



Laboratorio de microcirugía: alternativa de bajo costo para obtener habilidades básicas microquirúrgicas

Microsurgery laboratory: low-cost alternative for basic microsurgical skills

Dr. Gabriel Raymundo López-Arias,^{*,‡} Dr. Sergio Raymundo López-Pérez,^{*,§}
Dr. Dayel Rosales Díaz-Mirón,^{*,¶} Dr. Carlos Hayakawa-Dávila^{*,||}

Palabras clave:

microcirugía,
entrenamiento
quirúrgico, laboratorio
microquirúrgico,
educación médica,
simulación quirúrgica,
alternativa de bajo costo

Keywords:

microsurgery, surgical
training, microsurgical
laboratory, medical
education, surgical
simulation, low-cost
alternative

RESUMEN

El rápido avance de la microcirugía, junto con su amplio espectro de aplicaciones y superioridad frente a otros procedimientos reconstructivos, ha consolidado su enseñanza como un pilar en la formación en cirugía plástica estética y reconstructiva. Incluso en nuestro país, su dominio es un requisito evaluado por el Consejo Mexicano de Cirugía Plástica, Estética y Reconstructiva (CMCPR). Sin embargo, muchas sedes carecen de laboratorios de microcirugía o de acceso permanente para los residentes. Se diseñó e implementó un laboratorio de microcirugía asequible, desmontable y transportable, creado y utilizado por residentes. Incluye un microscopio estereó de fabricación local, instrumental reutilizable y modelos elaborados con materiales reciclados libres de residuos biológicos, sin usar animales. Se diseñaron dos modelos prácticos para entrenamiento en anastomosis vascular y neurorrafia. El costo total del laboratorio fue de \$4,719.89 MXN (253.73 USD). El modelo 1 tuvo un costo por práctica de \$13.00 MXN (0.76 USD) y el modelo 2 de \$359.97 MXN (21.1 USD). Esta propuesta permite superar las principales barreras previamente identificadas: costo, espacio, consumo de insumos y residuos. Concluimos que el laboratorio desarrollado representa una alternativa viable, asequible, reproducible y ambientalmente responsable para cualquier sede académica o curso formativo.

ABSTRACT

The rapid progress of microsurgery, along with its wide range of applications and superiority over other reconstructive procedures, has consolidated its teaching as a pillar in plastic, aesthetic and reconstructive surgery training. Even in our country, proficiency in microsurgery is a requirement evaluated by the Mexican Board of Plastic, Aesthetic and Reconstructive Surgery (CMCPR). However, many training centers lack microsurgery laboratories or permanent access for residents. A low-cost, detachable and transportable microsurgery laboratory was designed, created and used by residents. It includes a locally manufactured stereomicroscope, reusable instruments and models made from recycled non-biological materials, avoiding animal use. Two practical models were developed for vascular anastomosis and neurorrhaphy training. The total cost of the laboratory was \$4,719.89 MXN (253.73 USD). Model 1 costs \$13.00 MXN (0.76 USD) per practice and Model 2 costs \$359.97 MXN (21.1 USD). This proposal allows us to overcome previously identified barriers: cost, space, consumables and waste. We conclude that this laboratory represents a viable, affordable, reproducible and environmentally responsible alternative for any academic institution or training course.

INTRODUCCIÓN

La microcirugía y las técnicas microquirúrgicas son utilizadas actualmente en múltiples

especialidades quirúrgicas como oftalmología, otorrinolaringología, neurocirugía, cirugía oral y maxilofacial y, de manera destacada, en cirugía plástica, estética y reconstructiva. El desarrollo

Citar como: López-Arias GR, López-Pérez SR, Díaz-Mirón DR, Hayakawa-Dávila C. Laboratorio de microcirugía: alternativa de bajo costo para obtener habilidades básicas microquirúrgicas. Cir Plast. 2025; 35 (4): 220-228. <https://dx.doi.org/10.35366/122091>

* Unidad Médica de Alta Especialidad No. 71, IMSS. Torreón, Coahuila, México.

ORCID:

‡ 0009-0006-3509-7123

§ 0009-0009-5217-9624

¶ 0000-0002-4094-5725

|| 0009-0009-4811-4932

Recibido: 18 mayo 2025

Aceptado: 01 septiembre 2025



de habilidades microquirúrgicas requiere de práctica continua antes de su aplicación en pacientes, ya que esta etapa de entrenamiento disminuye los riesgos quirúrgicos, acorta los tiempos operatorios, mejora los resultados funcionales y fortalece la destreza del cirujano.

El avance acelerado de la microcirugía, junto con su amplio espectro de aplicaciones y su eficacia comprobada en la resolución de diversos problemas reconstructivos, ha establecido que la adquisición de habilidades microquirúrgicas básicas sea una necesidad indispensable en todo programa de formación en cirugía plástica. En nuestro país, estas competencias son incluso evaluadas por el Consejo Mexicano de Cirugía Plástica, Estética y Reconstructiva (CMCPEER). No obstante, no todas las sedes de residencia cuentan con laboratorios de microcirugía y, en aquellas que sí disponen de uno, el acceso por parte de los residentes suele estar restringido.

Entre las principales barreras para establecer un laboratorio de microcirugía se encuentran el elevado costo de los microscopios clínicos, la falta de espacios dedicados a ello, el precio del instrumental especializado, la adquisición de suturas microquirúrgicas y la necesidad de modelos biológicos, cuyo uso implica además el manejo adecuado de residuos.

Microscopios de marcas reconocidas como Carl Zeiss, Leica u Olympus pueden alcanzar precios superiores a los 17,000 USD, lo cual los vuelve inaccesibles para muchas instituciones. A ello se suman los costos asociados a mantenimiento, refacciones y necesidad de supervisión por parte de personal experto, limitando así su disponibilidad para los residentes.

Por otro lado, el diseño del área de trabajo representa un reto adicional para muchas sedes, especialmente cuando no es posible asignar un espacio exclusivo como laboratorio. Además, la falta de mobiliario ergonómico (como sillas especializadas, cuyo precio puede alcanzar los 1,500 USD) repercute negativamente en el tiempo y la calidad de la práctica e incrementa el riesgo de lesiones musculoesqueléticas durante el entrenamiento.

El instrumental microquirúrgico básico, compuesto por portaagujas tipo Castroviejo, pinzas de joyero y tijeras especializadas, puede oscilar entre los 1,500 y 3,000 USD. Por otro lado, la sutura microquirúrgica representa una de las li-

mitantes más importantes: su precio incrementa de forma proporcional al calibre, además de que calibres como el nylon 11-0 o 12-0 son escasos y muchas veces no están disponibles en México. Incluso suturas más comunes como el nylon 10-0 tienen precios elevados y se deterioran con facilidad durante la curva de aprendizaje, lo que aumenta los costos por práctica.

El uso de modelos animales como la rata Wistar ha sido ampliamente difundido, ya que permite simular condiciones clínicas reales. Sin embargo, su uso implica no solo un costo económico adicional, sino también implicaciones éticas y logísticas relacionadas con el manejo de residuos biológicos. Por ello, se recomienda iniciar el entrenamiento con modelos sintéticos de bajo costo que permitan desarrollar habilidades básicas, familiarizarse con el manejo del microscopio y adaptarse a la dinámica de sutura antes de trabajar con tejidos vivos. Un ejemplo de progresión útil es el modelo propuesto por Wei F. Chen y colaboradores¹ basado en la arteria femoral del muslo de pollo.

Si bien existen soluciones electrónicas como los exoscopios o sistemas de cámara con lentes adaptadas, estas opciones no reproducen con fidelidad la experiencia tridimensional ni permiten desarrollar habilidades específicas como el ajuste de distancia interpupilar, el enfoque fino o la manipulación bajo visión binocular. Por lo tanto, el entrenamiento inicial debe realizarse idealmente con un microscopio estereoscópico clásico.

El uso de cámaras acopladas al microscopio permite registrar las prácticas y facilitar la retroalimentación. Existen múltiples opciones comerciales accesibles, con precios que varían entre los 100 y 1,500 USD, sin diferencias significativas en funcionalidad. También es posible iniciar el entrenamiento de forma autodidacta, apoyándose en manuales, guías prácticas y contenido audiovisual, aunque lo ideal es combinar este enfoque con sesiones supervisadas, al menos en las etapas iniciales. Complementar la práctica con el acompañamiento de un mentor o tutor puede optimizar el proceso de aprendizaje.

En su obra *A Manual of Basic Microsurgical Techniques*,² Sandra Shurey sugiere que una semana de entrenamiento intensivo (35 horas) es suficiente para adquirir las habilidades microquirúrgicas básicas y generar la confianza

necesaria para su aplicación clínica. Esto rompe con la falsa percepción de que la microcirugía es una habilidad exclusiva o inalcanzable. La propuesta presentada en este trabajo sigue esa misma línea, al ofrecer una alternativa de entrenamiento accesible, reproducible y diseñada para superar las barreras previamente descritas.

MATERIAL Y MÉTODO

Este proyecto fue diseñado, implementado y ejecutado por residentes del programa de cirugía plástica, estética y reconstructiva con el objetivo de crear un laboratorio de microcirugía asequible, portátil, libre de experimentación animal y adaptable a cualquier sede académica con recursos limitados. El desarrollo se guio por principios de accesibilidad, ética, progresividad técnica y sustentabilidad, basándose en las recomendaciones pedagógicas de Boyd y Jones,³ así como en los esquemas de entrenamiento descritos por Khachatryan y colaboradores.⁴

1. **Microscopio estereoscópico.** Se utilizó un microscopio trinocular estereoscópico simul-focal que permite emplear una cámara acoplada sin comprometer la visión por ninguno de los dos oculares, facilitando

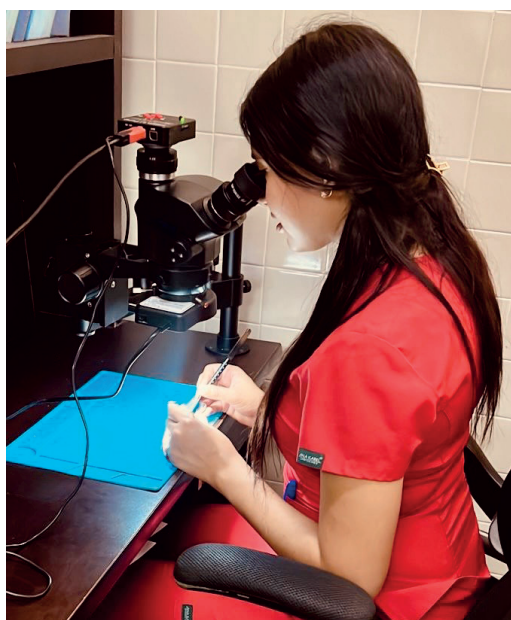


Figura 1: Se muestra el microscopio.

la documentación en tiempo real. Cuenta con oculares WF10x/22 mm, zoom óptico de 0.7 a 5× para una ampliación total de 7 a 50×, y una distancia de trabajo de 110 mm. Incluye iluminación LED integrada y un adaptador compatible con cámaras digitales. Fue adquirido en línea por \$2,367.33 pesos mexicanos (132.59 USD), ofreciendo una opción funcional y económica para prácticas microquirúrgicas.

Se descartaron alternativas como exoscopios o cámaras adaptadas al celular, debido a que no reproducen adecuadamente la visión tridimensional ni permiten entrenar habilidades fundamentales como enfoque estereoscópico, control de profundidad y ergonomía visual (*Figura 1*).

2. **Lente objetivo auxiliar 0.3X.** Siguiendo la recomendación de Khachatryan y su equipo, se integró un lente objetivo auxiliar de 0.3X, el cual permite aumentar la distancia de trabajo hasta 2.87 veces, logrando un rango de 100 a 287 mm. En nuestra experiencia, se trabajó entre 250 y 280 mm, permitiendo un campo operatorio más amplio, mejor maniobrabilidad con instrumentos largos y mayor ergonomía para el operador. Esta configuración mejora también el rango de enfoque y permite mantener una postura adecuada durante sesiones prolongadas. El precio del lente fue de \$457.87 pesos mexicanos (25.60 USD).
3. **Soporte para el microscopio.** El microscopio fue montado sobre un soporte articulado profesional con base metálica desmontable, diseñado para ofrecer estabilidad, precisión de movimiento y adaptabilidad a diversas superficies. Este soporte permite un desplazamiento en un radio de 550 mm y una distancia de trabajo máxima de 515 mm, lo que permite ajustar cómodamente el enfoque, especialmente al utilizar lentes objetivos de 0.3X, garantizando un campo operatorio amplio y libre de restricciones. Su sistema de fijación es ajustable, se adapta a distintos escritorios sin requerir modificaciones permanentes y puede desmontarse fácilmente, lo cual permite su transporte ambulatorio en espacios no dedicados

para ello. El costo fue de \$1,246.69 pesos mexicanos (69.69 USD).

En comparación, Khachatryan y su equipo describen un soporte artesanal de 12.5 USD anclado a un escritorio fijo de 52 USD, lo que da una cifra total de 64.5 USD. Aunque es funcional, limita la distancia de trabajo, restringe el movimiento en el campo operatorio y requiere un espacio físico inamovible. Por lo tanto, se valoró la relación utilidad–disponibilidad–precio y se optó por un soporte profesional que facilitara la creación de un laboratorio portátil, desmontable y reproducible.

4. **Material e Instrumental.** Para la práctica de microcirugía se empleó un equipo básico de instrumental compuesto por: portaagujas tipo Castroviejo, pinza de joyero y tijera tipo Vannas.

En el mercado existen diversos equipos de instrumental microquirúrgico económico, que incluyen estos tres elementos en versiones compactas de aproximadamente 12 cm de longitud. Estos equipos suelen estar dirigidos a especialidades como oftalmología y otorrinolaringología, donde el campo quirúrgico es estrecho y el acceso es superficial. Si bien pueden ser útiles para iniciar el entrenamiento y familiarizarse con el microscopio, su uso prolongado puede resultar limitado en especialidades como cirugía plástica, donde la manipulación de modelos o estructuras profundas requiere mayor alcance y precisión.

En este proyecto se optó por utilizar instrumental de mayor longitud, de preferencia de entre 16 y 18 cm, ya que permite al operador trabajar a mayor distancia sin comprometer la estabilidad ni la ergonomía. Esta longitud es más adecuada para simular el entorno real de una cirugía reconstructiva, especialmente durante maniobras como la sutura en profundidad o el posicionamiento preciso del hilo en planos alejados del borde del campo visual.

El equipo utilizado en nuestro laboratorio estuvo conformado por un portaagujas tipo Castroviejo de 16 cm, una pinza de joyero, comúnmente empleada en reparación electrónica, seleccionada por su bajo costo

y capacidad funcional durante las primeras fases del entrenamiento; aunque su punta puede deformarse si se ejerce demasiada presión, ofrece una alternativa eficaz para prácticas repetitivas, y una tijera tipo Vannas de 12 cm, seleccionada por su precisión y disponibilidad. El costo total del instrumental fue de \$446 pesos mexicanos (26.15 USD), lo que lo convierte en una opción accesible y adecuada para la enseñanza en contextos de recursos limitados.

En etapas más avanzadas del entrenamiento, una vez que el operador ha dominado las técnicas microquirúrgicas básicas, se recomienda cambiar a instrumental de mayor precisión y calidad. Durante la implementación de este laboratorio identificamos diversas opciones disponibles de pinzas microquirúrgicas de 16 a 18 cm de longitud con puntas refinadas y acabado antideslizante. El costo promedio por unidad fue de aproximadamente \$500 pesos mexicanos, una inversión razonable para quienes han superado la fase inicial de familiarización y buscan mejorar la exactitud, sensibilidad táctil y control durante las prácticas más complejas.

5. **Suturas.** Uno de los principales retos en la implementación de un laboratorio de microcirugía es el elevado costo de las suturas, ya que una sola unidad puede costar entre \$1,200 y \$2,500 pesos mexicanos, lo que incrementa considerablemente el precio por práctica. Además, durante la fase de aprendizaje, es frecuente que se pierda, rompa o dañe la microsutura, lo que genera un consumo mayor de insumos proporcional a la falta de experiencia.

Actualmente se encuentran disponibles en el mercado suturas de la marca Ningbo Chenghe, las cuales ofrecen paquetes de 50 unidades de sutura nylon 10-0, doble armado y con una longitud de 30 cm, por un costo total de \$976.42 pesos mexicanos (56.38 USD). Si cada sutura se corta por la mitad se obtienen hebras de 15 cm de longitud, suficiente para realizar una práctica, lo que permite optimizar su uso durante el entrenamiento inicial. Con esta estrategia, el costo por práctica se reduce a \$9.76 pesos mexicanos por unidad (0.56 USD),

representando una disminución significativa en el gasto por sesión.

La principal ventaja de esta sutura es su bajo precio. Aunque el calibre 10-0 viene montado en una aguja de 1×5 mm, sus dimensiones son comparables a las de suturas 8-0 o 9-0 de otras marcas comerciales de mayor costo. En la misma tienda se encontró también disponible la sutura 12-0, con aguja de 0.6×4 mm y una longitud de 12 cm, con un precio de \$1,055 pesos mexicanos (60.95 USD), lo que equivale a \$21.1 pesos mexicanos por unidad (1.21 USD). Esta opción representa también una alternativa económica frente a marcas tradicionales, manteniendo una calidad aceptable para su uso en entrenamiento microquirúrgico. Cabe destacar que, por las dimensiones de aguja y hebra, esta sutura 12-0 resulta equivalente a un 10-0 de marcas comerciales reconocidas, lo que justifica su uso como sustituto viable en contextos de bajo costo.

6. **Modelos de práctica.** Se recomienda iniciar el entrenamiento microquirúrgico utilizando modelos sintéticos, los cuales presentan diversas ventajas en las etapas iniciales del aprendizaje. La principal de ellas es su bajo costo por práctica, lo que permite repetir los ejercicios con mayor frecuencia sin un impacto económico significativo. Además, estos modelos no implican el uso de tejido biológico, lo que elimina la necesidad de manejo especializado de residuos y evita el dilema ético asociado al uso de animales en prácticas experimentales. Si bien los modelos biológicos son considerados el estándar de oro (*Gold Standard*) en el entrenamiento microquirúrgico debido a que ofrecen una experiencia táctica y de manipulación más cercana a la realidad quirúrgica, su uso conlleva mayores costos, logística más compleja y responsabilidades institucionales asociadas al manejo de residuos biológicos y bienestar animal. Por ello, proponemos una secuencia progresiva de entrenamiento que inicia con modelos sintéticos accesibles y reproducibles, ideales para la adquisición de habilidades fundamentales como la manipulación instrumental, el manejo de sutura fina y la coordinación

mano-ojo bajo visión aumentada. Una vez consolidadas estas competencias básicas, se puede transitar con mayor seguridad y aprovechamiento hacia modelos biológicos no vivos, maximizando la efectividad del entrenamiento y minimizando los recursos comprometidos en etapas tempranas.

Simulación de neurorrafia con modelo sintético económico

Para la etapa inicial del entrenamiento, se diseñó un modelo sintético funcional, reproducible y de bajo costo, creado específicamente para practicar maniobras básicas de sutura y neurorrafia epineural. Fue elaborado con materiales fácilmente disponibles en el entorno hospitalario y comercial, con el objetivo de garantizar su accesibilidad y permitir su implementación en diversos contextos formativos. Su uso está orientado a facilitar la familiarización con el microscopio, la manipulación del instrumental microquirúrgico y la coordinación mano-ojo bajo visión aumentada.

Modelo 1. Este modelo constituye la alternativa más sencilla dentro de la propuesta y se recomienda como punto de partida para la primera práctica. Para su construcción se requiere un recipiente circular de aproximadamente 50 mm de diámetro y 10 mm de profundidad (como una tapa de garrafón), una liga elástica y un guante de exploración (*Figura 2*).

Los pasos para su armado son los siguientes:

1. Cortar la parte tubular que ajusta la manga del guante.
2. Retirar el excedente de látex hasta obtener un cilindro completo.
3. Colocar el cilindro sobre la tapa, aplicando una tensión moderada (evitando excesiva tensión, ya que, al cortar el guante, los bordes se retraen y dificultan la sutura).
4. Recortar el excedente de látex.
5. Fijar el cilindro de látex con la liga, simulando una estructura tubular estable sobre la que se pueden practicar anastomosis.
6. La porción distal del guante contiene látex residual que puede fraccionarse para simular una capa de epineuro, permitiendo colocar puntos de sutura periféricos y realizar maniobras básicas de neurorrafia.



Figura 2: Imagen que muestra el material utilizado para la creación del modelo 1.

Este modelo es particularmente útil para iniciar tanto la práctica de puntos simples como de neurorrafia (Figura 3). Al mantener una tensión moderada sobre el látex, se pueden trazar cortes en distintas direcciones para realizar puntos simples en diferentes planos, lo que permite al operador adaptarse progresivamente al manejo del instrumental bajo visión aumentada. Esta configuración brinda una retroalimentación táctil adecuada, ayudando a desarrollar sensibilidad sobre la cantidad de fuerza necesaria para tensar la sutura sin dañar el material, aspecto fundamental en la adquisición de una técnica precisa. Además, facilita la adaptación al enfoque tridimensional del microscopio, a la colocación del instrumental en distintos ángulos y a la dinámica real del campo quirúrgico.

Entre sus principales ventajas se encuentra su bajo costo, ser reutilizable y de utilidad para familiarizarse con la dinámica del microscopio. El tamaño simulado del vaso es de aproximadamente 1 mm, un calibre apropiado para el entrenamiento inicial en anastomosis.

Entre sus limitaciones destacan: no permite comprobar la permeabilidad de la anastomosis, ya que se trata de un tubo cerrado sin lumen y el látex puede comportarse como un trampolín:

si no se manipula correctamente la aguja o la sutura, esta puede rebotar y salirse del campo.

Se recomienda fijar el modelo a la mesa de trabajo con cinta adhesiva, permitiendo al operador ajustar el enfoque del microscopio y la distancia interpupilar, así como practicar la colocación del instrumental y la tracción de la sutura en distintos ángulos.

Dependiendo de la calidad y densidad del guante, la sutura puede presentar cierta resistencia. En estos casos, el uso de aguja espatulada facilita la penetración del látex, aunque puede aumentar el riesgo de ruptura de la estructura.

El costo estimado por práctica con este modelo es de \$13 pesos mexicanos (0.76 USD), incluyendo el uso de una sutura 10-0, lo que lo convierte en una opción altamente rentable para el entrenamiento temprano en microcirugía.

Simulación de anastomosis vascular con modelo sintético económico

Como se mencionó previamente, el modelo 1 no cuenta con un lumen funcional, lo que impide evaluar la permeabilidad al simular una anastomosis. Por esta razón, se desarrolló un segundo modelo que permite reproducir de manera más realista una anastomosis vascular,

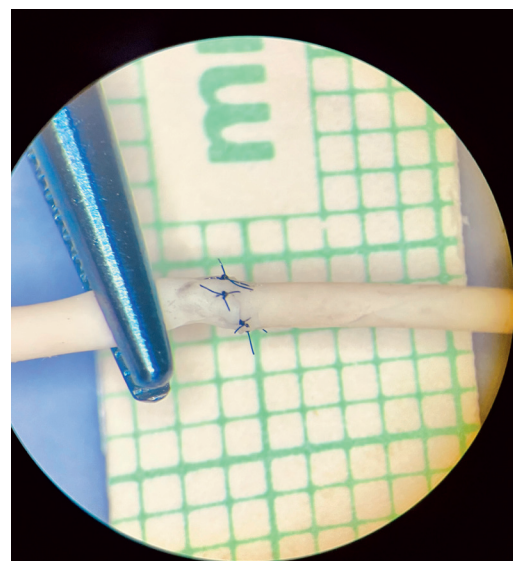


Figura 3: Coaptación término-terminal con modelo 1.

ofreciendo la posibilidad de verificar el paso de líquido a través del vaso, identificar fugas y valorar la calidad de la sutura en condiciones más cercanas al entorno quirúrgico real (Figura 4).

Modelo 2. Para la construcción de este modelo se requiere de una jeringa de 3 mL, una jeringa de 5 mL, dos Punzocat (de cualquier calibre, que permitan su inserción en el lumen), una sutura de seda 3-0 o 4-0, colorante o contraste líquido y el simulador de vaso sanguíneo descrito (Figura 5).

Los pasos para su armado son los siguientes:

1. Se fija el simulador vascular al Punzocat utilizando un nudo con la sutura de seda.
2. Se comprueba su permeabilidad mediante la inyección y aspiración de líquido teñido.
3. En modelos más pequeños (hasta 0.2 mm) se pueden utilizar agujas de insulina para facilitar el paso del líquido.
4. La comprobación óptima de permeabilidad se realiza aplicando presión desde la jeringa de 3 mL y aspiración con la de 5 mL, generando un flujo, sin exceder la presión tolerable del modelo.

Durante el desarrollo del modelo se evaluaron diversos materiales capaces de simular un vaso sanguíneo con lumen, incluyendo

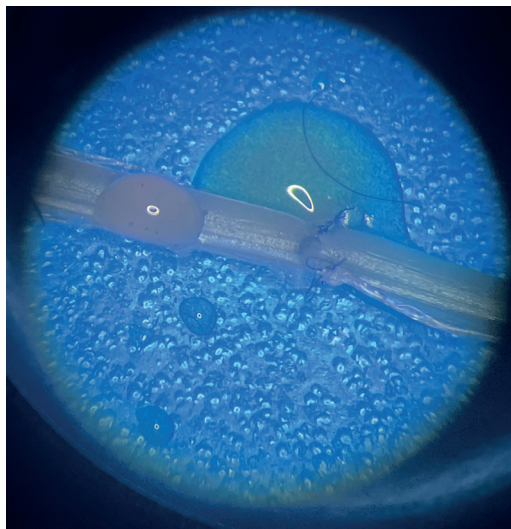


Figura 4: Imagen que muestra cómo el modelo 1 permite observar fugas en la anastomosis y si hay lesión en otro sitio por la manipulación.

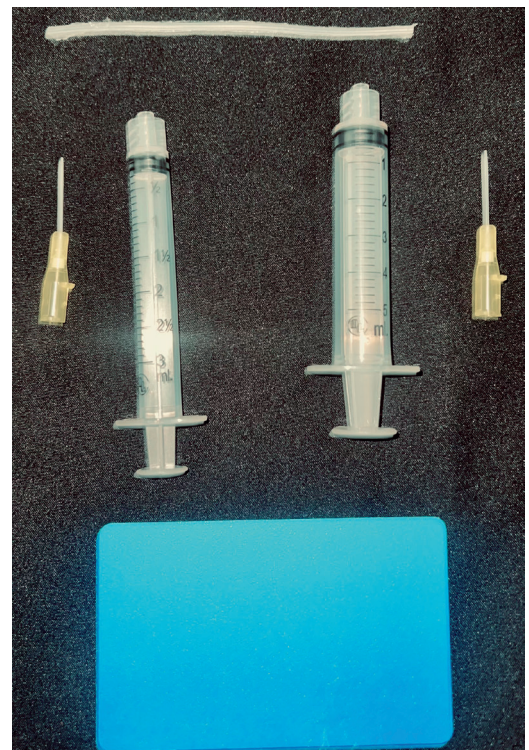


Figura 5: Se muestra el material utilizado en el modelo 2.

nylon, Desilastik®, tubos de silicón y tubos de politetrafluoroetileno (PTFE). Finalmente, se seleccionaron tres opciones funcionales, de las cuales dos correspondieron a tubos de silicón de grado alimenticio (uno transparente y otro rojo), ambos flexibles, suturables y con un costo promedio de \$50 pesos mexicanos (2-5 USD) por 50 cm de longitud, suficiente para múltiples prácticas.

No obstante, por su relación calidad-precio, se eligió como modelo principal un tubo de silicón de 1 mm de diámetro, recubierto por una capa externa que simula la adventicia. Esta estructura tiene una consistencia colapsable y una densidad similar a la de una arteria real, permitiendo una manipulación quirúrgica realista. Tiene un costo de \$309.87 pesos mexicanos (17.34 USD) por 26 cm de longitud, lo que permite construir aproximadamente tres modelos. Además, es reutilizable: una vez realizada una anastomosis, ésta puede ser recortada para realizar una nueva en otro segmento del tubo.

Se recomienda el uso de modelos transparentes cuando se desea observar el lumen y el

flujo de manera más precisa. Todos los modelos deben ser manipulados cuidadosamente para evitar fugas o deterioro prematuro.

Durante la ejecución de la anastomosis, se recomienda el uso de *clamps* quirúrgicos, los cuales proporcionan estabilidad, mejoran la alineación de los bordes vasculares y permiten una práctica más precisa. Con un manejo cuidadoso, un solo simulador puede ser utilizado en múltiples sesiones.

El costo final estimado del modelo completo es de \$338.87 pesos mexicanos (19.89 USD). Para este tipo de simulación se recomienda el uso de la sutura 12-0, previamente descrita, debido a su calibre y compatibilidad con estructuras finas.

RESULTADOS

El costo total para establecer el laboratorio de microcirugía, incluyendo el instrumental básico, fue de \$4,719.89 pesos mexicanos (aproximadamente 253.73 USD). El costo por práctica individual utilizando el modelo 1 fue de \$13 pesos mexicanos (0.76 USD), incluyendo el uso de una sutura calibre 10-0. Por otro lado, el costo por práctica con el modelo 2 fue de \$359.97 pesos mexicanos (21.1 USD), empleando sutura calibre 12-0.

Ambos modelos son reutilizables en múltiples sesiones, lo que permite reducir aún más los costos. En prácticas subsecuentes, el único gasto sería el de la sutura, con un costo de \$9.76 pesos mexicanos (0.56 USD) por unidad de 10-0 y \$21.1 pesos mexicanos (1.21 USD) por unidad de 12-0.

DISCUSIÓN

El entrenamiento en microcirugía es un componente esencial en la formación de residentes en cirugía plástica y reconstructiva y otras especialidades quirúrgicas como neurocirugía, oftalmología y cirugía de mano.^{1,5} Sin embargo, el acceso efectivo a laboratorios de microcirugía continúa siendo limitado en muchas instituciones, particularmente en aquellas con restricciones presupuestales o sin espacios físicos dedicados.³ Esta situación afecta de forma directa la curva de aprendizaje y la adquisición progresiva de habilidades microquirúrgicas que

requieren no sólo instrucción teórica, sino también repetición deliberada, retroalimentación visual y práctica en condiciones controladas.⁶

En este contexto, el laboratorio de microcirugía propuesto ofrece una alternativa de alto valor formativo, bajo costo, libre de experimentación animal y fácilmente implementable en espacios no convencionales. Se estructura bajo un enfoque pedagógico progresivo, el cual comienza con modelos sintéticos simples, continúa con simuladores tubulares de silicón y termina con ejercicios más avanzados como la anastomosis término-terminal. Esta progresión se alinea con propuestas educativas internacionales que recomiendan fases de entrenamiento en simuladores antes de utilizar modelos biológicos o animales.⁴

Una de las fortalezas centrales del modelo presentado es su sostenibilidad y ética. A diferencia del entrenamiento tradicional en rata viva (modelo considerado estándar en múltiples centros), la propuesta actual elimina por completo el uso de animales, con lo cual se reducen los costos logísticos y se evita comprometerse con dilemas bioéticos relacionados con el maltrato animal y la gestión de residuos biológicos.^{4,6} Además, permite que el residente practique de forma repetida, a su propio ritmo, sin requerir supervisión constante o instalaciones especializadas.

Desde un enfoque económico, el sistema tiene un costo por práctica significativamente inferior al de cualquier curso comercial o simulador certificado. Por ejemplo, con el modelo 1, la práctica de neurorrafia se realiza por un promedio de \$13 pesos mexicanos (0.76 USD) por sesión, incluyendo la sutura. Por otro lado, el modelo de anastomosis vascular con tubo de silicón, reutilizable y con capacidad de verificar la permeabilidad (modelo 2), tiene un costo total de \$338.87 pesos mexicanos (19.89 USD) por set, divisible en al menos tres prácticas. Esta relación costo-beneficio es altamente favorable comparada con modelos comerciales que superan los cientos de dólares por equipo desechable.⁷

En términos de validación estructural, el modelo de anastomosis vascular diseñado con tubo de silicón de 1 mm de diámetro y capa adventicia, simula de forma aceptable la resistencia, colapsabilidad y comportamiento

mecánico de una arteria periférica. Además, permite comprobar la permeabilidad post-anastomosis, utilizando un sistema sencillo de jeringas y colorante (Figura 6). Esto reproduce, de manera accesible, pruebas objetivas similares a las descritas en simuladores certificados de laboratorio.⁷

La bibliografía actual ha documentado múltiples modelos de bajo costo con propósitos similares. Chen y su equipo describen un modelo de entrenamiento en supermicrocirugía usando muslo de pollo como sustituto biológico para estructuras vasculares pequeñas.¹ Por otro lado, Shurey y su equipo y Khachatryan y su equipo han destacado la eficacia de simuladores sintéticos reutilizables en el desarrollo inicial de habilidades microquirúrgicas, incluso sin requerir validación en modelos vivos.^{4,5}

Este tipo de iniciativas también aporta valor a nivel institucional. Permite a los centros formadores estandarizar la enseñanza microquirúrgica sin depender de cursos privados ni empresas externas. Esto democratiza el acceso a una competencia clave del residente y fortalece la autonomía académica de los hospitales-escuela. Además, su portabilidad y montaje modular facilitan su uso incluso en hospitales sin infraestructura dedicada o en entornos rurales.⁷

Este laboratorio representa una herramienta viable, reproducible, ética y asequible para la enseñanza de microcirugía en programas de residencia. Su adopción progresiva puede ayudar a cerrar brechas formativas, reducir costos y aumentar la disponibilidad de espacios de entrenamiento en contextos con recursos limitados.

CONCLUSIÓN

Este proyecto representa una alternativa asequible, viable y replicable para cualquier sede académica, curso de formación en microcirugía o persona interesada en desarrollar habilidades básicas en este campo. La propuesta promueve el uso de modelos sintéticos sustentables, con responsabilidad ambiental y sin la necesidad de utilizar animales de laboratorio.

La implementación de este modelo permite a los residentes de programas donde no existe un laboratorio de microcirugía acceder a un entrenamiento técnico de calidad, facilitando el desarrollo de competencias fundamentales

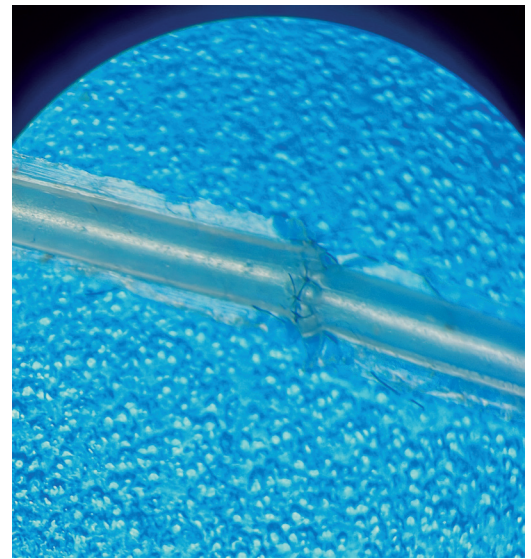


Figura 6: Anastomosis término-terminal con modelo 2.

en microanastomosis y técnica microquirúrgica bajo un enfoque económico y accesible.

REFERENCIAS

1. Chen WF, Eid A, Yamamoto T, Keith J, Nimmons GL, Lawrence WT. A novel super microsurgery training model: the chicken thigh. *J Plast Reconstr Surg* 2014; 67 (7): 973-978.
2. Shurey S, Vara S, Ahmed A. A Manual of Basic Microsurgical Techniques (1st ed.). CRC Press; 2023. <https://doi.org/10.1201/9781003413080>
3. Boyd JB, Jones N. Operative Microsurgery. New York: McGraw-Hill Education; 2014.
4. Khachatryan A, Tevosyan A, Novoselskiy D, Arakelyan G, Yushkevich A, Nazarian DN. Microsurgery manual for medical students and residents: a step-by-step approach. Cham: Springer; 2021.
5. 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.
6. Mohr CJ, Pontell ME. Simulation-based microsurgical training: a randomized controlled trial evaluating quality, efficiency, and retention. *J Surg Educ* 2017; 74 (5): 867-873.
7. American Society for Reconstructive Microsurgery (ASRM). Guidelines for Microsurgical Training. 2018.

Conflicto de intereses: los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Correspondencia:
Dr. Gabriel R. López-Arias
E-mail: gabo_pst@hotmail.com