reconocimiento y aprendizaje sobre uso de instrumental de microcirugía y sobre uso de microscopio binocular. Manipulación y conservación de tejidos y piezas animales
- *Abordajes Espinales*  
Realización abordajes a la columna cervical anterior, lumbar anterior, lateral y posterior en preparados porcinos (figs. 1, 2 y 3). Luego del abordaje, un residente de una fase avanzada proseguirá con la segunda parte del ejercicio.
- *Craneotomías*  
Realización de craneotomías a la convexidad cerebral, apertura dural con microscopio quirúrgico en preparados porcinos (fig. 4). Luego del abordaje, un residente de una fase avanzada proseguirá con la segunda parte del ejercicio.
- *Técnicas Microquirúrgicas I: suturas y disección de tejidos y sintéticos*  
Con el microscopio quirúrgico desarrollo de técnicas de disección en patas de pollo<sup>9</sup> (fig. 5) o placen-

tas,<sup>5</sup> con la identificación de vasos arteriales y su disección. Además, se realizan suturas en dedos de guantes y goma Eva con nylon 4.0 y 5.0.

Drillado con fresas de 4- 5 mm en distintas estructuras (fig. 6), Ej: Cáscara de huevo, huesos porcinos, etc.

#### *Fase 2: destinado a residentes de 3er y primer semestre de 4to año*

- *Técnicas Microquirúrgicas II*  
Disección de tejidos y anastomosis vasculares, clipado de vasos, disección simil-tumoral en modelos cerebrales animales (porcino).
- *Etapa 1*  
Bajo microscopio quirúrgico disección y anastomosis vasculares en alas de pollo utilizando nylon 8.0 y 9.0 (fig. 5).
- *Etapa 2*  
Desarrollo de técnicas de disección en cerebros animales bajo microscopio quirúrgico, con la identificación de vasos arteriales, realizando anastomosis término-terminales, latero-terminales, bypass con injerto, utilizando nylon 10 0 y nylon 9 0; disección de surcos y giros.
- *Etapa 3*  
Desarrollo en placentas humanas de aneurismas en

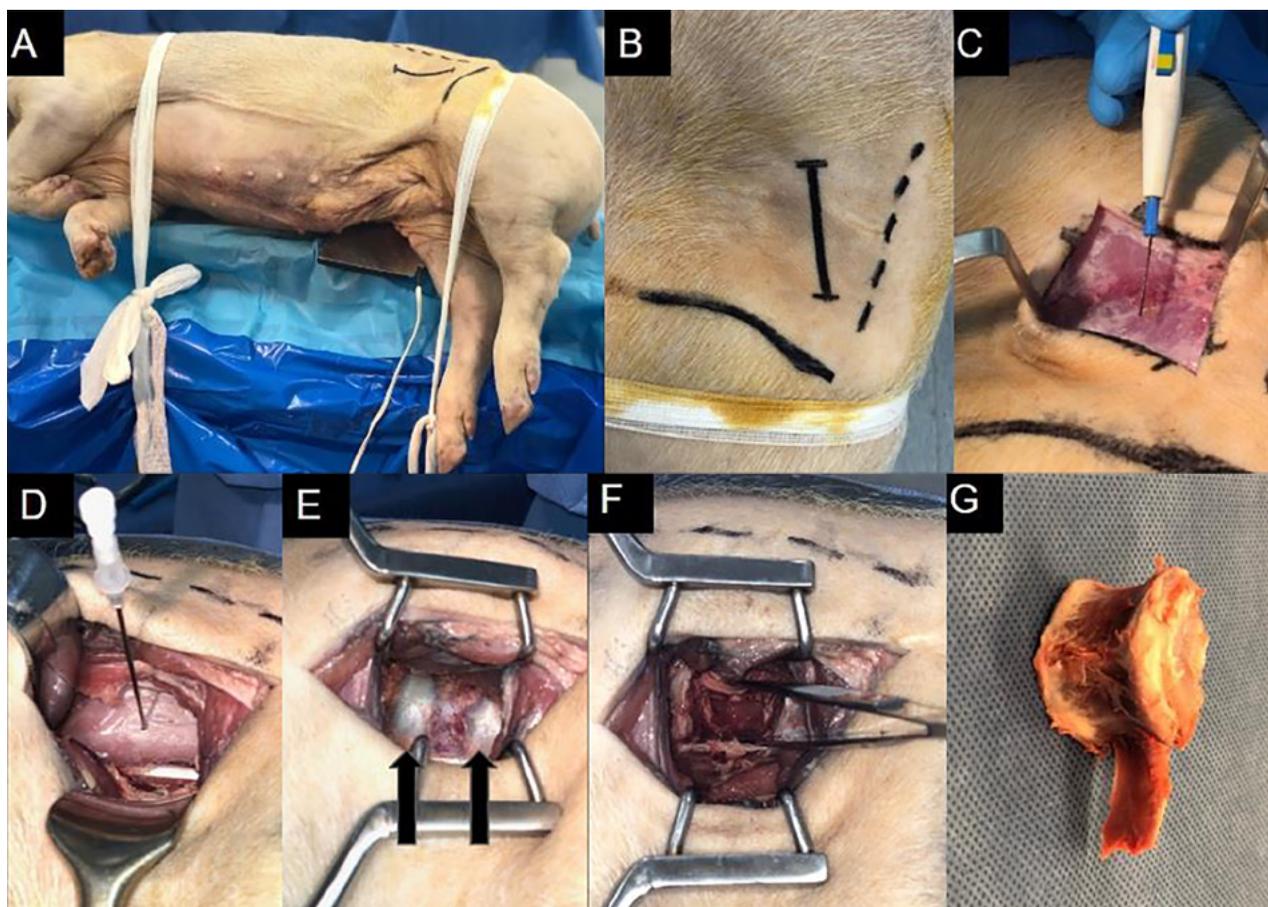


Figura 3: Corpectomía lumbar por vía lateral (transposas). A) Posición del porcino en decúbito lateral derecho. B) Marcación del sitio de incisión (línea discontinua), de la cresta iliaca y del músculo paravertebral. C) Incisión cutánea y exposición del músculo oblicuo mayor del abdomen. D) Abocath clavado en el disco intervertebral. Separador langenbeck retrayendo el peritoneo parietal hacia anterior, permitiendo disecar el espacio retroperitoneal. E) Exposición de los discos intervertebrales (flechas negras) y del cuerpo vertebral en el medio. F) Corpectomía vertebral. G) Cuerpo de la vertebral lumbar.

vasos existentes, según técnicas descriptas en literatura,<sup>17</sup> disección de los mismos y posterior clipado.

- *Microdissectomía Lumbar y Cervical.*  
Realización de microdissectomía cervicales y lumbares en preparados cadavéricos porcinos.
- *Abordajes a fosa posterior.*  
Realización de abordajes a la fosa posterior, apertura dural con microscopio quirúrgico y disección de surcos.

*Fase 3: destinado a residentes de segundo semestre de 4to y 5to año*

- *Técnicas Microquirúrgicas III*  
Disección de valle silviano, interhemisférico transcaloso, abordajes al cuarto ventrículo. Clipado de aneurismas en placentas humanas.  
Desarrollo de técnicas de disección en cerebros animales bajo microscopio quirúrgico, con la identificación de surcos y giros, disección de valle silviano, abordaje interhemisférico con disección y apertura de cuerpo caloso. Reconocimiento de sistema ventricular y abordajes a los

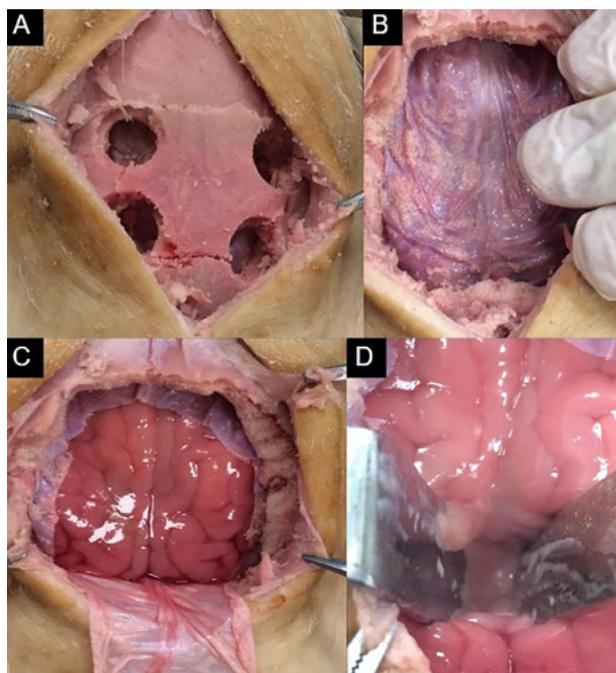


Figura 4: Abordaje interhemisférico en cerdo. A) Exposición del cráneo del cerdo con la craneotomía realizada de 5 x 4 cm. B) Exposición de la duramadre. C) Apertura dural y exposición del cerebro del cerdo. D) Apertura del espacio interhemisférico.

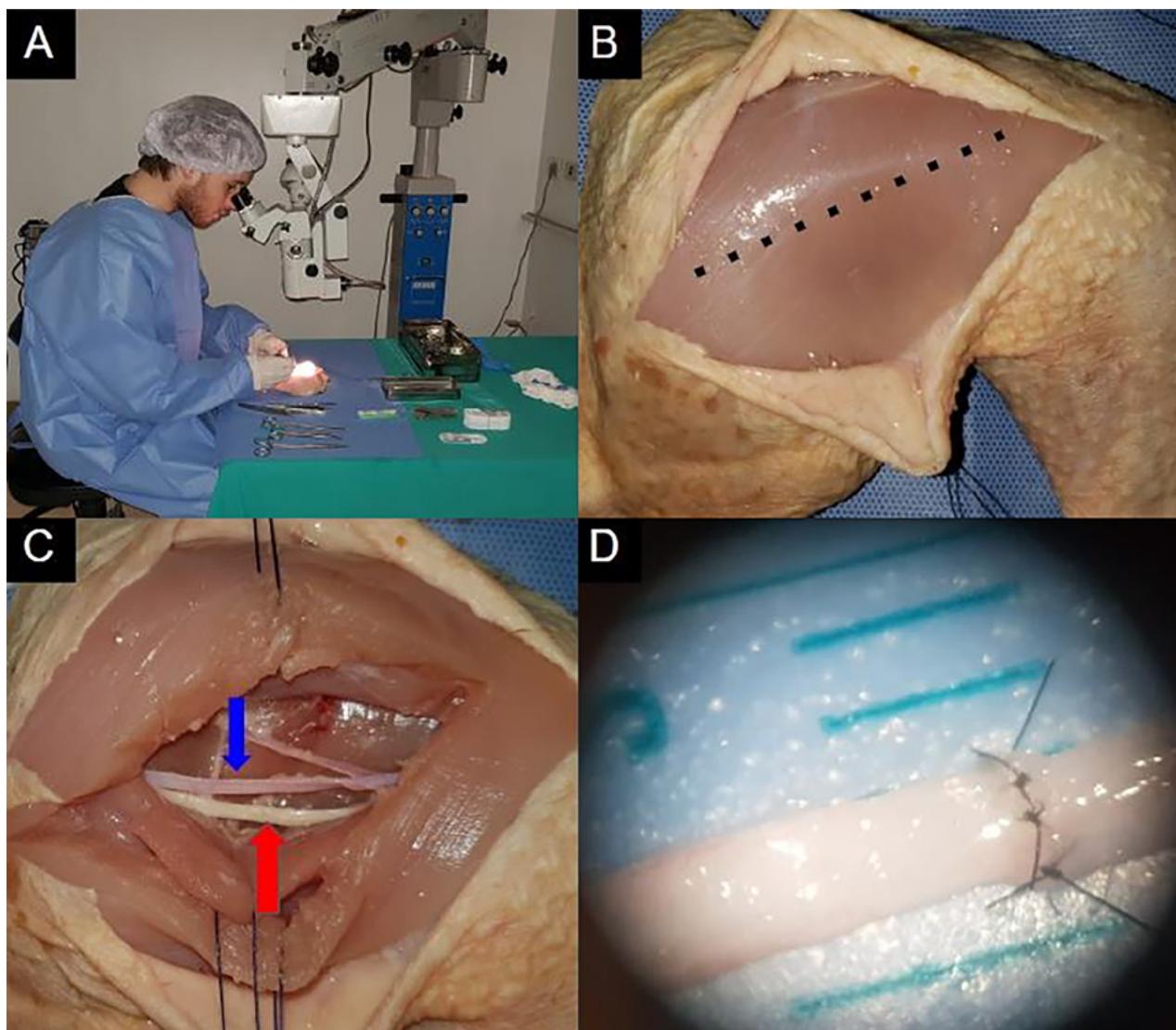


Figura 5: Discección pata de pollo. Anastomosis arterial en pata de pollo. A) Posición del residente en el microscopio. B) Pata de pollo luego de la incisión en la piel. La línea de puntos marca la incisión en el plano muscular. C) Apertura del plano muscular y exposición de la arteria (flecha azul) y del nervio (flecha roja). D) Anastomosis con puntos simples de prolene 9.0 del vaso arterial, de menos de 2 mm en este caso.

mismos.

- *Corpectomía cervical, dorsal y lumbar. Arthrodesis.*  
Realización de abordajes a la columna cervical, dorsal y lumbar con la realización de corpectomías (figs. 3, 7 y 8). Practica de obtención de injertos autólogos y su remodelación para ser utilizados en la corpectomía.
- *Colocación de tornillos.*  
Simulación de la trayectoria para la colocación de tornillos cervicales, torácicos y lumbares mediante la utilización de punzón fino y alambre como palpador.
- *Abordaje nasal endoscópico.*  
Abordajes endoscópicos nasales en cabezas de corderos abordajes endoscópicos nasales, con turbinectomías y exposición de rostro esfenoidal.

## RESULTADOS

Los modelos basados en simulación quirúrgica permitieron a los residentes reproducir distintas técnicas en un entorno seguro y obtener una evaluación objetiva del rendimiento para cada ejercicio. Cada nivel de entrenamiento con sus respectivos ejercicios fue evaluado de acuerdo a la validez del mismo y reproducibilidad. La validez implica la medida en la que el ejercicio es extrapolable a la realidad quirúrgica del día a día, y su reproducibilidad aplica a la capacidad de realizarse y repetirse en las mismas condiciones la cantidad de veces necesaria por distintos residentes.<sup>18</sup> La devolución por parte del neurocirujano senior constó de cuatro elementos: reflexión conjunta acerca de objetivos cumplidos, refuerzo positivo sobre las actividades que el residente realizó correctamente, consejos para prácticas futuras, y por último correcciones de errores.

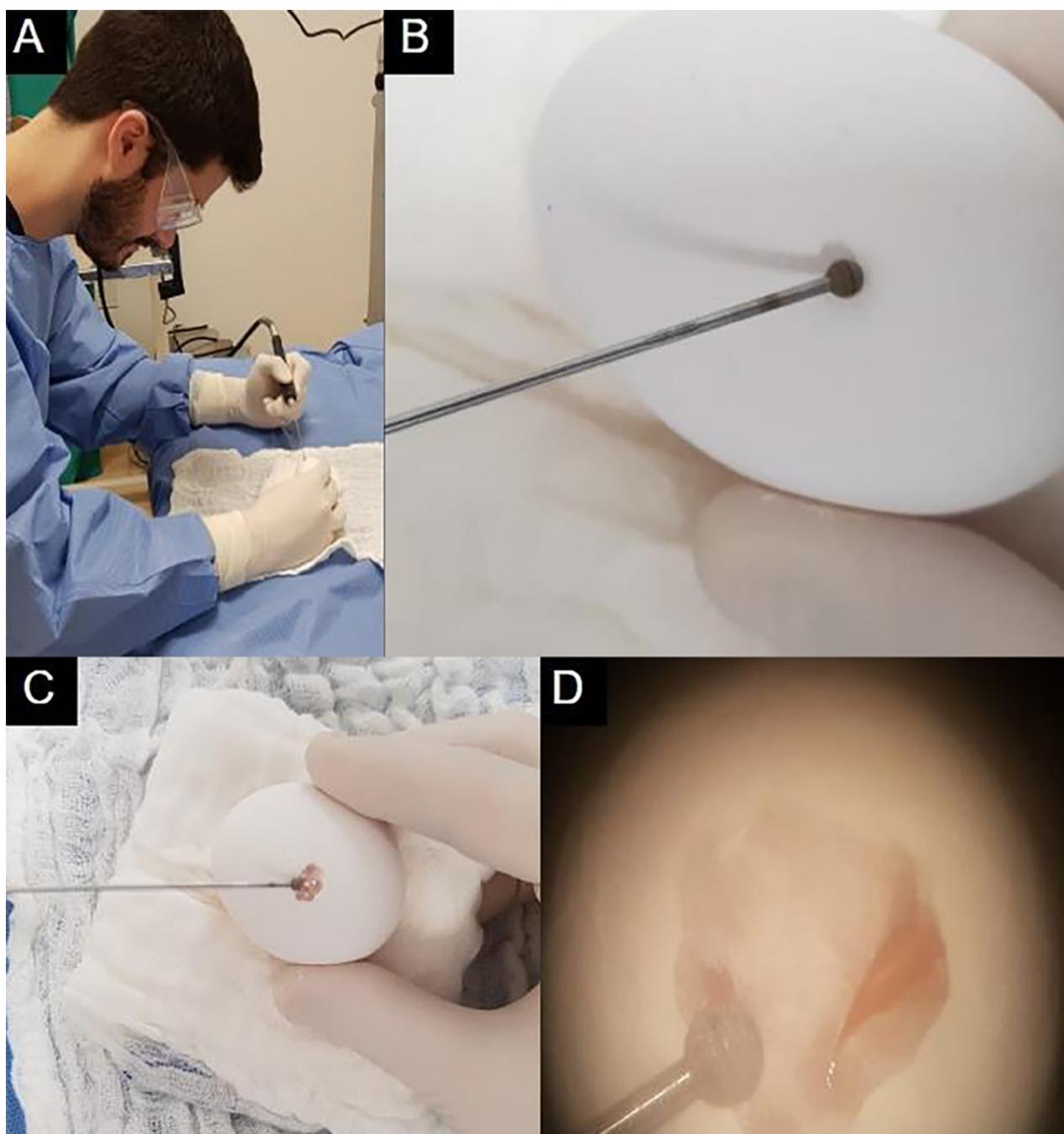


Figura 6: Drilado de cáscara de huevo. A) Posición del residente. B) Imagen macroscópica del drilado. C) Imagen macroscópica del drilado luego de la apertura de la cáscara. D) Imagen microscópica del drilado de la cáscara.

## DISCUSIÓN

Diversos modelos han sido descriptos en la literatura como complemento de la práctica inicial del neurocirujano.<sup>3,5,7,11,15,17-19</sup> Los preparados cadavéricos son el método más antiguo y de elección para el entrenamiento quirúrgico,<sup>7,15,18,19</sup> ya que permiten estudiar la anatomía y desarrollar las habilidades quirúrgicas al mismo tiempo.<sup>7</sup> Una de las claves para un entrenamiento quirúrgico cadavérico exitoso es la capacidad de realizar múltiples estaciones de disección, con no más de dos cirujanos por prepara-

do cadavérico.<sup>15</sup> A su vez el laboratorio debe estar correctamente equipado (instrumentos para manipular compuestos químicos y materiales biopeligrosos con personal idóneo; poseer una ventilación adecuada, y una cámara frigorífica para el almacenamiento de las piezas).<sup>15,19</sup> El costo promedio de un espécimen es de aproximadamente entre USD 95.019 y USD 2.500.<sup>14,15</sup> Si bien estos valores corresponden a Estados Unidos, son valores incompatibles con nuestro medio.

Los modelos sintéticos como las impresiones en 3D a partir de reconstrucciones de Tomografía Computarizada

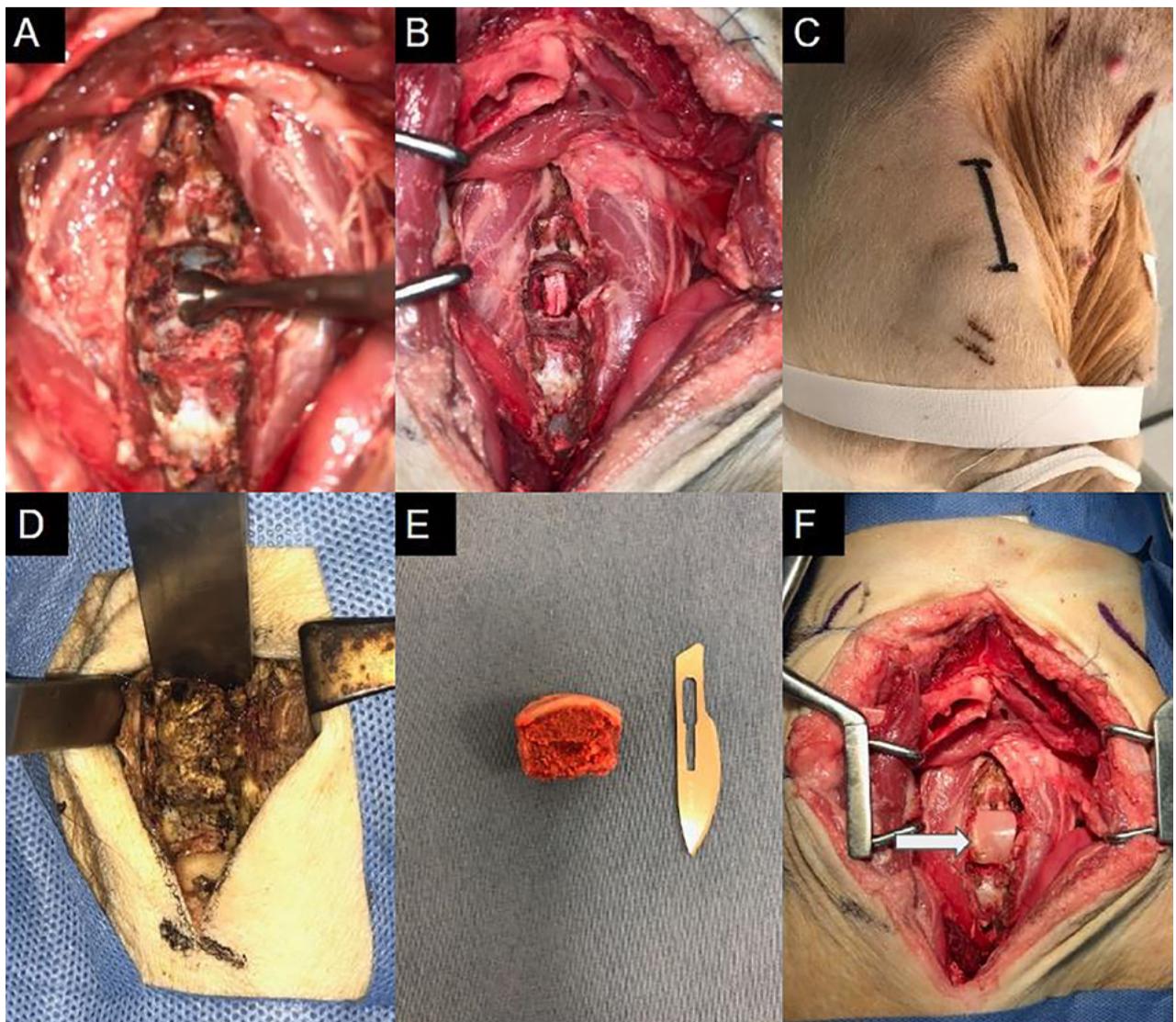


Figura 7: Corpectomía cervical anterior. A) La cureta se encuentra en el espacio del cuerpo vertebral entre ambos discos resecaados previamente (Figura 5. F). B) Corpectomía completa. C) Marcación del sitio de incisión en la pata trasera para extraer parte del fémur del porcino. D) Osteotomía en el fémur para extraer el injerto. E) Porción del fémur del porcino utilizado como injerto autólogo. Bisturí N° 20 utilizado para referenciar en tamaño del injerto. F) Injerto autólogo en posición (flecha), ocupando el lugar del cuerpo vertebral previamente resecaado (Imagen B).

o Resonancia Magnética, tienen la ventaja de su durabilidad, y de su fidelidad anatómica.<sup>18</sup> Si se usan para propósitos específicos bien definidos, tienen el potencial de servir como materiales didácticos efectivos.<sup>4</sup> Sin embargo, los materiales sintéticos difieren ampliamente de los tejidos humanos tanto en su consistencia, elasticidad y resistencia.<sup>10</sup> Estas características hacen que no sean modelos fidedignos a la hora de suturarlos, diseccionarlos y drilarlos.

El crecimiento exponencial del desarrollo del procesamiento de datos por computadora ha incrementado al mismo tiempo los modelos de simulación virtual.<sup>16</sup> Las reconstrucciones computarizadas virtuales (modelos hápticos) han surgido como una herramienta viable de entrenamiento neuroquirúrgico con una fidelidad operativa mejorada debido a la retroalimentación háptica y una simulación de texturas y resistencias más realista.<sup>4,13,16</sup> El

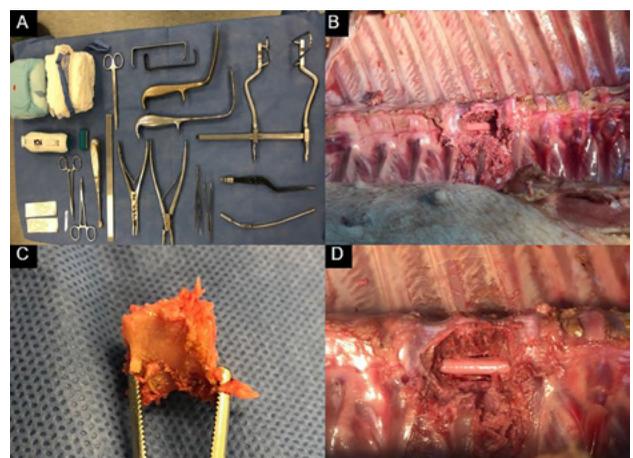


Figura 8: Corpectomía dorsal por vía anterior, similar a la toracoscopia. A) Instrumental quirúrgico utilizado. B) Luego de realizada la esternotomía y extracción de las vísceras se expone la cara anterior de la columna dorsal y se realiza la corpectomía. C) Pieza de la corpectomía anterior (cuerpo vertebral). D) Exposición de la duramadre dorsal.

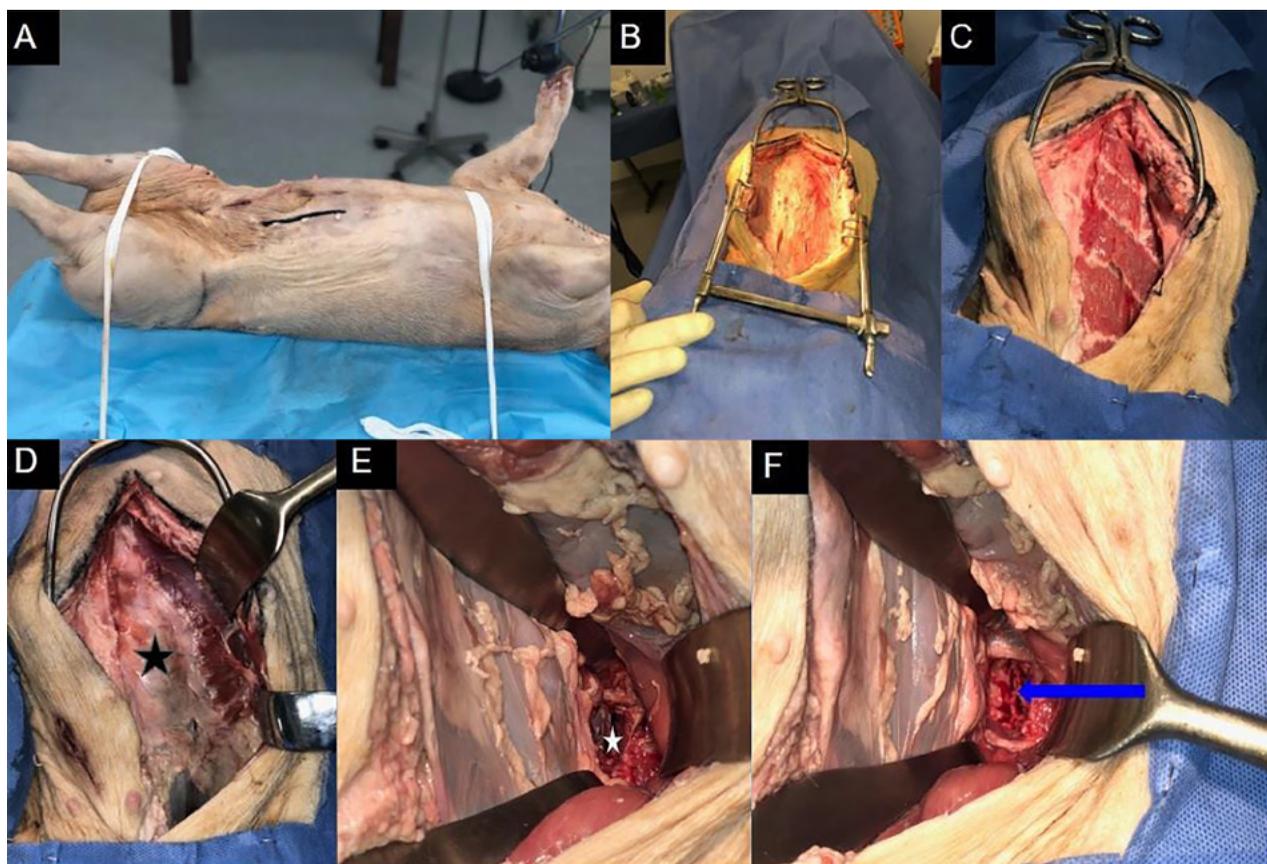


Figura 9: Microdissectomía lumbar por vía anterior. A) Posición del cerdo en decúbito dorsal. B) Incisión paramediana izquierda y apertura del plano cutáneo. C) Apertura de la fascia y exposición del músculo recto del abdomen. D) Apertura del plano muscular y exposición del plano preperitoneal (estrella negra). E) Exposición de la cara anterior de la columna lumbar, luego de retraer las vísceras hacia la izquierda y el plano muscular hacia la derecha. F) Microdissectomía lumbar anterior. Resección del disco intervertebral (flecha azul).

inconveniente de este modo de simulación es el altísimo costo; además de que requieren mantenimiento, suscripciones y renovaciones de software. Por otro lado, requiere un gran desarrollo tecnológico para alcanzar una retroalimentación háptica que sea comparable con el tacto y la manipulación de los tejidos.<sup>16</sup>

Según un trabajo realizado en la universidad de Texas, EEUU, un programa de entrenamiento neuroquirúrgico que cuenta con simulación cadavérica, física y háptica, conlleva un presupuesto de inversión inicial de USD 341.978 con gastos anuales de USD 27.876. El costo por cada residente oscila entre USD 2300 y USD 5500 durante los primeros 30 minutos de uso del laboratorio y luego entre USD 926 y USD 2.756, respectivamente por cada 30 minutos a partir de entonces; concluyendo en un gasto diario por cinco horas de entrenamiento de USD 10.634 (mínimo) por residente por día.<sup>5</sup> Otro estudio realizado en la Universidad de Pennsylvania calcula un total de USD 4.204 millones de inversión inicial para llevar a cabo la construcción de un Centro de Simulación Quirúrgica y la compra de equipos y materiales de simulación de baja y alta fidelidad, con un gasto anual de mantenimiento de USD 476.000. El costo por residente para una

rotación de 4 semanas lo calculan de USD 12.516.<sup>13</sup>

Las prácticas en piezas animales son un método barato y accesible, no necesitan preparación especial ni necesidad de anestesia y tampoco presentan conflictos ético-legales. Si bien la anatomía no es la humana, los tejidos son similares, permitiendo realizar maniobras de disección, sutura, anastomosis, drilado y hasta colocación de tornillos transpediculares. Las alas de pollo presentan arterias de 5-6 cm con 1 mm de diámetro<sup>8</sup> lo que permite realizar anastomosis término-terminales, latero-laterales y termino-laterales bajo el microscopio quirúrgico. Son un elemento de bajo costo, fácil obtención y el diámetro y la estructura vascular se asemeja a la cerebral.<sup>8</sup> Este ejercicio desarrolla la coordinación y la praxia bajo el microscopio óptico.

El entrenamiento en cirugía espinal en preparados cadavéricos animales (se pueden utilizar porcinos u ovinos), permite obtener familiaridad con las técnicas quirúrgicas, así como aprender el manejo del instrumental específico.<sup>20</sup> Se pueden realizar hemilaminectomías, microdissectomías, foraminotomías, trayecto guía para la colocación de tornillos y corpectomías con injerto autólogo.<sup>20</sup> En las figuras 1-3 y 7-10 puede observarse la similitud entre la anatomía espinal porcina y la humana.<sup>20</sup>

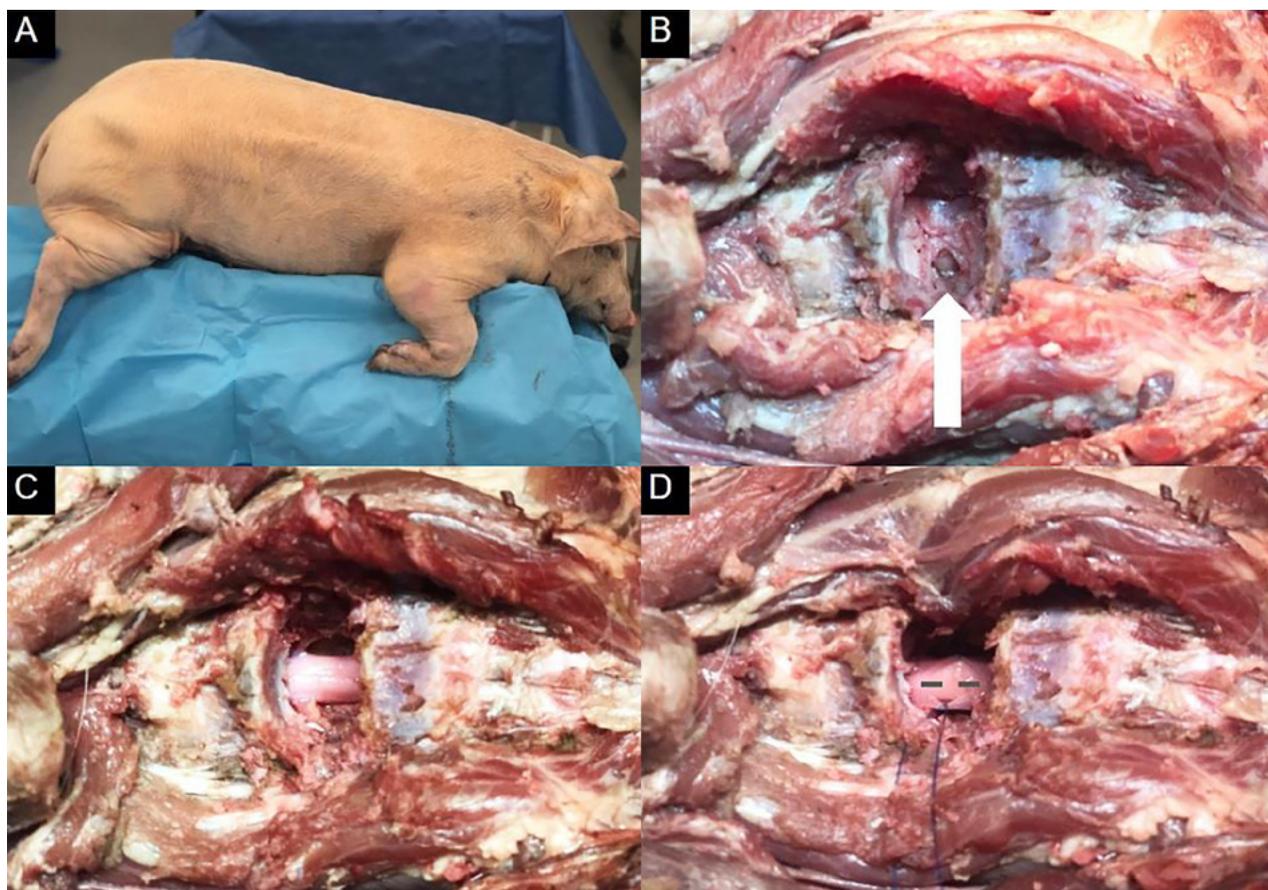


Figura 10: Apertura y cierre dural más mielotomía. A) Incisión dorsal posterior. B) Luego de la disección del plano muscular se realizó la laminectomía con exposición del ligamento amarillo (flecha blanca). C) Exposición de la duramadre dorsal luego de resecado el ligamento amarillo. D) Apertura dural y mielotomía posterior (línea interrumpida).

Por otro lado, la práctica de ciertas habilidades como fresado en cáscara de huevo, suturas en dedo de guante o goma Eva o disección de los vasos de una placenta humana bajo el microscopio, también permiten recrear las condiciones de una cirugía in vivo y familiarizar al residente con el uso del microscopio quirúrgico. La mayor deficiencia del programa es la ausencia de sangrado activo en los preparados, lo cual podría lograrse mediante canalización de los vasos del preparado conectados a bombas de perfusión continuas modelos publicados en la literatura,<sup>1</sup> pero no realizados en el presente trabajo.

La simulación quirúrgica permite desarrollar distintas problemáticas, errores e incluso avances en un ambiente seguro.<sup>7</sup> El error es una poderosa herramienta de enseñanza, en estos modelos, al no estar en juego la salud del paciente, se pueden tomar más riesgos intencionalmente en la práctica de los ejercicios para poner en evidencia las estructuras anatómicas que podrían dañarse durante un procedimiento en vivo.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Aboud, E., Suarez, C. E., Al-Mefty, O., & Yasargil, M. G. (2004). New alternative to animal models for surgical training. *Alternatives to Laboratory Animals*, 32(1\_suppl), 501-507.
2. Danzer, E., Dumon, K., Kolb, G., Pray, L., Selvan, B., Resnick, A. S., & Williams, N. N. (2011). What is the cost associated with the implementation and maintenance of an ACS/APDS-based surgical skills curriculum? *Journal of surgical education*, 68(6), 519-525.
3. De Oliveira, M. M. R., Ferrarez, C. E., Ramos, T. M., Malheiros,

Diversos trabajos<sup>4,5,7,10,12,15,18</sup> concluyen que la integración sistemática de la simulación en el programa básico de residencia de neurocirugía, tiene un impacto positivo en el entrenamiento de todos los residentes, particularmente en los primeros años, con porcentajes de desarrollo de competencias mayor al 80%.<sup>5</sup>

#### CONCLUSIÓN

Éste programa “hands on” de simulación neuroquirúrgica permitió a los residentes adquirir y mejorar las habilidades quirúrgicas dentro de un marco seguro. Creemos que la simulación quirúrgica representa una alternativa a la práctica en cadáveres, y que por su menor costo y accesibilidad puede ser implementada en nuestro medio. Deberán realizarse trabajos a futuro evaluando la eficacia de cada ejercicio y su repercusión en la práctica diaria para poder validar y seguir desarrollando este programa de entrenamiento quirúrgico.

- J. A., Nicolato, A., Machado, C. J., & Gusmao, S. (2018). Learning brain aneurysm microsurgical skills in a human placenta model: predictive validity. *Journal of neurosurgery*, 128(3), 846-852.
4. Ganju, A., Aoun, S. G., Daou, M. R., El Ahmadi, T. Y., Chang, A., Wang, L., & Bendok, B. R. (2013). The role of simulation in neurosurgical education: a survey of 99 United States neurosurgery program directors. *World neurosurgery*, 80(5), e1-e8.
  5. Gasco, J., Holbrook, T. J., Patel, A., Smith, A., Paulson, D., Muns, A., & Ortega-Barnett, J. (2013). Neurosurgery simulation in residency training: feasibility, cost, and educational benefit. *Neurosurgery*, 73(suppl\_1), S39-S45.
  6. Gélinas-Phaneuf, N., & Del Maestro, R. F. (2013). Surgical expertise in neurosurgery: integrating theory into practice. *Neurosurgery*, 73(suppl\_1), S30-S38.
  7. Gnanakumar, S., Kostusiak, M., Budohoski, K. P., Barone, D., Pizzuti, V., Kirollos, R., ... & Trivedi, R. (2018). Effectiveness of cadaveric simulation in neurosurgical training: a review of the literature.
  8. Hino, A. (2003). Training in microvascular surgery using a chicken wing artery. *Neurosurgery*, 52(6), 1495-1498.
  9. Hwang, G., Oh, C. W., Park, S. Q., Sheen, S. H., Bang, J. S., & Kang, H. S. (2010). Comparison of different microanastomosis training models: model accuracy and practicality. *Journal of Korean Neurosurgical Society*, 47(4), 287.
  10. Kirkman, M. A., Ahmed, M., Albert, A. F., Wilson, M. H., Nandi, D., & Sevdalis, N. (2014). The use of simulation in neurosurgical education and training: a systematic review. *Journal of neurosurgery*, 121(2), 228-246.
  11. Kotsis, S. V., & Chung, K. C. (2013). Application of see one, do one, teach one concept in surgical training. *Plastic and reconstructive surgery*, 131(5), 1194.
  12. Kshetry, V. R., Mullin, J. P., Schlenk, R., Recinos, P. F., & Benzel, E. C. (2014). The role of laboratory dissection training in neurosurgical residency: results of a national survey. *World neurosurgery*, 82(5), 554-559.
  13. Lemole Jr, G. M., Banerjee, P. P., Luciano, C., Neckrysh, S., & Charbel, F. T. (2007). Virtual reality in neurosurgical education: part-task ventriculostomy simulation with dynamic visual and haptic feedback. *Neurosurgery*, 61(1), 142-149.
  14. Lewis, C. E., Peacock, W. J., Tillou, A., Hines, O. J., & Hiatt, J. R. (2012). A novel cadaver-based educational program in general surgery training. *Journal of surgical education*, 69(6), 693-698.
  15. Liu, J. K., Kshetry, V. R., Recinos, P. F., Kamian, K., Schlenk, R. P., & Benzel, E. C. (2015). Establishing a surgical skills laboratory and dissection curriculum for neurosurgical residency training. *Journal of neurosurgery*, 123(5), 1331-1338.
  16. Malone, H. R., Syed, O. N., Downes, M. S., D'Ambrosio, A. L., Quest, D. O., & Kaiser, M. G. (2010). Simulation in neurosurgery: a review of computer-based simulation environments and their surgical applications. *Neurosurgery*, 67(4), 1105-1116.
  17. Oliveira Magaldi M, Nicolato A, Godinho JV, Santos M, Prosdociami A, Malheiros JA, et al: Human placenta aneurysm model for training neurosurgeons in vascular microsurgery. *Neurosurgery* 10 (Suppl 4):592-601, 2014
  18. Rehder, R., Abd-El-Barr, M., Hooten, K., Weinstock, P., Madsen, J. R., & Cohen, A. R. (2016). The role of simulation in neurosurgery. *Child's Nervous System*, 32(1), 43-54.
  19. Salma, A., Chow, A., & Ammirati, M. (2011). Setting up a microneurosurgical skull base lab: technical and operational considerations. *Neurosurgical review*, 34(3), 317-326.
  20. Suslu, H. T., Tatarli, N., Karaaslan, A., & Demirel, N. (2014). A practical laboratory study simulating the lumbar microdiscectomy: training model in fresh cadaveric sheep spine. *Journal of Neurological Surgery Part A: Central European Neurosurgery*, 75(03), 167-169. *World neurosurgery*, 118, 88-96.