

Octubre 2025

Cirugía Plástica: Fundamentos y Aplicaciones Clínicas

Editorial velseris



Vanessa Cecilia Cruz Jordan
Jair Geovany Ocampo Valencia
Carlos Alexander Romero Córdova
Vanessa Lissette Yanzaguano Morquecho
María Fernanda Sotalin Torres



Cirugía Plástica: Fundamentos y Aplicaciones Clínicas

Autores

Vanessa Cecilia Cruz Jordan

Médico Universidad Guayaquil
Cirujana Solca

Jair Geovany Ocampo Valencia

Médico Cirujano Universidad Regional Autónoma de los
Andes UNIANDES
Maestría en Gerencias de Instituciones de Salud UDLA
Médico General Ecografista Novaimagen

Carlos Alexander Romero Córdova

Médico Universidad Internacional del Ecuador
Postgrado Cirugía General Hospital Metropolitano UIDE

Vanessa Lissette Yanzaguano Morquecho

Médico Universidad Católica de Santiago de Guayaquil
Médico Hospital del Día Clínica Yanmor
Servicios Médicos Integrales Populares Durán

María Fernanda Sotalin Torres

Médico Cirujana Universidad de las Américas Quito,
Ecuador
Maestrante en Salud y Seguridad Ocupacional Universidad
Iberoamericana del Ecuador (UNIBE)
Investigadora Independiente.

ÍNDICE

Microcirugía Reconstructiva: Colgajos Libres y Anastomosis Vasculares.....	5
---	----------

Vanessa Cecilia Cruz Jordan

Tratamiento Quirúrgico de Quemaduras y Secuelas	23
--	-----------

Jair Geovany Ocampo Valencia

Reconstrucción Mamaria Postmastectomía	37
---	-----------

Carlos Alexander Romero Córdova

Cobertura de Defectos Complejos en Extremidades	53
--	-----------

Vanessa Lisette Yanzaguano Morquecho

Biomateriales y Suturas: Ciencia e Innovación.....	67
---	-----------

María Fernanda Sotalin Torres

Microcirugía Reconstructiva: Colgajos Libres y Anastomosis Vasculares

Vanessa Cecilia Cruz Jordan

Introducción

La microcirugía reconstructiva representa uno de los avances más significativos en la cirugía plástica y reconstructiva del último medio siglo. Esta disciplina, que emplea técnicas de magnificación óptica para manipular estructuras anatómicas diminutas, ha revolucionado el abordaje de defectos complejos en todo el cuerpo. Su desarrollo ha permitido la transferencia de tejidos vascularizados (colgajos libres) de una parte del cuerpo a otra con el fin de restaurar la forma y la función perdidas a causa de traumatismos, resecciones oncológicas, infecciones o anomalías congénitas. El pilar fundamental de esta técnica es la anastomosis vascular, la meticulosa sutura de arterias y venas de pequeño calibre, generalmente de 1 a 3 milímetros de diámetro, que asegura la supervivencia del tejido trasplantado.

Más allá del desafío técnico, este avance representa un cambio de paradigma filosófico en la cirugía. El objetivo ya no es meramente la cobertura del defecto –es decir, "tapar el hueco" con cualquier tejido disponible– sino la reconstrucción de "lo similar por lo similar" (like-for-like reconstruction).

La microcirugía dota al cirujano de la capacidad de reemplazar el tejido perdido (sea hueso, músculo, piel, o una combinación de ellos) con un tejido de características idénticas o muy parecidas, tomado de una parte distante del cuerpo. Esta restauración anatómica precisa, que respeta la composición tisular original, es el pilar conceptual sobre el que se construye la aspiración a una verdadera restauración funcional.

Este capítulo ofrece una visión integral y actualizada de los principios y prácticas de la microcirugía reconstructiva,

con un enfoque particular en la selección, el diseño y la transferencia de colgajos libres, así como en las técnicas de anastomosis vascular. Se abordarán las indicaciones, la planificación preoperatoria, los detalles de la técnica quirúrgica, el manejo postoperatorio y las complicaciones asociadas, proporcionando al lector las herramientas conceptuales necesarias para comprender la complejidad y el potencial de esta fascinante subespecialidad quirúrgica. La información aquí presentada se basa en la evidencia más reciente, reflejando los avances y el estado del arte que definen la práctica microquirúrgica contemporánea.

Principios Fundamentales de la Microcirugía

La microcirugía no es simplemente una cirugía realizada bajo un microscopio; es una disciplina que exige un conjunto de habilidades psicomotoras finas, un conocimiento profundo de la microanatomía y un juicio quirúrgico impecable. Los principios básicos que sustentan el éxito en este campo son:

- 1. Magnificación y Visualización:** El uso del microscopio quirúrgico es indispensable. Proporciona una magnificación que típicamente varía de 5x a 40x, junto con una iluminación coaxial, lo que permite una visualización detallada de los vasos sanguíneos, nervios y otras estructuras finas. Esta visualización mejorada es crucial para una manipulación precisa y una coaptación exacta de los tejidos.
- 2. Instrumental Especializado:** La microcirugía requiere un instrumental delicado y de alta precisión. Pinzas de microcirugía (tipo joyero), porta-agujas, tijeras y clamps vasculares están diseñados para minimizar el trauma tisular y vascular. Las suturas utilizadas son extremadamente finas, generalmente de calibres 8-0 a 11-0, con agujas atraumáticas que permiten el paso a través de las paredes vasculares con un daño mínimo.

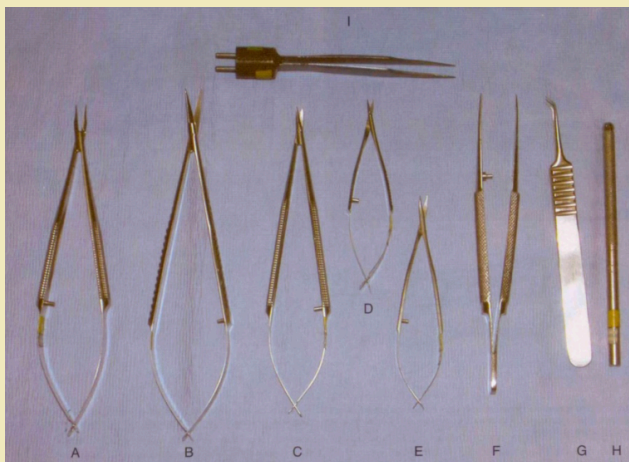


Figura 1. Instrumental Específico para Microcirugía. La imagen muestra el diseño delicado de las herramientas, destacando el porta-agujas (A) y las microtijeras (C), que carecen de anillos para permitir una rotación precisa con los dedos. Se incluye también una pinza bipolar (I), fundamental para la hemostasia atraumática de vasos de pequeño calibre. **Fuente:** Urologos Málaga, 2025.

3. **Técnica Quirúrgica Atraumática:** El manejo de los tejidos, especialmente de los vasos sanguíneos, debe ser exquisitamente gentil. Cualquier daño en el endotelio vascular puede desencadenar una cascada de coagulación que conduce a la trombosis de la anastomosis, la causa más común de fracaso del colgajo libre. Se debe evitar la deshidratación de los tejidos, la tensión excesiva en las líneas de sutura y la manipulación brusca.
4. **Hemostasia Meticulosa:** El campo quirúrgico debe mantenerse limpio de sangre para permitir una visualización clara de las estructuras vitales. La hemostasia se logra mediante el uso de coagulación bipolar a baja potencia, que permite controlar el sangrado de pequeños vasos sin generar un daño térmico significativo a las estructuras adyacentes.
5. **Paciencia y Ergonomía:** El microcirujano debe trabajar en una posición cómoda y ergonómica para minimizar la fatiga y el temblor. Los procedimientos pueden ser largos y exigentes, requiriendo una concentración

sostenida y una ejecución paciente y metódica de cada paso.

El dominio de estos principios es la base sobre la cual se construyen los procedimientos reconstructivos complejos. La curva de aprendizaje es larga y requiere una práctica deliberada y continua, comenzando en modelos de laboratorio antes de la aplicación clínica (1).

Colgajos Libres: Clasificación y Selección

Un colgajo libre es una unidad de tejido compuesto (piel, grasa, fascia, músculo, hueso, o una combinación de estos) que es separado completamente de su sitio donante original, a excepción de su arteria y vena nutricias (el pedículo vascular). Este pedículo se secciona para luego ser reconectado a los vasos receptores en la zona del defecto, restaurando así la circulación y asegurando la viabilidad del tejido transferido. La elección del colgajo ideal depende de una evaluación cuidadosa de las características del defecto, las necesidades del paciente y las zonas donantes disponibles.

Clasificación de los Colgajos Libres

Los colgajos libres se pueden clasificar según su composición tisular:

- **Colgajos Cutáneos y Fasciocutáneos:** Compuestos por piel, tejido subcutáneo y la fascia subyacente. Se basan en vasos perforantes que atraviesan la fascia para irrigar la piel. Son ideales para la cobertura de defectos superficiales que requieren un tejido fino y plegable. Ejemplos incluyen el colgajo de la arteria perforante de la circunfleja ilíaca superficial (SCIP) y el colgajo de la arteria perforante anterolateral del muslo (ALT).
- **Colgajos Musculares y Musculocutáneos:** Incluyen un músculo o un segmento de este, con o sin la piel suprayacente. El músculo proporciona un excelente volumen para rellenar cavidades tridimensionales y una vascularización robusta que ayuda a combatir la infección. Ejemplos comunes son el colgajo del

músculo dorsal ancho y el colgajo del músculo recto abdominal.

- **Colgajos Óseos y Osteocutáneos:** Contienen un segmento de hueso vascularizado, con o sin una isla de piel asociada. Son esenciales para la reconstrucción de defectos óseos segmentarios, como en la mandíbula o los huesos largos de las extremidades. El colgajo de peroné es el más utilizado para este fin debido a su longitud, su pedículo vascular fiable y la morbilidad limitada de la zona donante.
- **Colgajos Complejos o Quiméricos:** Incorporan múltiples tipos de tejidos (por ejemplo, hueso, músculo y piel) en un solo pedículo vascular. Permiten la reconstrucción de defectos complejos y tridimensionales con un solo colgajo, como los que se encuentran en la reconstrucción de cabeza y cuello (2).

La era moderna de los colgajos libres se centra en los colgajos de perforantes. Estos colgajos se basan en la disección de los pequeños vasos (perforantes) que irrigan la piel, preservando el músculo y la fascia subyacentes. Esta técnica minimiza significativamente la morbilidad de la zona donante, reduce el dolor postoperatorio y acelera la recuperación del paciente (3).

Selección del Colgajo

La selección del colgajo adecuado es un proceso multifactorial.

1. **Análisis del Defecto:** Se debe evaluar el tamaño, la profundidad, la localización y la composición tisular del defecto. ¿Se necesita cobertura cutánea, relleno de volumen, soporte estructural óseo o una combinación? ¿Cuál es la calidad de los tejidos circundantes y el lecho receptor?
2. **Evaluación de la Zona Receptora:** Es crucial identificar los vasos receptores adecuados en las proximidades del defecto. Se debe confirmar su permeabilidad y calibre mediante exploración clínica (Doppler) o

estudios de imagen como la angiografía por tomografía computarizada (Angio-TC).

- 3. **Evaluación de la Zona Donante:** Se debe considerar la morbilidad potencial del sitio donante. La elección debe equilibrar la calidad del tejido proporcionado con el impacto funcional y estético de su extracción. Se realiza una evaluación clínica y, a menudo, de imagen (Angio-TC) para mapear la anatomía vascular de la zona donante y planificar la disección.
- 4. **Estado General del Paciente:** Las comorbilidades del paciente, como la diabetes, la enfermedad vascular periférica o el tabaquismo, pueden influir en la selección del colgajo y aumentar el riesgo de complicaciones (4).

La siguiente tabla resume algunos de los colgajos libres más utilizados y sus aplicaciones clínicas principales.

Tabla 1. Colgajos Libres Comunes y sus Aplicaciones Clínicas

Tipo de Colgajo	Composición Tisular	Pedículo Vascular Principal	Aplicaciones Clínicas Comunes
Colgajo ALT (Anterolateral Thigh)	Fasciocutáneo	Rama descendente de la arteria circunfleja femoral lateral	Reconstrucción de cabeza y cuello, extremidades, tronco. Muy versátil.
Colgajo de Peroné	Osteocutáneo	Arteria peronea	Reconstrucción mandibular, defectos óseos segmentarios de huesos largos.
Colgajo de Dorsal Ancho	Muscular o Musculocutáneo	Arteria toracodorsal	Reconstrucción mamaria, cobertura de grandes defectos en tronco y extremidades.

Colgajo SCIP (Superficial Circumflex Iliac Artery Perforator)	Cutáneo/ Fasciocutáneo	Arteria circunfleja iliaca superficial	Reconstrucción de cabeza y cuello, extremidades distales (mano, pie). Tejido fino.
Colgajo de Recto Abdominal (TRAM/DIEP)	Musculocutáneo o de Perforantes	Arteria epigástrica inferior profunda	Reconstrucción mamaria autóloga.
Colgajo Radial de Antebrazo	Fasciocutáneo	Arteria radial	Reconstrucción intraoral, faríngea, peneana. Colgajo fino y fiable.

Fuente: Elaborado por el autor con base en la literatura actual (5, 6).

Técnica Quirúrgica de la Transferencia de Colgajos Libres

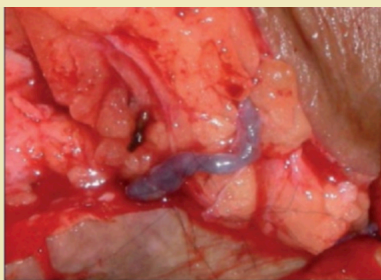
La transferencia de un colgajo libre es un procedimiento que se desarrolla en varias fases coordinadas, a menudo involucrando a dos equipos quirúrgicos que trabajan simultáneamente.



A. Cicatriz inestable patelar. Diseño de colgajo en hélice basado perforares del eje genicular descendente



B. Elevación del colgajo



C. Anastomosis entre vena tributaria de la safena magna (derecha) y vena genicular lateral inferior



D. Resultado a los 4 de la intervención

Figura 2. Etapas clave en la transferencia de un colgajo libre para la cobertura de una cicatriz patelar. (A) Diseño del colgajo. (B) Elevación del tejido. (C) Detalle de la anastomosis microvascular. (D) Resultado funcional y estético a los 4 meses. **Fuente:** Fernández García, A., et al. (2012).

Fase 1: Planificación Preoperatoria

Una planificación meticulosa es la piedra angular del éxito. Esto incluye el mapeo de los vasos perforantes mediante Doppler portátil o Angio-TC, el diseño preciso de la paleta cutánea del colgajo y la selección de los vasos receptores. Se debe tener un plan de respaldo en caso de que la anatomía vascular sea anómala o los vasos receptores no sean adecuados.

Fase 2: Preparación del Sitio Receptor

Un equipo quirúrgico prepara el área del defecto. Esto implica el desbridamiento de todo el tejido no viable, la preparación de los vasos receptores (arteria y vena) bajo magnificación y la confirmación de un flujo sanguíneo adecuado. Los vasos receptores se disecan en una longitud suficiente para permitir una anastomosis sin tensión.

Fase 3: Elevación del Colgajo

Simultáneamente, el segundo equipo quirúrgico eleva el colgajo del sitio donante. La disección se realiza de forma subfascial o suprafascial, dependiendo del tipo de colgajo. La parte más crítica es la disección del pedículo vascular. Se debe tener un cuidado extremo para no dañar la arteria, las venas comitantes o los vasos perforantes. Una vez que el colgajo está completamente disecado y solo unido por su pedículo, se evalúa su perfusión antes de dividirlo.

Fase 4: Transferencia y Revascularización (Anastomosis)

Una vez que el sitio receptor está listo, se secciona el pedículo vascular del colgajo y este se transfiere al defecto. El tiempo de isquemia –el período durante el cual el colgajo está desprovisto de flujo sanguíneo– comienza al seccionar el pedículo vascular y finaliza tras completar la anastomosis y la reperfusión. Minimizar este intervalo es un objetivo crítico. La tolerancia a la isquemia varía según la composición del colgajo, debido a las diferentes demandas metabólicas de cada tejido:

- **Colgajos Musculares:** Poseen la tasa metabólica más alta y, por ende, la menor tolerancia. Un tiempo de

isquemia a temperatura ambiente superior a **3-4 horas** aumenta el riesgo de necrosis y fracaso del colgajo.

- **Colgajos Fasciocutáneos:** Compuestos por piel, grasa y fascia, su demanda metabólica es menor. Toleran períodos de isquemia más largos, generalmente de hasta 6-8 horas.
- **Colgajos Óseos:** El tejido óseo es relativamente resistente a la isquemia. Se consideran seguros tiempos de hasta 6-10 horas, aunque el componente cutáneo del colgajo, si lo tuviera, es más sensible.

El paso crucial es la anastomosis microvascular. Se realiza la sutura de la arteria del colgajo a la arteria receptora y de la vena del colgajo a la vena receptora. Esta técnica se detalla en la siguiente sección. Una vez completada la anastomosis, se liberan los clamps vasculares y se observa la reperfusión del colgajo, que debe recuperar su color y turgencia, y mostrar sangrado capilar.

Fase 5: Inserción del Colgajo y Cierre

Tras confirmar la viabilidad del colgajo, este se inseta y sutura en el defecto, adaptándolo a los contornos tridimensionales. Se debe evitar cualquier tipo de compresión o torsión del pedículo vascular. Se colocan drenajes según sea necesario y se cierran las heridas de los sitios donante y receptor.

Anastomosis Vasculares: Técnicas y Consideraciones

La anastomosis vascular es el corazón de la transferencia de colgajos libres. El éxito o fracaso de toda la operación depende de la permeabilidad de estas delicadas conexiones.

Principios de la Anastomosis Microvascular

- **Coaptación Íntima:** El objetivo es lograr una aposición precisa de la íntima (la capa más interna) de los dos extremos del vaso, sin eversión ni inversión de los bordes.

- **Mínima Tensión:** La línea de sutura no debe estar bajo tensión, ya que esto puede llevar a la estenosis o al desgarro del vaso.
- **Visualización Adecuada:** Una exposición clara de los extremos del vaso, libre de tejido adventicio y sangre, es fundamental.
- **Irrigación con Heparina:** Los lúmenes de los vasos se irrigan con una solución de heparina para prevenir la formación de trombos.

Técnica de Anastomosis Terminoterminal

La técnica más común es la anastomosis terminoterminal, que une los dos extremos seccionados de un vaso. Los pasos clave son:

1. **Preparación de los Extremos del Vaso:** Se reseca cualquier porción dañada del vaso y se retira suavemente la adventicia (la capa más externa) para evitar que se interponga en la luz del vaso durante la sutura.
2. **Aproximación:** Se utiliza un clamp de aproximación doble para mantener los dos extremos del vaso juntos sin tensión y con la orientación correcta.
3. **Colocación de Suturas:** Típicamente, se colocan dos suturas de anclaje iniciales a 180° o 120° una de la otra. Esto divide la circunferencia del vaso en dos o tres segmentos.
4. **Sutura de la Pared Anterior:** Se sutura la pared anterior del vaso con puntos separados, asegurándose de que cada punto pase a través de todas las capas de la pared vascular y que la distancia entre los puntos sea uniforme.
5. **Rotación del Clamp:** Se rota el clamp 180° para exponer la pared posterior.
6. **Sutura de la Pared Posterior:** Se completa la anastomosis suturando la pared posterior. El número total de suturas varía según el diámetro del vaso, pero

generalmente oscila entre 6 y 12 para vasos de 1 a 3 mm.

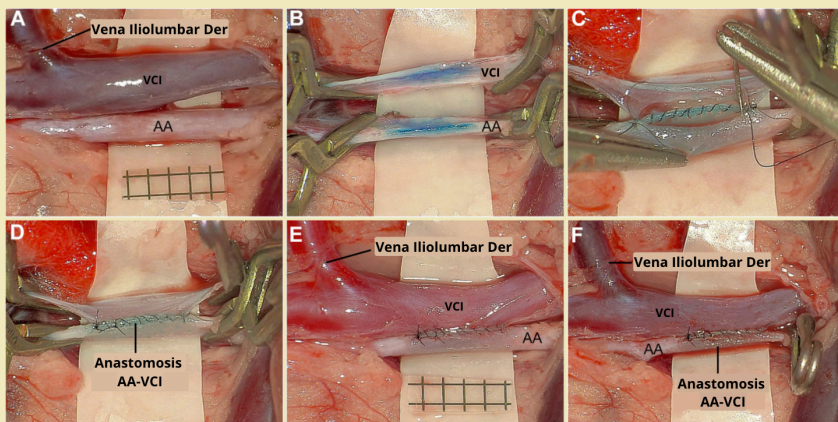


Figura 3. Secuencia de una Anastomosis Microvascular Terminoterminal. (A) Identificación de los vasos. (B) Clampeo (aislamiento) y preparación de los extremos vasculares. (C) Realización de la sutura microquirúrgica. (D) Anastomosis completada antes de la reperfusión. (E, F) Reperfusión de los vasos tras soltar los clamps, demostrando la permeabilidad de la sutura. **Fuente:** Xiao Z, Wang J, et al. *World Neurosurg.* 2025;195:123726.

Anastomosis T-L (Termino-Lateral)

En algunas situaciones, especialmente cuando se necesita preservar el flujo distal en la arteria receptora, se realiza una anastomosis termino-lateral. En esta técnica, el extremo del vaso del colgajo se sutura a una apertura (arteriotomía o venotomía) creada en el lado de un vaso receptor. Esta técnica es más demandante y requiere una visualización excelente para evitar suturar la pared posterior del vaso receptor (7).

El uso de acopladores vasculares (anillos de polietileno) es una alternativa a la sutura manual para la anastomosis venosa. Estos dispositivos pueden reducir significativamente el tiempo de anastomosis y han demostrado tasas de permeabilidad comparables a las de la sutura manual en venas de calibre adecuado (8).

Manejo Postoperatorio y Monitorización del Colgajo

El período postoperatorio inmediato es crítico. Una monitorización rigurosa del colgajo es esencial para detectar cualquier signo de compromiso vascular de manera temprana, ya que la intervención oportuna puede salvar un colgajo en peligro.

Monitorización del Colgajo

La evaluación clínica sigue siendo el estándar de oro para la monitorización de colgajos. Los parámetros a observar incluyen:

- **Color:** Un colgajo bien perfundido tiene un color rosado similar al de la piel circundante. La palidez sugiere un problema de flujo arterial, mientras que una coloración violácea o cianótica indica congestión venosa.
- **Temperatura:** El colgajo debe estar tibio al tacto. Un colgajo frío es un signo ominoso de insuficiencia arterial.
- **Turgencia:** El tejido debe tener una turgencia normal. Un colgajo flácido puede indicar falta de flujo arterial, mientras que uno tenso y edematoso sugiere obstrucción venosa.
- **Relleno Capilar:** Debe ser rápido (1-2 segundos). Un relleno capilar lento o ausente indica un problema arterial; un relleno capilar muy rápido y oscuro (violáceo) es característico de la congestión venosa.

Además de la evaluación clínica, se utilizan tecnologías adyuvantes para una monitorización más objetiva.

Tabla 2. Métodos de Monitorización de Colgajos Libres

Método	Principio	Ventajas	Desventajas
Doppler de Ultrasonido Portátil	Detección del flujo sanguíneo en el pedículo vascular	No invasivo, fácil de usar, proporciona retroalimentación auditiva inmediata	Dependiente del operador, puede ser difícil de localizar el pedículo, cualitativo
Doppler Implantable	Una sonda se coloca alrededor de la arteria o vena para una monitorización continua	Continuo, objetivo, detección temprana de la pérdida de señal	Invasivo (requiere retirada), riesgo de infección o erosión, caro
Espectroscopia de Infrarrojo Cercano (NIRS)	Mide la saturación de oxígeno tisular (StO ₂)	No invasivo, continuo, cuantitativo, detecta tanto compromiso arterial como venoso	Requiere una sonda en contacto con el colgajo, caro, puede verse afectado por la pigmentación de la piel
Termografía por Infrarrojos	Mide la temperatura de la superficie del colgajo	No invasivo, sin contacto, proporciona un "mapa" térmico del colgajo	Sensible a la temperatura ambiente, no detecta problemas venosos incipientes
Microdiálisis	Mide marcadores metabólicos de isquemia (glucosa, lactato, glicerol) en el líquido intersticial	Alta sensibilidad para detectar isquemia tisular	Invasivo, resultados no inmediatos, complejo de interpretar

Fuente: Adaptado de Salgado, C. J., & Mardini, S. (2017). *Flap and Reconstructive Surgery* (9) y Chen, Y. C., et al. (2021) (10).

Cuidados Generales Postoperatorios

El manejo del paciente incluye la optimización hemodinámica (mantener una presión arterial y un gasto cardíaco adecuados), un control adecuado del dolor, la prevención del tromboembolismo y una nutrición óptima. Se debe evitar la hipotermia y la vasoconstricción. El uso de anticoagulación sistémica (como heparina) o antiagregantes plaquetarios (como aspirina) es controvertido y varía según

el protocolo de cada institución, aunque la aspirina a dosis bajas es utilizada de forma rutinaria por muchos centros (11).

Complicaciones y Resultados

A pesar de los avances en la técnica y los cuidados perioperatorios, la transferencia de colgajos libres no está exenta de riesgos. Las complicaciones pueden estar relacionadas con el colgajo, el sitio donante o el estado sistémico del paciente.

Complicaciones del Colgajo

La complicación más temida es el fracaso del colgajo, que ocurre en aproximadamente el 2-5% de los casos en centros experimentados (12). La causa más común es la trombosis vascular, ya sea arterial o, más frecuentemente, venosa. La detección temprana del compromiso vascular y la reexploración quirúrgica inmediata son cruciales. Durante la reexploración, se revisa la anastomosis en busca de trombos o problemas técnicos. La tasa de salvamento de colgajos tras una reexploración exitosa puede superar el 50-80% (13).

Otras complicaciones incluyen:

- **Hematoma:** Una acumulación de sangre alrededor del pedículo puede comprimirlo y comprometer el flujo.
- **Infección:** Puede afectar tanto al colgajo como al sitio receptor.
- **Necrosis parcial del colgajo:** Generalmente ocurre en los bordes más distales del colgajo y suele manejarse de forma conservadora.

Complicaciones del Sitio Donante

Incluyen seroma, hematoma, infección, dehiscencia de la herida, dolor crónico y déficits funcionales o estéticos específicos del colgajo extraído (por ejemplo, debilidad en la flexión del pie tras la extracción de un colgajo de peroné).

La técnica de colgajos de perforantes ha reducido notablemente la morbilidad del sitio donante.

Resultados

El éxito en microcirugía reconstructiva no se mide únicamente por la supervivencia del colgajo. Los resultados funcionales y estéticos son de suma importancia. Un colgajo exitoso debe restaurar la función perdida (por ejemplo, la capacidad de caminar después de cubrir una fractura expuesta de tibia) y proporcionar un contorno estéticamente aceptable. La evaluación de los resultados a largo plazo, incluyendo la satisfacción del paciente, es un componente esencial de la práctica microquirúrgica moderna (14).

Conclusión

La microcirugía reconstructiva mediante colgajos libres y anastomosis vasculares es una herramienta poderosa y versátil para el tratamiento de defectos complejos. Su éxito se basa en una combinación de planificación meticulosa, técnica quirúrgica precisa, cuidados postoperatorios vigilantes y un profundo conocimiento de la anatomía y la fisiología. La evolución continua de las técnicas, especialmente el refinamiento de los colgajos de perforantes, ha permitido a los cirujanos reconstructivos lograr resultados cada vez mejores, minimizando al mismo tiempo el impacto en los pacientes. A medida que la tecnología y nuestra comprensión de la fisiología de los colgajos sigan avanzando, las fronteras de lo que se puede reconstruir continuarán expandiéndose, ofreciendo nuevas esperanzas a pacientes con problemas que antes se consideraban irresolubles.

Nuevas Fronteras y el Futuro de la Reconstrucción

Las fronteras que continúan expandiéndose se definen actualmente en tres áreas principales. La primera es el auge de la supermicrocirugía, una disciplina que lleva los principios microquirúrgicos al límite, enfocándose en la anastomosis de vasos submilimétricos (de 0.3 a 0.8 mm). Esta técnica ha revolucionado el tratamiento de

condiciones previamente intratables, como el linfedema, permitiendo la creación de anastomosis linfático-venosas (LVA) para restaurar el drenaje fisiológico.

En segundo lugar, la microcirugía es la tecnología habilitante del campo más avanzado de la especialidad: el Alotrasplante de Tejidos Compuestos (VCA). Los trasplantes de cara, mano y extremidades son una realidad clínica que depende enteramente de las anastomosis vasculares microquirúrgicas para conectar el tejido del donante al receptor, representando la máxima expresión de la reconstrucción funcional y anatómica.

Finalmente, la investigación se centra en la perfusión *ex vivo* y la bioingeniería de colgajos. El desarrollo de tecnologías que permiten mantener un colgajo viable y perfundido fuera del cuerpo facilitará la planificación quirúrgica, el "pre-condicionamiento" del tejido para mejorar su tolerancia a la isquemia e, incluso, la modulación biológica del colgajo antes de su transferencia.

Bibliografía

1. Maltz, M., & Mathes, D. W. (2022). Microsurgery Training and Education. *Clinics in Plastic Surgery*, 49(4), 485–493.
2. Paro, J. A., & Lee, A. S. (2021). Chimeric Free Flaps in Head and Neck Reconstruction. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 54(4), 675–685.
3. Saint-Cyr, M., & Wong, C. (2020). Perforator Flaps: A Modern Surgical Approach to Reconstruction. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 145(5), 875e–890e.
4. Nelson, J. A., & Fischer, J. P. (2021). Risk Factors for Free Flap Failure: A Systematic Review of the Literature. *Journal of Reconstructive Microsurgery*, 37(1), 89–98.
5. Serra-Renom, J. M., & Sisco, M. (2023). The SCIP Flap: A Modern Option for Thin and Pliable Soft Tissue

- Reconstruction. *Annals of Plastic Surgery*, 90(6), S555–S561.
6. Garvey, P. B., & Selber, J. C. (2022). Autologous Breast Reconstruction: State of the Art. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 150(3), 513e–527e.
 7. Chung, K. C., & Lee, J. (2020). Mastering Microvascular Anastomosis: Tips and Tricks. *Plastic and Reconstructive Surgery - Global Open*, 8(9), e3084.
 8. Saleh, D. B., & Rozen, W. M. (2021). The Use of Microvascular Coupling Devices in Free Flap Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 74(1), 1–10.
 9. Salgado, C. J., & Mardini, S. (2017). *Flap and Reconstructive Surgery*. Thieme Medical Publishers.
 10. Chen, Y. C., Lin, T. S., & Lee, J. W. (2021). Near-Infrared Spectroscopy for Postoperative Monitoring of Free Flaps: A Systematic Review. *Microsurgery*, 41(2), 195–204.
 11. Shaterian, A., & brav, E. (2022). Postoperative Anticoagulation in Microsurgery: A National Survey of Current Practices. *Journal of Reconstructive Microsurgery*, 38(2), 159–166.
 12. Mir, H. A., & Rozen, W. M. (2023). Free Flap Failure: An Updated Perspective on Causes and Prevention. *Archives of Plastic Surgery*, 50(1), 1–9.
 13. Chang, E. I., & Han, K. (2021). Salvage of a Failing Free Flap: A Systematic Approach. *Clinics in Plastic Surgery*, 48(2), 227–235.
 14. Craggs, B. L., & Macfarlane, R. J. (2022). Patient-Reported Outcome Measures (PROMs) in Reconstructive Microsurgery: A Systematic Review.

Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery,
75(10), 3747–3758.

Tratamiento Quirúrgico de Quemaduras y Secuelas

Jair Geovany Ocampo Valencia

Introducción

Las quemaduras representan una de las agresiones más severas para el organismo, desencadenando una respuesta inflamatoria sistémica y dejando secuelas funcionales y estéticas devastadoras. El tratamiento de estos pacientes es un desafío multidisciplinario en el que la intervención quirúrgica juega un papel central y evolutivo. El abordaje quirúrgico no se limita a un único momento, sino que abarca un espectro continuo que se inicia en la fase aguda, con procedimientos de emergencia para salvar la vida y la extremidad, y se extiende hasta la fase crónica, con complejas reconstrucciones destinadas a restaurar la forma y la función.

Históricamente, el manejo de las quemaduras graves se basaba en la cicatrización por segunda intención, una aproximación pasiva asociada a altas tasas de mortalidad por sepsis, contracturas invalidantes y una prolongada estancia hospitalaria. El cambio de paradigma hacia la escisión e injerto precoz, popularizado a partir de las últimas décadas del siglo XX, revolucionó el pronóstico de estos pacientes, disminuyendo la mortalidad, la incidencia de infecciones y la respuesta hipermetabólica. Hoy, este principio sigue siendo la piedra angular del tratamiento quirúrgico agudo.

Este cambio conceptual es, de hecho, uno de los más significativos en la historia de la cirugía plástica. El manejo de la quemadura grave transitó de ser un "manejo pasivo de la herida" –basado en la hidroterapia y la espera de la cicatrización por segunda intención – a una "intervención quirúrgica proactiva y metabólica".

Al entender que la escara necrótica no es solo tejido muerto, sino un potente motor de inflamación sistémica, sepsis y respuesta hipermetabólica, su escisión e injerto precoz se convirtió en una medida de resucitación, tan crítica como el manejo de fluidos. Este capítulo aborda la quemadura no como una simple herida, sino como una enfermedad sistémica con manifestaciones cutáneas, cuyo tratamiento es un pilar de la medicina crítica quirúrgica.

El objetivo de este capítulo es proporcionar una visión actualizada y detallada del manejo quirúrgico de las quemaduras y sus secuelas, basada en la evidencia de los últimos cinco años. Se abordarán desde las intervenciones de urgencia, como la escarotomía y la fasciotomía, hasta las técnicas de cobertura cutánea en la fase aguda y los procedimientos reconstructivos para tratar las cicatrices patológicas, las contracturas y otras deformidades en la fase crónica. Se busca ofrecer al lector una guía estructurada que integre los principios fisiopatológicos con las indicaciones, técnicas y avances más recientes en la cirugía plástica y reconstructiva del paciente quemado.

Manejo Quirúrgico en la Fase Aguda

La prioridad en la fase inicial del paciente gran quemado es la estabilización hemodinámica y el soporte vital. Una vez superada esta etapa crítica, el tratamiento quirúrgico se centra en dos objetivos fundamentales: la preservación de la viabilidad tisular en extremidades comprometidas y la eliminación del tejido necrótico para prevenir la infección y facilitar una cobertura cutánea temprana y definitiva.

Descompresión Quirúrgica: Escarotomía y Fasciotomía

Las quemaduras circunferenciales de tercer grado en extremidades o en el tórax actúan como un torniquete, restringiendo la circulación y la ventilación, respectivamente. La escara de la quemadura es inelástica y, a medida que el edema masivo se desarrolla en los tejidos blandos subyacentes durante la reanimación con fluidos, la presión tisular aumenta drásticamente. Este fenómeno

puede conducir a un síndrome compartimental, con isquemia muscular y nerviosa que, si no se trata, resulta en la pérdida de la extremidad. A nivel torácico, puede causar una restricción severa de la excursión respiratoria, llevando a insuficiencia ventilatoria.

1. Indicaciones y Diagnóstico: La indicación para una escarotomía o fasciotomía se basa en la evaluación clínica seriada. Los signos y síntomas de compromiso vascular inminente incluyen:

- Parestesias o dolor desproporcionado a la lesión.
- Ausencia de pulso distal mediante palpación o Doppler.
- Llenado capilar lento o ausente.
- Palidez y frialdad de la extremidad.
- Medición de presiones compartimentales superiores a 30 mmHg (siendo este un método objetivo y confirmatorio).

En el tórax, la indicación surge ante una dificultad ventilatoria progresiva con altas presiones en la vía aérea en un paciente con quemaduras torácicas circunferenciales. El diagnóstico es eminentemente clínico y no debe retrasarse por estudios de imagen.

2. Técnica Quirúrgica de la Escarotomía: La escarotomía es un procedimiento de urgencia que puede realizarse en la cama del paciente en la unidad de cuidados intensivos, utilizando sedación y analgesia adecuadas, ya que la incisión a través de la escara de espesor total es indolora.

- **Preparación:** Se realiza una asepsia de la zona con solución antiséptica. No se requiere anestesia local en la escara, pero sí en los bordes si la incisión alcanza tejido sano.
- **Incisión:** Se utiliza un bisturí o electrocauterio para realizar incisiones longitudinales a lo largo de las líneas mediolaterales o mediomediales de la extremidad afectada. La incisión debe extenderse a lo

largo de toda la quemadura constrictiva y profundizarse a través de toda la dermis hasta alcanzar la grasa subcutánea. La liberación es exitosa cuando los bordes de la herida se separan visiblemente y se restaura la perfusión distal.

- **Localización:** En las extremidades superiores, las incisiones se realizan en las líneas mediolateral y mediomedial, evitando los trayectos de nervios y vasos importantes como el nervio cubital en el codo. En los dedos, se realizan en la línea medioaxial. En el tórax, las incisiones se asemejan a un "escudo", siguiendo las líneas axilares anteriores bilateralmente, unidas por una incisión subcostal transversa.
- **Cuidados Postoperatorios:** Las heridas de la escarotomía se cubren con agentes antimicrobianos tópicos y apósitos. Es crucial la monitorización continua de la perfusión distal y la elevación de la extremidad.

3. Técnica Quirúrgica de la Fasciotomía: Si después de una escarotomía adecuada la presión compartimental persiste elevada o los signos de isquemia no revierten, se debe proceder a una fasciotomía. Este procedimiento implica la incisión de la fascia muscular para liberar la presión dentro de los compartimentos osteofasciales. A diferencia de la escarotomía, la fasciotomía es un procedimiento que debe realizarse en un quirófano bajo condiciones de estricta esterilidad.

Escisión e Injerto Precoz

La escisión tangencial temprana del tejido necrótico seguida de la cobertura con autoinjertos o sustitutos cutáneos es el estándar de oro actual en el manejo de quemaduras de espesor parcial profundo y total (1,2). Este enfoque, realizado idealmente entre el tercer y séptimo día postquemadura, ha demostrado reducir significativamente las tasas de mortalidad, la sepsis, la duración de la estancia hospitalaria y mejorar los resultados funcionales y estéticos a largo plazo (3).

1. Momento de la Escisión (Timing): El momento óptimo para la escisión es un equilibrio entre la estabilización fisiológica del paciente y la prevención de la colonización bacteriana de la escara. Realizar la cirugía demasiado pronto en un paciente inestable puede agravar el shock. Retrasarla más allá de la primera semana aumenta el riesgo de sepsis y de una respuesta inflamatoria descontrolada. La decisión se individualiza, pero la tendencia actual es actuar lo antes posible una vez que el paciente ha respondido a la reanimación inicial (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Indicaciones y Momento de la Escisión Quirúrgica en Quemaduras

Criterio	Indicación para Escisión Precoz (Día 3-7)	Consideraciones para Retraso
Profundidad de la Quemadura	Espesor parcial profundo y espesor total.	Quemaduras de profundidad indeterminada (reevaluar).
Superficie Corporal Quemada	Generalmente < 40-50% SCQ.	Pacientes con > 50% SCQ (escisiones seriadas).
Estado Fisiológico	Paciente hemodinámicamente estable tras reanimación.	Inestabilidad hemodinámica, coagulopatía severa.
Condiciones Locales	Escara bien definida, sin signos de infección invasiva.	Infección sistémica no controlada, colonización masiva.
Recursos Disponibles	Disponibilidad de quirófano, hemoderivados y personal.	Limitaciones logísticas o de banco de sangre.

Fuente: Adaptado de S. A. Jeschke MG, et al. Burn care. Nat Rev Dis Primers. 2020;6(1):11.

2. Técnicas de Escisión:

- **Escisión Tangencial (o Secuencial):** Es la técnica más utilizada. Consiste en la extirpación de finas capas de tejido necrótico utilizando un dermatomo (como el de Watson o Goulian) hasta alcanzar un lecho dérmico o de tejido subcutáneo viable y sangrante. Esta técnica permite preservar la máxima cantidad de dermis viable, lo que puede resultar en mejores resultados

estéticos y funcionales. Sin embargo, puede asociarse a un mayor sangrado.

- **Escisión Fascial:** Implica la extirpación de toda la piel y el tejido subcutáneo hasta la fascia muscular subyacente. Esta técnica se reserva para quemaduras muy profundas (cuarto grado) o en pacientes con extensas superficies quemadas donde se necesita un lecho bien vascularizado y de bajo sangrado para asegurar la prendida del injerto. El resultado estético es generalmente inferior, con contornos más pobres y adherencia de la piel a los planos profundos.

3. Cobertura del Lecho Quirúrgico: Una vez que se ha obtenido un lecho viable, la cobertura es imperativa.

- **Autoinjertos de Piel de Espesor Parcial (APEP):** Son la opción preferida para la cobertura definitiva. Se obtienen de zonas donantes sanas del propio paciente (muslos, espalda, cuero cabelludo) utilizando un dermatomo. Estos injertos pueden ser mallados (expandidos) para cubrir áreas más grandes, aunque a expensas de un peor resultado estético y mayor contracción secundaria.

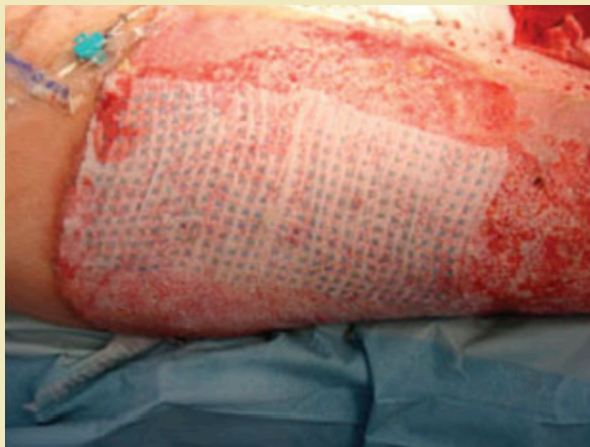


Figura 1. Autoinjerto de piel de espesor parcial mallado sobre un lecho cruento post-escisión. **Fuente:** Piñeros B., J., et al. (2010). Rev Chil Cir, 62(4), 415-418.

- **Sustitutos Cutáneos:** En pacientes con quemaduras masivas y zonas donantes escasas, los sustitutos dérmicos y epidérmicos son fundamentales.
 - **Aloinjertos (piel de cadáver):** Sirven como una cobertura biológica temporal ("apósito biológico") que prepara el lecho y reduce la pérdida de fluidos y la carga bacteriana hasta que se disponga de autoinjertos (4).
 - **Sustitutos Dérmicos acelulares (ej. Integra®, Matriderm®):** Son matrices de colágeno que actúan como un andamio para la regeneración de una neodermis. Se colocan sobre el lecho escindido y, tras varias semanas de vascularización, se cubren con un autoinjerto de piel de espesor parcial muy fino (5,6).
 - **Queratinocitos cultivados:** Permiten obtener grandes expansiones de epidermis a partir de una pequeña biopsia de piel del paciente, aunque son frágiles y costosos.

El manejo perioperatorio es clave, incluyendo una hemostasia meticulosa, control de la hipotermia y una estrategia transfusional restrictiva pero efectiva.

Tratamiento de las Secuelas de Quemaduras

A pesar de un manejo agudo óptimo, la mayoría de los pacientes con quemaduras profundas desarrollan secuelas cicatriciales que alteran la función y la apariencia, impactando profundamente su calidad de vida. El tratamiento quirúrgico de estas secuelas es un proceso largo que puede requerir múltiples intervenciones a lo largo de los años.

Manejo de la Cicatriz Hipertrófica y Queloides

La cicatrización patológica es la secuela más común. Las cicatrices hipertróficas son elevadas, eritematosas y pruriginosas, pero se limitan a los bordes de la herida original. Los queloides, por el contrario, crecen más allá de

los márgenes de la lesión. El tratamiento es multimodal, pero la cirugía es una opción cuando el tratamiento conservador (presoterapia, silicona, corticoides intralesionales) fracasa.

- **Escisión y Cierre Primario:** Es útil para cicatrices lineales o pequeñas. La escisión debe ser intralesional para los queloides, para no estimular una mayor formación de tejido.
- **Plastias Locales (Z-plastia, W-plastia):** Son técnicas fundamentales para el manejo de cicatrices. La Z-plastia permite reorientar una cicatriz, alargándola y rompiendo las líneas de tensión, lo que la hace ideal para cicatrices lineales que cruzan pliegues de flexión (7). La W-plastia o la plastía en línea quebrada geométrica son útiles para camuflar cicatrices faciales anchas, transformándolas en una línea irregular menos perceptible.



Figura 2: Secuencia de una revisión de cicatriz en el labio superior mediante una plastia local (W-plastia). Se observa el diseño preoperatorio para escindir la cicatriz (arriba-izquierda), las etapas de curación (arriba-derecha, abajo-izquierda) y el resultado estético final (abajo-derecha), donde la nueva cicatriz irregular es menos perceptible. **Fuente:** ClinMedica, 2025.

Liberación de Contracturas

Las contracturas son bandas de tejido cicatricial que cruzan las articulaciones, limitando el rango de movimiento. Son una de las secuelas más incapacitantes. Su tratamiento quirúrgico es esencial para restaurar la función. El momento de la intervención debe ser cuando la cicatriz está madura (generalmente después de 6-12 meses), a menos que exista una exposición de estructuras vitales o un deterioro funcional severo.

1. Técnicas de Liberación: La elección de la técnica reconstructiva tras la liberación de la contractura depende del tamaño y la localización del defecto creado (Ver Tabla 2).

- **Z-plastia:** Es la técnica de elección para contracturas lineales y moderadas. Permite ganar longitud a expensas de la anchura del tejido adyacente.
- **Injertos de Piel de Espesor Total:** Una vez liberada la contractura, el defecto romboidal resultante puede cubrirse con un injerto de piel de espesor total. Estos injertos tienen menor contracción secundaria que los de espesor parcial y ofrecen mejores resultados estéticos y de durabilidad, siendo ideales para la mano, el cuello y las articulaciones (8).
- **Colgajos Locales o Regionales:** Cuando la liberación de la contractura expone estructuras nobles como tendones, nervios o hueso, se requiere una cobertura con tejido vascularizado. Los colgajos cutáneos o fasciocutáneos (ej. colgajo inguinal, colgajo supraclavicular) aportan tejido sano, elástico y estable.
- **Expansión Tisular:** Es una técnica excelente para la reconstrucción de secuelas en áreas como el cuero cabelludo y la cara. Consiste en colocar un expansor de silicona bajo la piel sana adyacente a la cicatriz y expandirlo gradualmente durante semanas o meses. Una vez obtenida suficiente piel, se retira el expansor y se avanza el colgajo de piel expandida para cubrir el defecto reseado (9,10).

Tabla 2. Opciones Quirúrgicas para la Liberación de Contracturas Postquemadura

Técnica Quirúrgica	Ventajas	Desventajas	Indicaciones Principales
Z-Plastia / Plastias Locales	- Procedimiento en un solo tiempo - Utiliza tejido local de similar color y textura - Bajo riesgo de fracaso.	- Ganancia de longitud limitada - Requiere piel elástica adyacente.	Contracturas lineales o en banda (cuello, axila, codos).
Injerto de Piel de Espesor Total	- Buena durabilidad, - Menor contracción secundaria, - Buen resultado estético.	- Requiere un lecho bien vascularizado - Limitado por el tamaño de la zona donante.	Manos, dedos, párpados, cuello, áreas de flexión.
Colgajos Locales/ Regionales	- Aporta tejido vascularizado - Cobertura estable sobre estructuras expuestas.	- Mayor morbilidad de la zona donante - Cirugía más compleja.	Defectos profundos, exposición de tendón/hueso.
Colgajos Libres (Microcirugía)	Aporta grandes cantidades de tejido bien vascularizado de áreas distantes.	- Complejidad técnica - Riesgo de fallo del colgajo (trombosis).	Reconstrucciones complejas de cara, cuello o extremidades.
Expansión Tisular	Proporciona piel de color, textura y sensibilidad idénticos.	Proceso largo (múltiples etapas), riesgo de extrusión/ infección del expansor.	Secuelas extensas en cuero cabelludo, frente y cuello.

Fuente: Elaboración propia basada en los principios de la cirugía reconstructiva de quemaduras (11, 12).

Reconstrucción de Áreas Especiales

Ciertas áreas anatómicas presentan desafíos reconstructivos únicos debido a su complejidad funcional y estética.

- **Cara:** La reconstrucción facial postquemadura es la más compleja. El objetivo es restaurar la función de los

párpados (prevenir el ectropion y la exposición corneal), la boca (microstomía) y la nariz, además de mejorar la apariencia. Se utilizan injertos de piel de espesor total, colgajos locales y, en casos extremos, el trasplante facial (13).

- **Manos:** La prioridad es la función. Se liberan las contracturas de los dedos, la sindactilia postquemadura y las contracturas de la primera comisura para restaurar la pinza y la prensión. Los injertos de piel de espesor total son la técnica de elección para la superficie palmar y los dedos.
- **Cuello:** Las contracturas en el cuello pueden causar una flexión forzada de la cabeza sobre el tórax, limitando la extensión y la rotación. La liberación y cobertura con injertos gruesos, colgajos supraclaviculares o el uso de expansión tisular son las opciones más comunes (14).

Conclusión

El tratamiento quirúrgico de las quemaduras y sus secuelas ha experimentado una notable evolución, transitando desde un enfoque conservador hacia una intervención proactiva y precoz que ha mejorado drásticamente la supervivencia y la calidad de vida de los pacientes. En la fase aguda, la descompresión oportuna de los síndromes compartimentales y la escisión temprana del tejido necrótico con cobertura inmediata del lecho son pilares fundamentales que mitigan la respuesta inflamatoria sistémica y previenen la sepsis. El uso juicioso de autoinjertos, aloinjertos y sustitutos dérmicos ha ampliado las posibilidades terapéuticas para pacientes con quemaduras extensas.

En la fase crónica, el cirujano reconstructivo se enfrenta a un abanico de desafíos, desde la corrección de cicatrices inestéticas hasta la liberación de contracturas invalidantes. El dominio de un amplio arsenal de técnicas, que incluye desde plastias locales e injertos de piel hasta procedimientos complejos como la expansión tisular y la

microcirugía, es esencial para individualizar el tratamiento y lograr resultados óptimos. La reconstrucción de áreas especiales como la cara y las manos exige una planificación meticulosa y una ejecución técnica precisa.

El futuro del tratamiento quirúrgico de las quemaduras se dirige hacia la ingeniería de tejidos, la medicina regenerativa con el uso de células madre, y el desarrollo de sustitutos cutáneos bioactivos que no solo cubran, sino que modulen activamente la respuesta cicatricial para minimizar la formación de secuelas. La integración de estas nuevas tecnologías en la práctica clínica promete seguir transformando el pronóstico y la recuperación de los pacientes que sufren estas devastadoras lesiones.

El Futuro: De la Reconstrucción a la Regeneración

El siguiente paradigma en el manejo de las quemaduras busca minimizar la morbilidad de la fase crónica mediante la intervención en la fase aguda. El futuro del tratamiento quirúrgico se centra en tres áreas:

1. **Ingeniería de Tejidos en el Punto de Atención:** La limitación de los autoinjertos en pacientes con quemaduras masivas está siendo superada por la ingeniería de piel. Esto incluye desde la bioimpresión 3D *in situ*, donde un dispositivo portátil puede imprimir capas de queratinocitos y fibroblastos directamente sobre el lecho de la herida, hasta el desarrollo de constructos dermo-epidérmicos cultivados en laboratorio, que proporcionan una cobertura autóloga y duradera.
2. **Medicina Regenerativa:** Más allá de los sustitutos dérmicos acelulares, el enfoque se dirige a terapias celulares activas. Técnicas como la suspensión de queratinocitos autólogos (conocida como "spray-on skin") permiten cubrir grandes superficies a partir de una biopsia de piel muy pequeña, acelerando la epitelización de la fase aguda.
3. **Prevención de Secuelas y Modulación de la Cicatriz:** El arsenal terapéutico para secuelas, como las Z-

plastias o los injertos , es robusto, pero trata el problema una vez establecido. La frontera actual es la *prevención* de la cicatrización patológica. Esto implica el uso de nuevos biomateriales que liberan activamente fármacos (como inhibidores de TGF-beta o micro-ARN) para modular la respuesta inflamatoria y fibrótica desde el día uno, con el objetivo de lograr una curación regenerativa en lugar de una reparación cicatricial.

Bibliografía

1. Jeschke MG, van Baar ME, Choudhry MA, Chung KK, Gibran NS, Logsetty S. Burn care. Nat Rev Dis Primers. 2020 Feb 13;6(1):11.
2. Kagan RJ, Peck MD, Ahrenholz DH, Hickerson WL, Holmes J 4th, Korentager R, et al. Surgical management of the burn wound and use of skin substitutes: an expert panel's advice for trainees. J Burn Care Res. 2023 Jan 5;44(1):204-213.
3. Rowan MP, Cancio LC, Elster EA, Burmeister DM, Rose LF, Natesan S, et al. Burn wound healing and treatment: review and advancements. Crit Care. 2021;25(1):243.
4. Wasiak J, Cleland H, Campbell F. Dressings for superficial and partial thickness burns. Cochrane Database Syst Rev. 2021;(4):CD002106.
5. Ponticorvo A, Tayebi B, Fontanarosa I, De Rosa A, D'Andrea F. The use of dermal substitutes in burns and post-traumatic wounds: a systematic review. J Clin Med. 2022 Sep 27;11(19):5739.
6. Siedler S, Schmauss D, Cifuentes M, Megerle K, Machens HG, Duscher D. Clinical outcome of a novel polycarbonate-urethane synthetic dermal substitute in complex wounds. J Clin Med. 2021 May 20;10(10):2204.

7. Hao R, Niu R, Gao F, Yan T, Zhang Y, Liu W, et al. Z-plasty and skin grafting for the treatment of severe axillary burn scar contracture. *J Burn Care Res.* 2021 Nov 5;42(6):1227-1232.
8. Griffin M, Hultman CS. The use of full-thickness skin grafts for burn reconstruction. *Clin Plast Surg.* 2021 Jul;48(3):395-403.
9. Saleh A, Al-Otaibi AM, Al-Shehri A, Al-Harbi M, Al-Qahtani M. Tissue expansion for burn scar reconstruction: A 10-year experience. *Ann Med Surg (Lond).* 2022 Aug;79:104085.
10. Obaid O, Al-Boukai AA, Al-Harbi M, Al-Otaibi AM. Reconstruction of large post-burn neck contracture using expanded supraclavicular flap. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2023 Feb;11(2):e4812.
11. Lee RC, Ghadially R, Gurtner GC. Principles and practice of burn surgery. 2nd ed. Springer; 2022.
12. Ogawa R. Total scar management. Springer; 2022.
13. Pomahac B, Sisk GC, Drumm B, Talbot S, Pribaz J. First U.S. facial transplantation: a 10-year follow-up. *Plast Reconstr Surg.* 2021 Oct 1;148(4):810-818.
14. Kim Y, Yoon CS, Lee SY. Recent trends in neck burn scar contracture reconstruction. *Burns.* 2021 Feb;47(1):10-21.
15. Yoon S, Lee Y, Kim Y, Nam S. The application of the supraclavicular artery flap for the reconstruction of post-burn neck contracture. *J Burn Care Res.* 2020 Jul 3;41(4):788-794.

Reconstrucción Mamaria Postmastectomía

Carlos Alexander Romero Córdoba

Introducción

La mastectomía, si bien es un procedimiento oncológicamente efectivo para el tratamiento del cáncer de mama, representa un desafío físico y psicológico significativo para la paciente. La pérdida de la mama puede afectar profundamente la imagen corporal, la autoestima y la salud sexual.¹ La reconstrucción mamaria postmastectomía se ha consolidado como una parte integral del tratamiento multidisciplinario del cáncer de mama, ofreciendo a las pacientes la posibilidad de restaurar la forma y el volumen del pecho, mejorando así su calidad de vida.²

La filosofía de la reconstrucción mamaria ha evolucionado a través de tres fases claras. Inicialmente, el objetivo era la creación de un montículo fiable, a menudo a expensas de una morbilidad significativa en el sitio donante, como en el caso del colgajo TRAM pediculado .

La segunda fase, marcada por la microcirugía, introdujo el paradigma de la "preservación del sitio donante", cuyo estándar de oro es el colgajo DIEP , que preserva la totalidad del músculo recto abdominal.

Hoy vivimos la tercera fase: la de la "personalización y la mínima morbilidad". Esta filosofía se aplica tanto a la reconstrucción autóloga (con el refinamiento de los colgajos perforantes) como a la reconstrucción con implantes, donde la popularización de la técnica prepectoral y el uso extensivo del lipoinjerto buscan restaurar la mama con el menor trauma fisiológico posible para la paciente.

Este capítulo aborda las técnicas reconstructivas más actuales, los criterios de selección de pacientes, el momento óptimo para la intervención y el manejo de las

complicaciones asociadas, desde una perspectiva basada en la evidencia de los últimos cinco años. El objetivo es proporcionar al profesional médico una guía completa y actualizada para orientar la toma de decisiones clínicas y quirúrgicas en este campo en constante evolución.

Evaluación Preoperatoria y Selección de la Paciente

Una evaluación exhaustiva es fundamental para el éxito de la reconstrucción mamaria. La selección de la técnica reconstructiva ideal depende de una cuidadosa ponderación de factores oncológicos, anatómicos y psicosociales.

Consideraciones Oncológicas

El factor oncológico es el pilar de la planificación. Es imprescindible una comunicación fluida entre el cirujano oncólogo y el cirujano plástico.

- **Estadio del tumor y necesidad de terapia adyuvante:** La radioterapia postmastectomía (RT) es un factor crítico. La radiación puede comprometer la viabilidad de los tejidos, aumentar el riesgo de contractura capsular en reconstrucciones con implantes y afectar la perfusión de los colgajos autólogos.³ En pacientes con alta probabilidad de recibir RT, se puede considerar la reconstrucción autóloga como primera opción o una reconstrucción en dos tiempos, colocando inicialmente un expansor tisular.⁴
- **Tipo de mastectomía:** Las mastectomías conservadoras de piel (MCP) o del complejo areola-pezón (MCAP) ofrecen mejores resultados estéticos al preservar la envoltura cutánea de la mama, siendo ideales para la reconstrucción inmediata. Sin embargo, su indicación debe ser oncológicamente segura.⁵

Factores Anatómicos y Comorbilidades de la Paciente

- **Hábito corporal:** El índice de masa corporal (IMC) es un predictor importante de complicaciones. Un IMC elevado ($>30 \text{ kg/m}^2$) se asocia con un mayor riesgo de

infección del sitio quirúrgico, necrosis del colgajo y seroma.⁶ La disponibilidad de tejido donante (abdomen, espalda, muslos, glúteos) es el factor determinante para la reconstrucción autóloga.

- **Comorbilidades:** Condiciones como la diabetes mellitus, el tabaquismo, la enfermedad vascular periférica o antecedentes de trombosis venosa profunda deben ser evaluadas y optimizadas antes de la cirugía. El tabaquismo, en particular, es una contraindicación relativa importante debido a su efecto deletéreo en la microcirculación.⁷

Aspectos Psicosociales y Expectativas de la Paciente

Es crucial explorar las expectativas de la paciente, sus objetivos personales y su estilo de vida. La decisión final sobre el tipo de reconstrucción debe ser un proceso de toma de decisiones compartida. Se debe discutir abiertamente sobre la duración de la cirugía, el tiempo de recuperación, las posibles cicatrices en los sitios donantes y los resultados estéticos esperables.⁸

Momento de la Reconstrucción: Inmediata vs. Diferida

La elección del momento para realizar la reconstrucción mamaria es una decisión clave que impacta tanto los resultados clínicos como la experiencia de la paciente.

Reconstrucción Inmediata (RI)

La RI se realiza en el mismo acto quirúrgico que la mastectomía.

Ventajas:

- **Psicológicas:** Evita la experiencia de vivir sin una mama, lo que ha demostrado mejorar la autoestima y reducir la ansiedad y la depresión.²
- **Estéticas:** Generalmente ofrece mejores resultados estéticos, ya que permite preservar la envoltura cutánea original de la mama.

- **Quirúrgicas:** Implica un único evento anestésico y un solo periodo de recuperación inicial.

Desventajas:

- **Complejidad:** Aumenta el tiempo quirúrgico y la complejidad del procedimiento inicial.
- **Complicaciones:** Puede enmascarar complicaciones agudas de la mastectomía. En caso de complicaciones, podría retrasar el inicio de la terapia adyuvante.⁹

Reconstrucción Diferida (RD)

La RD se realiza en un segundo tiempo quirúrgico, meses o incluso años después de la mastectomía y de haber completado cualquier tratamiento oncológico adyuvante.

• Ventajas:

- **Seguridad oncológica:** Permite completar todo el tratamiento oncológico sin interferencias. Es la opción preferida cuando la necesidad de radioterapia postoperatoria es incierta.
- **Planificación:** Ofrece más tiempo para que la paciente considere sus opciones y se prepare para la cirugía reconstructiva.

• Desventajas:

- **Psicológicas:** La paciente debe pasar por un periodo sin mama.
- **Técnicas:** Requiere la creación de una nueva envoltura cutánea, a menudo mediante expansión tisular, lo que puede resultar en cicatrices adicionales y resultados estéticos inferiores a los de la RI.

La tendencia actual, siempre que sea oncológicamente seguro, se inclina hacia la reconstrucción inmediata debido a sus probados beneficios psicológicos y estéticos.^{5, 9}

Técnicas Reconstructivas

Las opciones para la reconstrucción mamaria se dividen en dos grandes categorías: la reconstrucción basada en implantes y la reconstrucción con tejido autólogo.

Reconstrucción Basada en Implantes

Es la técnica más comúnmente utilizada a nivel mundial. Puede realizarse en una o dos etapas.

- **Reconstrucción en dos etapas:** Es el método más frecuente.
 1. **Primera etapa:** Se coloca un expansor tisular debajo del músculo pectoral mayor o en un plano prepectoral. Este dispositivo se infla gradualmente con solución salina en las semanas posteriores a la cirugía para expandir la piel y el músculo, creando un bolsillo para el implante definitivo.
 2. **Segunda etapa:** Unos meses después, se retira el expansor y se coloca un implante mamario permanente (de silicona o salino).
- **Reconstrucción en una etapa (Direct-to-Implant, DTI):** En pacientes seleccionadas, con una envoltura cutánea adecuada post-mastectomía, se puede colocar el implante definitivo directamente en el mismo acto quirúrgico. Esta técnica a menudo se complementa con el uso de mallas dérmicas acelulares (MDA) o mallas sintéticas para proporcionar soporte y cobertura adicional al implante, especialmente en la porción inferolateral.¹⁰

La colocación prepectoral del implante ha ganado popularidad en los últimos años. Al evitar la disección del músculo pectoral, se asocia con menos dolor postoperatorio, menor riesgo de animación muscular y una recuperación más rápida. Sin embargo, requiere una cuidadosa selección de la paciente y el uso casi obligatorio de MDA para asegurar la cobertura del implante.¹¹

Tabla 1. Comparativa de la Colocación del Implante: Subpectoral vs. Prepectoral

Característica	Colocación Subpectoral (Tradicional)	Colocación Prepectoral (Novedosa)
Cobertura del implante	Músculo pectoral mayor y serrato anterior	Malla dérmica acelular (MDA) o sintética
Dolor postoperatorio	Mayor, debido a la disección muscular	Menor
Animación muscular	Riesgo presente ("dinamismo")	Ausente
Posicionamiento	Puede haber desplazamiento superior	Posicionamiento más natural
Recuperación	Más prolongada, con restricciones de movimiento	Más rápida
Riesgos específicos	Atrofia muscular, "ventana" inferolateral	Mayor riesgo de rippling, extrusión (si la cobertura es inadecuada)

Fuente: Elaborado por los autores a partir de datos de Sbitany H, et al. Prepectoral Breast Reconstruction: A Safe Alternative to Submuscular Implant Placement. *Plast Reconstr Surg.* 2019;143(5):1296-1305.

Reconstrucción con Tejido Autólogo

Esta modalidad utiliza tejido de la propia paciente (piel, grasa y, a veces, músculo) para crear el nuevo montículo mamario. Ofrece resultados más naturales y duraderos, y el tejido envejece de forma similar al resto del cuerpo.

- **Colgajo DIEP (Deep Inferior Epigastric Perforator):** Es el "gold standard" actual en reconstrucción autóloga.¹²

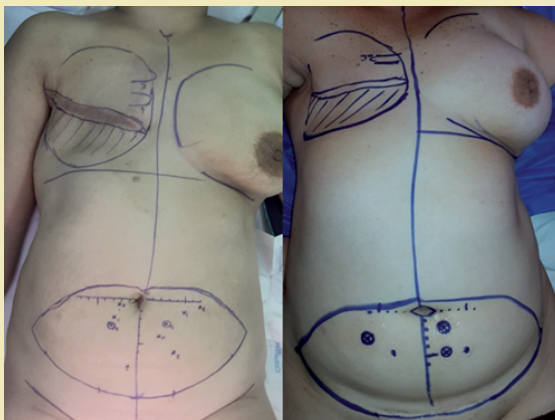


Figura 1. Planificación preoperatoria para reconstrucción mamaria con colgajo DIEP. Se observan las marcas del defecto postmastectomía y el diseño de la paleta de tejido abdominal que se transferirá. Los puntos sobre el abdomen mapean la localización de los vasos perforantes que nutrirán el colgajo. **Fuente:** Fossati, J.M., et al. (2017).

- Utiliza piel y grasa de la parte inferior del abdomen, preservando el músculo recto abdominal. El colgajo se transfiere al tórax y sus vasos sanguíneos (la arteria y vena epigástrica inferior profunda) se conectan a vasos receptores en el tórax (generalmente los vasos mamarios internos o toracodorsales) mediante técnicas microquirúrgicas. El beneficio secundario es una abdominoplastia.
- **Colgajo TRAM (Transverse Rectus Abdominis Myocutaneous):** Similar al DIEP, pero incluye una porción del músculo recto abdominal. Existe una variante pediculada (el colgajo se rota hacia el tórax sin desconectar su irrigación original) y una libre (requiere microcirugía, similar al DIEP). Debido a la morbilidad del sitio donante (debilidad de la pared abdominal, hernias), su uso ha disminuido en favor del DIEP.¹³
- **Otras opciones de colgajos:** Cuando el tejido abdominal no está disponible (pacientes delgadas, cirugías abdominales previas), se pueden utilizar otras zonas donantes:

- **Colgajo del dorsal ancho (Latissimus Dorsi):** Utiliza el músculo y la piel de la espalda. A menudo se combina con un implante para lograr el volumen deseado.
- **Colgajos basados en perforantes del muslo (TUG/VUG, PAP):** Utilizan tejido de la cara interna o posterior del muslo.
- **Colgajos glúteos (SGAP/IGAP):** Utilizan tejido de la región glútea superior o inferior.

Tabla 2. Principales Colgajos Autólogos para Reconstrucción Mamaria

Tipo de Colgajo	Sitio Donante	Músculo Sacrificado	Complejidad Técnica	Resultados y Morbilidad del Sitio Donante
DIEP	Abdomen inferior	No (preservador de músculo)	Muy alta (microcirugía)	• Calidad: Excelente • Morbilidad: Baja (riesgo de seroma, abombamiento)
TRAM libre	Abdomen inferior	Sí (parcial o total)	Alta (microcirugía)	• Calidad: Excelente • Morbilidad: Moderada-alta (hernia, debilidad)
Dorsal Ancho	Espalda	Sí	Moderada	• Calidad: Bueno (a menudo requiere implante) • Morbilidad: Moderada (seroma, limitación funcional)
PAP / TUG	Muslo	No (PAP) / Sí (Gracilis en TUG)	Alta (microcirugía)	• Calidad: Bueno • Morbilidad: Baja (cicatriz, asimetría del muslo)

Fuente: Adaptado de Matros E, et al. A review of the available flaps for breast reconstruction. *Gland Surg.* 2020;9(2):503-516.

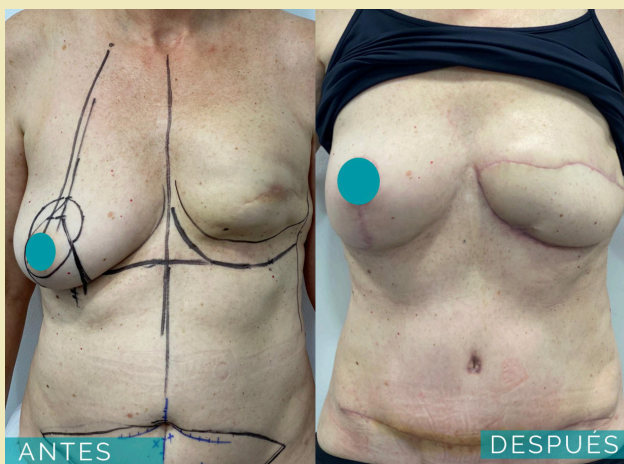


Figura 2. Resultado preoperatorio (izquierda) y postoperatorio (derecha) de una reconstrucción mamaria inmediata con colgajo autólogo. La imagen evidencia la restauración del montículo mamario y el resultado estético en el sitio donante abdominal, cumpliendo el objetivo de restaurar la imagen corporal de la paciente.
Fuente: Institut Ruiz Castilla, 2020

Manejo de Complicaciones

A pesar de los avances, la reconstrucción mamaria no está exenta de riesgos. El manejo oportuno es clave para preservar el resultado reconstructivo.

• Complicaciones tempranas:

- **Hematoma:** Requiere evacuación quirúrgica urgente.
- **Infección:** Puede manejarse con antibióticos, pero en casos severos, especialmente con implantes, puede requerir el retiro del dispositivo. La tasa de infección es mayor en reconstrucciones con implantes que en las autólogas.⁶
- **Necrosis de la piel o del colgajo:** La necrosis parcial puede manejarse de forma conservadora, pero la necrosis total de un colgajo libre es una emergencia quirúrgica que requiere una reexploración inmediata para intentar salvarlo.

- **Complicaciones tardías:**
 - **Contractura capsular:** Es la complicación más común de la reconstrucción basada en implantes. El tejido cicatricial alrededor del implante se contrae, causando endurecimiento, dolor y deformidad de la mama. El tratamiento va desde medicamentos hasta la capsulectomía y el cambio del implante.¹⁴
 - **Linfoma Anaplásico de Células Grandes Asociado a Implantes Mamarios:** Una rara forma de linfoma de células T asociada principalmente a implantes texturizados. Su presentación típica es un seroma tardío.¹⁵ El diagnóstico se realiza mediante análisis del líquido pericapsular y el tratamiento principal es la capsulectomía total y la retirada del implante.¹⁵
 - **Asimetría y necesidad de procedimientos de revisión:** Son frecuentes los procedimientos secundarios para mejorar la simetría, como la pexia o reducción de la mama contralateral, el lipoinjerto para refinar contornos o la reconstrucción del complejo areola-pezones.

Técnicas Adyuvantes y de Refinamiento para la Optimización de Resultados

La finalización exitosa de la reconstrucción del montículo mamario, ya sea con implantes o tejido autólogo, no siempre constituye el final del proceso reconstructivo. Con frecuencia, se requieren procedimientos secundarios o "de refinamiento" para alcanzar un resultado estético óptimo, lograr la simetría con la mama contralateral y abordar deformidades de contorno residuales. Estas técnicas adyuvantes se han convertido en un estándar de cuidado y son fundamentales para maximizar la satisfacción de la paciente.¹⁶

1. Lipoinjerto (Injerto de Grasa Autólogo)

El lipoinjerto o "lipofilling" ha revolucionado el refinamiento en la reconstrucción mamaria. La técnica consiste en la obtención de grasa de la propia paciente mediante liposucción (generalmente de abdomen, flancos o muslos), su procesamiento para purificar los adipocitos y su posterior inyección en la zona receptora. Sus aplicaciones en la mama reconstruida son múltiples:

- **Corrección de Deformidades de Contorno:** Es la herramienta principal para suavizar irregularidades, rellenar depresiones o "dells" y mejorar la transición entre el implante o colgajo y la pared torácica.
- **Camuflaje de Implantes:** En pacientes delgadas, el lipoinjerto puede engrosar el panículo adiposo subcutáneo para disimular los bordes del implante y reducir el *rippling* (ondulaciones visibles).
- **Mejora de la Calidad Tisular:** La grasa transferida, rica en células madre mesenquimales, ha demostrado mejorar la calidad, elasticidad y vascularización de los tejidos irradiados, revirtiendo parcialmente el daño crónico por radioterapia.¹⁷
- **Aumento de Volumen:** Permite realizar pequeños ajustes volumétricos para mejorar la simetría sin necesidad de cambiar un implante.

2. Procedimientos de Simetrización en la Mama Contralateral

Es infrecuente que una mama reconstruida sea idéntica a la mama contralateral nativa, la cual puede presentar ptosis (caída), un volumen diferente o una forma distinta. Lograr la simetría es uno de los objetivos cruciales de todo el proceso y a menudo requiere una intervención en la mama sana, que puede realizarse durante la reconstrucción inmediata o en un segundo tiempo quirúrgico. Los procedimientos más comunes son:

- **Mastopexia (Levantamiento Mamario):** Se realiza cuando la mama nativa está caída, para elevarla y reposicionar el complejo areola-pezón a una altura simétrica con la mama reconstruida.
- **Mamoplastia de Reducción:** Indicada cuando la mama contralateral es significativamente más grande y/o ptósica. Reduce el volumen y eleva la mama para igualarla a la reconstruida.
- **Mamoplastia de Aumento:** Menos frecuente, se considera cuando la mama contralateral es muy pequeña y se busca una simetría de volumen, generalmente con un implante de pequeño tamaño.

3. El Papel Consolidado de las Mallas y Matrices Dérmicas

Aunque ya mencionadas en la reconstrucción con implantes, es importante destacar el papel de las mallas (sintéticas) y las matrices dérmicas acelulares (MDA, de origen biológico) como una técnica adyuvante estándar. Su uso ha facilitado la transición a la reconstrucción prepectoral y ofrece ventajas clave:

- **Soporte Estructural:** Actúan como un "sujetador interno", definiendo y estabilizando el polo inferior y el surco inframamario.
- **Control del Bolsillo del Implante:** Previenen el desplazamiento del implante y ayudan a darle una forma más anatómica y natural a la reconstrucción.
- **Cobertura Adicional:** Ofrecen una capa extra de cobertura sobre el implante, lo que puede reducir el riesgo de extrusión y el rippling.

La selección entre una MDA biológica (que se integra en los tejidos) y una malla sintética (que encapsula) depende de la preferencia del cirujano, los costos y las características de la paciente.

Reconstrucción del Complejo Areola-Pezón (CAP)

La reconstrucción del CAP es el paso final del proceso reconstructivo y tiene un gran impacto en el resultado estético final. Generalmente se realiza varios meses después de la reconstrucción principal.

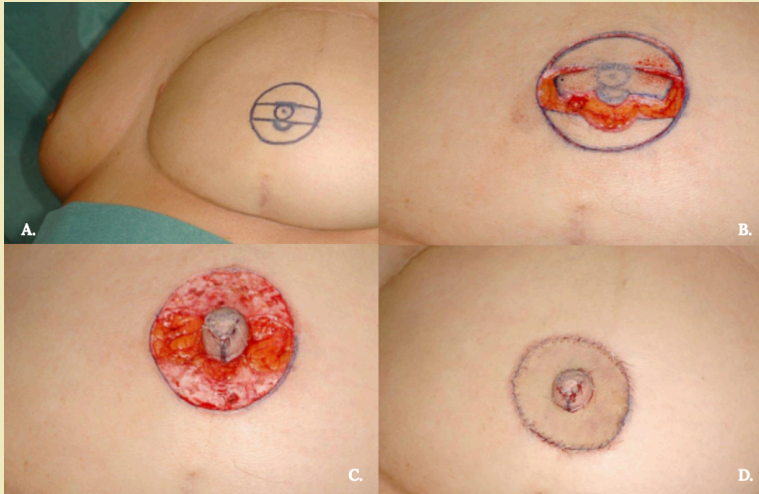


Figura 3. Secuencia quirúrgica para la reconstrucción del pezón mediante un colgajo local. **A)** Diseño y marcaje preoperatorio del colgajo sobre el montículo mamario. **B)** Incisión y elevación de las paletas de piel que conformarán el nuevo pezón. **C)** Sutura de los colgajos para crear la proyección tridimensional. **D)** Resultado inmediato postquirúrgico, logrando un pezón con proyección adecuada, previo al posterior tatuaje para reconstruir la areola. **Fuente:** CUH, 2025.

- **Reconstrucción del pezón:** Se puede crear utilizando colgajos locales de la propia piel de la mama reconstruida (ej. colgajo C-V, skate flap) o mediante injertos de otras áreas (ej. lóbulo de la oreja, pezón contralateral).
- **Reconstrucción de la areola:** La técnica más extendida es el tatuaje médico tridimensional (3D), que logra resultados muy realistas simulando la textura y proyección de la areola. Otras opciones incluyen injertos de piel de espesor total de zonas hiperpigmentadas como la ingle.

Conclusiones y Futuro de la Reconstrucción Mamaria

La reconstrucción mamaria postmastectomía ha evolucionado para convertirse en un procedimiento seguro y eficaz que mejora significativamente la calidad de vida de las pacientes con cáncer de mama. La elección de la técnica debe ser individualizada, basada en un enfoque multidisciplinario y una toma de decisiones compartida con la paciente.

Las tendencias actuales se dirigen hacia técnicas menos invasivas, como la reconstrucción prepectoral y los colgajos perforantes que preservan la musculatura, con el objetivo de minimizar la morbilidad y acelerar la recuperación. El uso de mallas dérmicas acelulares y el lipoinjerto se han estandarizado como herramientas adyuvantes valiosas.

El Futuro: Hacia la Regeneración Mamaria y la "Reconstrucción Híbrida"

La investigación futura se centra en dos grandes áreas. La primera es la ingeniería de tejidos, cuyo objetivo final es regenerar la mama sin necesidad de implantes protésicos o de sitios donantes de colgajos. Esto se enfoca en el desarrollo de *scaffolds* (andamios) tridimensionales, basados en matrices dérmicas acelulares de nueva generación, que son "sembrados" con células madre mesenquimales derivadas de tejido adiposo (ADSCs) de la propia paciente.

La segunda área es la optimización del lipoinjerto, que ha pasado de ser una técnica de refinamiento a ser un pilar de la reconstrucción. El desarrollo de la técnica de Lipoinjerto Asistido por Células (CAL), que enriquece la grasa transferida con ADSCs para mejorar drásticamente su viabilidad y vascularización, promete permitir reconstrucciones mamarias completas solo con grasa, eliminando por completo la morbilidad del sitio donante de un colgajo.

La combinación de estas técnicas (implantes más pequeños, lipoinjerto y matrices bioactivas) consolida el concepto de "reconstrucción híbrida", hecha a la medida de la anatomía y los deseos de la paciente.

Bibliografía

1. Eltahir Y, Wernersson A, Kvillemo P, et al. Association of breast reconstruction with psychological and sexual well-being in women with breast cancer: A prospective, nationwide cohort study. *JAMA Surg.* 2021;156(11):1031-1039.
2. Voineskos SH, Coroneos CJ, Semple JL, et al. Patient-reported outcomes and sexual well-being after breast reconstruction: A prospective cohort study. *Plast Reconstr Surg.* 2022;149(1):1e-12e.
3. Fischer JP, Cleveland E, Nelson JA, et al. A systematic review of the impact of radiation on autologous breast reconstruction. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2021;74(3):477-488.
4. Jaggi R, Jiang J, Momoh AO, et al. Complications after mastectomy and immediate breast reconstruction for breast cancer: A claims-based analysis. *Ann Surg.* 2019;269(2):222-228.
5. Headon H, Kasem A, Mokbel K. Nipple-sparing mastectomy: An overview of the literature. *Surg Oncol.* 2019;29:83-89.
6. Potter S, Conroy EJ, Cutress RI, et al. Short-term safety outcomes of mastectomy and immediate implant-based breast reconstruction with and without mesh (iBRA): a multicentre, prospective cohort study. *Lancet Oncol.* 2019;20(2):254-266.
7. Khavanin N, Ghandi E, Kim JYS. The impact of smoking on breast reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *Plast Reconstr Surg.* 2021;148(4):717-727.
8. Lee C, Sun J, Pignone M, et al. A randomized trial of a decision aid for women considering breast reconstruction after mastectomy. *Health Expect.* 2020;23(4):866-874.

9. O'Connell RL, Rattay T, Dave R, et al. The impact of immediate breast reconstruction on the time to delivery of adjuvant therapy: the iBRA-2 prospective cohort study. *Br J Cancer*. 2019;120(9):883-895.
10. Salibian AA, Bekisz JM, Stranix JT, et al. Prepectoral versus subpectoral direct-to-implant breast reconstruction: A comparison of 30-day outcomes. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2021;9(11):e3939.
11. Sbitany H, Piper M, Lentz R. Prepectoral breast reconstruction: A safe alternative to submuscular implant placement. *Plast Reconstr Surg*. 2019;143(5):1296-1305.
12. Haddock NT, Teotia SS. The modern DIEP flap: Tips and tricks for success. *Plast Reconstr Surg*. 2021;147(1S-2):76e-85e.
13. Matros E, Levine JL, Allen RJ, et al. A review of the available flaps for breast reconstruction. *Gland Surg*. 2020;9(2):503-516.
14. Bachour Y, Bargon CA, de Blok CJM, et al. The effect of acellular dermal matrix in implant-based breast reconstruction on capsular contracture: A systematic review and meta-analysis. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2020;73(2):248-257.
15. Clemens MW, Jacobsen ED, Horwitz SM. 2019 NCCN consensus guidelines on the diagnosis and treatment of breast implant-associated anaplastic large cell lymphoma (BIA-ALCL). *Aesthet Surg J*. 2019;39(Suppl_1):S5-S13.
16. Spear SL, Wilson HB, Lockwood MD. The four-quadrant approach to the breast for autologous fat grafting. *Plast Reconstr Surg*. 2014;133(5):618e-627e.
17. Coleman SR, Saboeiro AP. Fat grafting to the breast revisited: safety and efficacy. *Plast Reconstr Surg*. 2007;119(3):775-785.

Cobertura de Defectos Complejos en Extremidades

Vanessa Lissette Yanzaguano Morquecho

Introducción

La reconstrucción de defectos complejos en las extremidades constituye la cúspide de la cirugía plástica y reconstructiva, un dominio donde la forma y la función se entrelazan de manera inseparable. Estos defectos, definidos por la pérdida de múltiples capas tisulares (piel, tejido celular subcutáneo, fascia, músculo y/o hueso), son el resultado devastador de traumatismos de alta energía, resecciones oncológicas, infecciones necrotizantes, quemaduras graves o insuficiencia vascular crónica (1). La extremidad inferior, en particular la pierna, es especialmente vulnerable debido a su escasa cobertura muscular en los dos tercios distales y a una vascularización más precaria en comparación con otras áreas del cuerpo (2). La exposición resultante de estructuras nobles como hueso, tendones, articulaciones, nervios y vasos sanguíneos no solo amenaza la viabilidad de la extremidad, sino que también representa una puerta de entrada para la infección, pudiendo conducir a osteomielitis crónica, sepsis y, en última instancia, a la amputación (3).

El paradigma en el manejo de estos desafíos ha experimentado una transformación radical. Históricamente, el objetivo era simplemente lograr la cobertura a cualquier costo, a menudo con resultados funcionales y estéticos deficientes. El enfoque contemporáneo, sin embargo, es mucho más sofisticado y se centra en el concepto de "reconstrucción ortoplástica". Este término subraya la colaboración sinérgica entre la cirugía ortopédica y la cirugía plástica desde el momento de la lesión, con el objetivo de lograr no solo una cobertura estable, sino también una restauración funcional óptima y una reintegración socio-laboral del paciente (4).

Este capítulo tiene como finalidad proporcionar una guía exhaustiva y actualizada para el personal médico involucrado en el manejo de estos pacientes. Se abordarán los principios fundamentales de la evaluación y preparación del lecho de la herida, las clasificaciones modernas que guían la toma de decisiones, y se describirá en detalle el arsenal terapéutico disponible, desde las técnicas más básicas hasta los procedimientos microquirúrgicos más avanzados. Se hará hincapié en la filosofía del "elevador reconstructivo", que aboga por seleccionar la mejor opción reconstructiva desde el inicio, basándose en la evidencia científica más reciente para optimizar los resultados y minimizar la morbilidad del paciente.

Evaluación Inicial y Preparación del Lecho Quirúrgico

El éxito de cualquier procedimiento reconstructivo depende en un 90% de una planificación meticulosa, y esta comienza con una evaluación integral del paciente y de la herida.

Evaluación Sistémica del Paciente

En el contexto de un trauma, la prioridad absoluta es la estabilización del paciente siguiendo los protocolos del Soporte Vital Avanzado en Trauma (ATLS). Una vez superada la fase crítica, se debe realizar una anamnesis detallada. Es crucial identificar comorbilidades que puedan comprometer la perfusión tisular y la cicatrización. El tabaquismo, por ejemplo, es un factor de riesgo independiente para el fracaso de los colgajos debido a su efecto vasoconstrictor y pro-trombótico (5). La diabetes mellitus no controlada afecta la microcirculación y la función inmunológica, incrementando el riesgo de infección y necrosis. La enfermedad vascular periférica, la insuficiencia renal crónica y los estados de malnutrición (evaluados con niveles de albúmina y prealbúmina) también son factores pronósticos negativos que deben ser optimizados, en la medida de lo posible, antes de la cirugía (6). La edad, aunque no es una contraindicación absoluta para procedimientos complejos, debe ser considerada junto con el estado funcional y las expectativas del paciente.

Evaluación Local de la Herida y la Extremidad

Un análisis riguroso de la herida es mandatorio.

- **Mecanismo de la Lesión:** Traumatismos por aplastamiento o avulsión implican una "zona de lesión" mucho más extensa de lo que es visible macroscópicamente, con daño vascular y tisular oculto.
- **Dimensiones y Localización:** El tamaño del defecto (largo, ancho) y su ubicación anatómica son determinantes clave. Defectos en el tercio distal de la pierna, tobillo y pie son notoriamente más difíciles de cubrir debido a la falta de tejido local laxo y a la piel adherida a planos profundos.
- **Componentes Tisulares Perdidos:** Se debe identificar qué estructuras están expuestas. Hueso sin periostio, tendones sin paratendón o material de osteosíntesis son lechos avasculares que contraindican el uso de injertos de piel y exigen una cobertura con tejido vascularizado (colgajos) (2,7).
- **Evaluación Vascular:** Es el paso más crítico. Se deben palpar los pulsos pedio y tibial posterior. En casos de duda, un Doppler portátil puede ser de gran ayuda. Sin embargo, en traumatismos de alta energía o en pacientes con enfermedad vascular conocida, la Angiografía por Tomografía Computarizada (Angio-TC) se ha convertido en el estándar de oro. Proporciona un mapa detallado del árbol vascular, identifica posibles lesiones arteriales y ayuda a seleccionar los vasos receptores más adecuados para una eventual transferencia de tejido libre (8).

Desbridamiento Quirúrgico Seriado: La Base del Éxito

El principio fundamental en el manejo de heridas complejas es: "la reconstrucción no debe proceder hasta que la herida esté preparada para recibirla". Esto se logra a través de desbridamientos quirúrgicos agresivos y, a menudo,

seriados ("second look"). El objetivo es remover todo tejido desvitalizado, necrótico y contaminado. La viabilidad del músculo se evalúa por las "4 C": color (rojo brillante), consistencia (firme), contractilidad (al estímulo eléctrico o pinzamiento) y capacidad de sangrado (capilaridad). El hueso debe sangrar ("signo del pimentón") para ser considerado viable (4). Este proceso continúa hasta que se obtiene un lecho estable y bien vascularizado.

Terapias Adyuvantes: El Puente hacia la Reconstrucción

La Terapia de Presión Negativa (TPN) ha revolucionado el manejo temporal de estas heridas. Al aplicar una presión subatmosférica controlada, la TPN reduce el edema, disminuye la carga bacteriana, promueve la angiogénesis y estimula la formación de tejido de granulación, optimizando el lecho para la cobertura definitiva (9). Variantes modernas, como la TPN con instilación y tiempo de permanencia (TPNi-tp), permiten la aplicación intermitente de soluciones antisépticas, siendo particularmente útiles en heridas con alta carga de contaminación o biofilm (10).

Sistemas de Clasificación y su Utilidad Clínica

Las clasificaciones son herramientas esenciales para estandarizar la descripción de las lesiones, guiar el tratamiento, facilitar la investigación y predecir el pronóstico.

La clasificación de Gustilo-Anderson para fracturas abiertas, aunque antigua, sigue siendo universalmente utilizada para la estratificación inicial del riesgo de infección. Sin embargo, desde la perspectiva reconstructiva, es insuficiente. Clasificaciones más específicas para los tejidos blandos son necesarias.

Godina propuso una clasificación basada en el momento de la cobertura y el estado de la herida, demostrando que la reconstrucción temprana (dentro de las 72 horas) se asocia con tasas de éxito significativamente mayores y menores tasas de infección (una idea revolucionaria en su tiempo).

Más recientemente, la clasificación de Mathes y Nahai sobre colgajos musculares, basada en sus patrones de vascularización (Tipo I a V), sigue siendo fundamental para la selección de colgajos musculares locales o libres. Para fines prácticos y modernos, una clasificación descriptiva como la presentada en la Tabla 1 es de gran utilidad clínica.

Tabla 1. Clasificación Reconstructiva de Defectos en Extremidades Inferiores

Grado	Tipo de Defecto	Estructuras Críticas Expuestas	Opción Reconstructiva Principal
I	Superficial (Lecho viable)	- Músculo con epimisio - Periostio - Paratendón	Injerto de piel (espesor parcial o total)
II-A	Complejo (Exposición avascular focal)	- Hueso cortical (< 2 cm) - Tendón sin paratendón - Implante metálico pequeño	Colgajo local de perforante (ej. propulsor)
II-B	Complejo (Exposición avascular extensa)	- Hueso cortical (> 2 cm) - Articulación abierta - Implante metálico grande	Colgajo muscular local (ej. gastrocnemio, sóleo) + Injerto de piel
III-A	Compuesto (Defecto tridimensional)	- Pérdida ósea segmentaria (< 6 cm) - Defecto extenso de tejidos blandos	Colgajo libre fasciocutáneo o muscular + Injerto óseo no vascularizado
III-B	Compuesto (Defecto óseo-cutáneo crítico)	- Pérdida ósea segmentaria (> 6 cm) - Defecto extenso de tejidos blandos	Colgajo libre osteocutáneo (ej. peroné vascularizado)

IV	Funcional	- Pérdida de unidad músculo-tendinosa específica (ej. tendón de Aquiles)	Transferencia tendinosa o Colgajo funcional libre (ej. grácil)
----	-----------	--	--

Fuente: Adaptado de Pu LLQ, et al. (2017) y Ninkovic M, et al. (2021) (11, 12).

El Arsenal Reconstructivo: Del Injerto al Colgajo Libre

La selección del procedimiento adecuado se basa en un análisis detallado de las características del defecto, la disponibilidad de tejido donante y el estado general del paciente.

Injertos de Piel

Los injertos de piel son la técnica más simple para la cobertura cutánea, pero su supervivencia depende enteramente de la vascularización del lecho receptor mediante un proceso de imbibición, inosculación y revascularización.

- **Injerto de Piel de Espesor Parcial (IPE):** Se cosecha la epidermis y una porción variable de la dermis. Se pueden mallar para expandir su superficie. Son ideales para cubrir grandes áreas y sobre lechos como el músculo o el tejido de granulación. Su principal desventaja es la contracción secundaria significativa y una menor durabilidad.
- **Injerto de Piel de Espesor Total (IPT):** Incluye la epidermis y toda la dermis. Proporciona una cobertura de mayor calidad, más durable, con mejor textura, color y menor contracción. Sin embargo, la zona donante debe cerrarse primariamente, lo que limita su uso a defectos de menor tamaño.

Colgajos Locales: El Uso del Tejido Adyacente

Los colgajos locales utilizan tejido cercano al defecto, manteniendo su pedículo vascular original.

- **Colgajos Cutáneos al Azar vs. Axiales:** Los colgajos al azar (ej. romboidal, Z-plastia) tienen una

vascularización no definida, dependiente del plexo subdérmico, lo que limita su relación largo-ancho. Los colgajos axiales (ej. inguinal) incorporan una arteria y vena directas, siendo mucho más robustos.

- **Colgajos Fasciocutáneos y de Perforantes:** Esta es la evolución moderna de los colgajos locales. Se basan en vasos perforantes (septocutáneos o musculocutáneos) que irrigan un territorio cutáneo específico. La identificación preoperatoria de estas perforantes con Doppler o Angio-TC es clave. Colgajos como el sural de flujo reverso (basado en perforantes de la arteria peronea) o los colgajos propulsores de perforantes de la tibial posterior son opciones excelentes para defectos del tercio distal de la pierna y tobillo (13). Su ventaja es que preservan la musculatura subyacente.

Colgajos Regionales Pediculados: Músculo para el Rescate

Cuando se necesita un tejido robusto, bien vascularizado y con capacidad de rellenar espacio muerto, los colgajos musculares pediculados son la elección.



Figura 1. Aplicación del "Elevador Reconstructivo" con colgajos musculares locales. (Izquierda, A-C) Secuencia de cobertura de una fractura expuesta en el tercio medio

de la pierna con un colgajo de músculo sóleo y un injerto de piel. (Derecha, D-F) Cobertura de una exposición de rodilla en el tercio proximal utilizando un colgajo pediculado de músculo gastrocnemio medial e injerto de piel. **Fuente:** EMS Solutions International, 2017.

- **Músculo Gastrocnemio:** Los gemelos medial y lateral, basados en las arterias surales, son los caballos de batalla para defectos del tercio proximal de la pierna, rodilla y fémur distal. El gemelo medial tiene un pedículo más largo y mayor volumen.
- **Músculo Sóleo:** Irrigado por múltiples pedículos de las arterias tibial posterior y peronea, es ideal para defectos del tercio medio de la pierna. Se puede dividir y utilizar en hemicolgajos para mayor versatilidad.
- **Limitaciones:** La principal desventaja es el arco de rotación limitado y la morbilidad funcional, aunque esta suele ser bien tolerada. Requieren un injerto de piel para su cobertura final.

Colgajos Libres Microquirúrgicos: La Solución Definitiva

Para defectos grandes, compuestos, o cuando el tejido local está comprometido por la "zona de lesión", la transferencia microquirúrgica de tejido libre es la técnica de elección. Permite transferir un bloque de tejido (piel, grasa, músculo, hueso) desde una parte distante del cuerpo, conectando su arteria y vena a los vasos receptores en la extremidad mediante suturas de calibre 9-0 o 10-0 bajo microscopio.

- **Colgajo Anterolateral de Muslo (ALT):** Es el colgajo de tejidos blandos más versátil y utilizado en el mundo. Basado en las perforantes de la arteria circunfleja femoral lateral, puede ser cosechado como un colgajo cutáneo fino, un colgajo voluminoso incluyendo el músculo vasto lateral, o incluso como un colgajo quimérico (múltiples componentes tisulares con un solo pedículo). Su pedículo es largo y de buen calibre, y la morbilidad de la zona donante es mínima (14).
- **Colgajo de Peroné Libre Vascularizado:** Es el estándar de oro para la reconstrucción de defectos óseos segmentarios mayores de 6 cm. Proporciona un

segmento de hueso cortical recto, ideal para carga, con su propio periostio y arteria nutricia (ramas de la arteria peronea). Puede incluir una isla de piel para la cobertura de tejidos blandos y la monitorización postoperatoria del flujo sanguíneo.

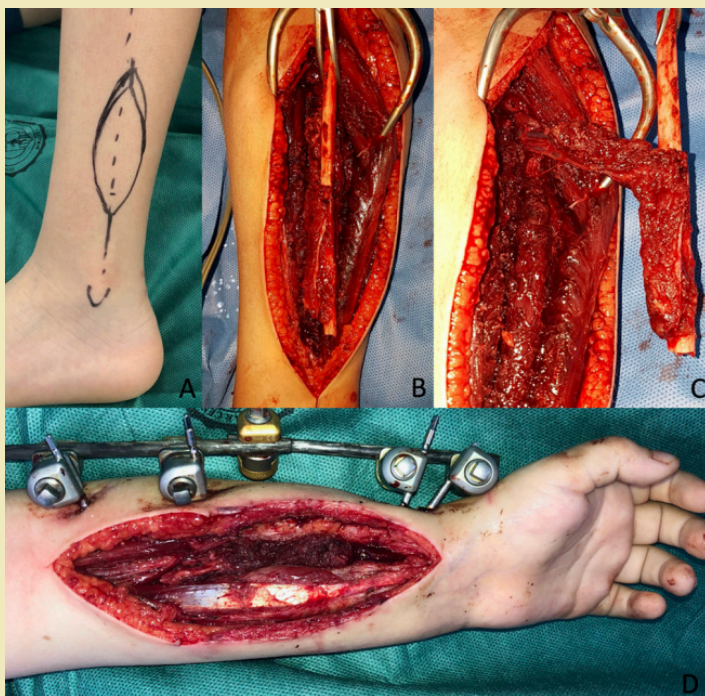


Figura 2. Reconstrucción de defecto óseo en antebrazo con colgajo libre de peroné. (A) Diseño del colgajo en la pierna. (B) Elevación del colgajo osteomuscular, mostrando el segmento de peroné. (C) Colgajo de peroné vascularizado listo para la transferencia. (D) Defecto complejo postraumático en el antebrazo, listo para recibir el colgajo. **Fuente:** Gaviria-Pinzón, J., et al. (2021).

- **Otros Colgajos Libres:** El dorsal ancho ofrece el mayor volumen muscular para obliterar grandes espacios muertos. El recto abdominal es otra opción voluminosa, aunque con mayor morbilidad de la pared abdominal. El gracilis es ideal para transferencias funcionales. La Tabla 2 detalla las indicaciones y características de los colgajos libres más comunes.

Tabla 2. Selección de Colgajos Libres para la Reconstrucción de Extremidades

Tipo de Defecto	Colgajo Recomendado (Pedículo Vascular)	Ventajas y Consideraciones Clave
Cobertura Extensa de Tejidos Blandos	Anterolateral de Muslo (ALT) (A. Circunfleja Femoral Lateral)	Ventajas: - Alta versatilidad y fiabilidad. - Pedículo vascular largo. - Mínima morbilidad donante. Consideraciones: - Anatomía de perforantes variable - Puede requerir adelgazamiento.
Espacio Muerto / Osteomielitis	Dorsal Ancho (A. Toracodorsal)	Ventajas: - Gran masa muscular vascularizada - Pedículo muy largo y fiable. - Rellena grandes cavidades. Consideraciones: - Requiere cambio de decúbito - Riesgo de seroma.
Defecto Óseo Segmentario (>6 cm)	Peroné Vascularizado (A. Peronea)	Ventajas: - Hueso cortical ideal para carga. - Longitud ósea predecible. - Isla cutánea para monitorización. Consideraciones: - Requiere fijación ósea estable. - Morbilidad de tobillo.
Restauración Funcional (Músculo)	Gracilis (Rama de la A. Circunfleja Femoral Medial)	Ventajas: - Excursión muscular predecible. - Morbilidad donante mínima. Consideraciones: - Potencia muscular limitada. - Pedículo vascular corto.

Fuente: Elaboración propia basada en la literatura de Hamdi M, et al. (2022) y Hong JP, et al. (2021) (1, 14).

Manejo Postoperatorio y Monitorización del Colgajo

La fase postoperatoria es tan crucial como la intervención quirúrgica. La viabilidad del colgajo depende de la permeabilidad de la anastomosis microvascular, especialmente en las primeras 48-72 horas.

- **Monitorización Clínica:** Es la más importante y debe ser realizada por personal entrenado. Se evalúa cada hora inicialmente, valorando: color (rosado), temperatura (tibio), turgencia (suave) y tiempo de llenado capilar (1-2 segundos). El "pinprick test" (punción con aguja) debe mostrar sangre roja y brillante.
- **Monitorización Instrumental:** El Doppler acústico portátil es una herramienta simple y eficaz para verificar el flujo en el pedículo. Sistemas más avanzados como el Doppler implantable (colocado en la vena) o la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) ofrecen una monitorización continua y objetiva, permitiendo una detección precoz de la trombosis vascular (3).
- **Manejo Sistémico:** El paciente debe mantenerse normotérmico, normovolémico y con una presión arterial media adecuada para asegurar la perfusión del colgajo. El uso de anticoagulación o antiagregación es común, aunque los protocolos varían entre centros y no hay un consenso definitivo en la literatura (2).

Ante cualquier signo de compromiso vascular (colgajo pálido, frío, sin sangrado = oclusión arterial; colgajo congestivo, azulado, con sangrado rápido y oscuro = oclusión venosa), la indicación es la re-exploración quirúrgica inmediata. La tasa de salvamento del colgajo es alta si la revisión se realiza dentro de las primeras 6 horas del evento isquémico.



Figura 3. Resultado clínico de la reconstrucción de un defecto complejo en la pierna. **A)** Defecto postraumático en el tercio distal con exposición de estructuras profundas. **B)** Resultado a los 6 meses tras la cobertura con un colgajo libre microquirúrgico, mostrando una integración completa, un contorno adecuado y una cobertura estable que permitió la recuperación funcional de la extremidad. **Fuente:** Parrett, C.N., & Pribaz, J.J.

Conclusión y Direcciones Futuras

La cobertura de defectos complejos en las extremidades ha pasado de ser un acto de salvamento a una ciencia reconstructiva refinada. El enfoque ortoplástico, la planificación meticulosa basada en imagenología avanzada, el desbridamiento radical y la selección de la técnica reconstructiva óptima desde el inicio son los pilares del éxito. El dominio de un amplio abanico de opciones, desde un simple injerto hasta la transferencia de colgajos quiméricos vascularizados, permite al cirujano reconstructivo moderno no solo salvar una extremidad, sino restaurar la calidad de vida de los pacientes.

El futuro se encamina hacia la personalización de la reconstrucción. La impresión 3D para guías de corte en reconstrucción ósea, el uso de matrices dérmicas acelulares para defectos más superficiales y los avances en ingeniería tisular y alotrasplante de tejidos compuestos vascularizados (VCA) prometen abrir nuevas fronteras en el tratamiento de las lesiones más devastadoras de las extremidades.

Bibliografía

1. Hamdi M, Vanmierlo B, D'Arpa S, et al. A new reconstructive algorithm for soft tissue defects of the lower extremity. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2022;75(8):2535-2546.
2. Garner MR, Sethuraman SA, Wolfe VM, et al. Modern Lower Extremity Trauma Reconstruction. *Plast Reconstr Surg*. 2021;148(4):615e-629e.
3. Stranix JT, Lee ZH, Jacoby A, et al. A Framework for Limb Salvage and Definitive Soft Tissue Reconstruction for Complex Lower Extremity Trauma. *J Reconstr Microsurg*. 2020;36(8):571-583.
4. Lautié A, Echalié C, Bouyer M, et al. Lower extremity soft tissue reconstruction. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2022;108(1S):103175.
5. Phillips BT, Bishop SN, Bustillo A, et al. The Impact of Smoking on Microsurgical Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Plast Reconstr Surg*. 2020;145(2):545-555.
6. Fanzio PM, Faria JC, de Ferreira MC. Extremity Reconstruction in the Elderly: A Review of Outcomes and Complications. *Ann Plast Surg*. 2021;86(5):590-595.
7. Cho EH, Shammass RL, Riel RU, et al. Is the Reconstructive Ladder Still Applicable for Lower Extremity Reconstruction? A Systematic Review of

- the Literature. *J Reconstr Microsurg.* 2020;36(2):112-120.
8. Hake ME, Oh J, Mauffrey C. Modern concepts in the management of the open tibia fracture. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2020;13(1):101-109.
 9. Gabriel A, Gupta S, Griffin L, et al. The role of negative pressure wound therapy with instillation and dwell time in complex limb salvage. *Int Wound J.* 2021;18(5):630-640.
 10. Kim PJ, Attinger CE, Steinberg JS, et al. The impact of negative-pressure wound therapy with instillation on wounds containing schmutzdecke or biofilm. *Wound Repair Regen.* 2021;29(1):89-97.
 11. Pu LLQ, Levine JP, Wei FC. *Reconstructive Surgery of the Lower Extremity.* 2nd ed. CRC Press; 2017.
 12. Ninkovic M, Voigt S. The role of microsurgery in modern orthoplastic reconstruction of the extremities. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2021;47(3):685-697.
 13. Paro J, Chieng D, Wu T, et al. A systematic review of propeller flaps for lower limb reconstruction: A focus on outcomes and complications. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2022;75(1):157-169.
 14. Hong JP, Lee YS. The Versatility of the Anterolateral Thigh Flap: A Comprehensive Review. *Semin Plast Surg.* 2021;35(3):160-168.

Biomateriales y Suturas: Ciencia e Innovación

María Fernanda Sotalin Torres

Introducción:

La ciencia de los biomateriales quirúrgicos ha experimentado una profunda transformación conceptual. Históricamente, el objetivo principal en el diseño de un implante o sutura era la *bioinercia*: la capacidad de un material para residir en el huésped con una respuesta inflamatoria mínima, actuando como un soporte pasivo para la reparación tisular. Este paradigma ha sido suplantado por un enfoque más dinámico y funcional: la *bioactividad* y la *biointegración*.

Los biomateriales contemporáneos ya no son espectadores pasivos en el proceso de curación; son participantes activos. Se espera que interactúen con el entorno biológico a nivel celular y molecular para modular la respuesta del huésped, guiar la regeneración tisular y, en algunos casos, monitorizar el estado fisiológico. Esta evolución ha sido catalizada por avances en la ciencia de polímeros, la nanotecnología y la biología sintética (1).

Las suturas quirúrgicas, el biomaterial más fundamental y ubicuo, sirven como un microcosmos de esta revolución. Han evolucionado de ser simples filamentos para la aproximación mecánica de tejidos a convertirse en plataformas terapéuticas sofisticadas. Las suturas modernas pueden estar diseñadas para liberar fármacos de manera controlada, prevenir activamente la colonización bacteriana o incluso detectar signos tempranos de infección (2).

Paralelamente, el arsenal de biomateriales se ha expandido para incluir adhesivos tisulares bioinspirados que superan las limitaciones de las suturas en tejidos friables, mallas compuestas que se remodelan junto con el paciente y

andamios bioimpresos en 3D que ofrecen una reparación específica para cada individuo (3).

Este capítulo analiza el estado del arte de los biomateriales y suturas, enfocándose en la ciencia subyacente y las innovaciones que están definiendo la próxima generación de intervenciones quirúrgicas. El objetivo ya no es meramente reparar, sino regenerar, modular y monitorizar.

Fundamentos de la Interacción Material-Huésped

Biocompatibilidad: Una Definición Dinámica

El pilar de la ciencia de los biomateriales sigue siendo la biocompatibilidad. La definición clásica se ha refinado para reflejar el nuevo paradigma activo: no es solo la ausencia de toxicidad, sino la "capacidad de un biomaterial para desempeñar la función deseada... generando la respuesta tisular beneficiosa más apropiada" (4). Esta definición implica una interacción deseada.

Las propiedades clave que dictan esta interacción incluyen:

- **Propiedades de Superficie (Química y Topografía):** La interfaz inmediata entre el material y el tejido. La hidrofiliidad, la carga de superficie y la nanotextura dictan la adsorción inicial de proteínas (p.ej., albúmina vs. fibrinógeno), lo que a su vez dirige la adhesión celular subsiguiente.
- **Propiedades Mecánicas:** El Módulo de Young (rigidez) debe mimetizar el tejido diana. Un desajuste mecánico (p.ej., una placa ósea demasiado rígida) puede causar atrofia ósea por estrés (stress shielding).
- **Cinética de Degradación:** En los materiales absorbibles, la tasa de pérdida de masa y resistencia mecánica debe coincidir con la tasa de neogénesis tisular. Los subproductos de la degradación (p.ej., ácido láctico del PLA) deben ser metabolizables sin inducir una respuesta inflamatoria excesiva.

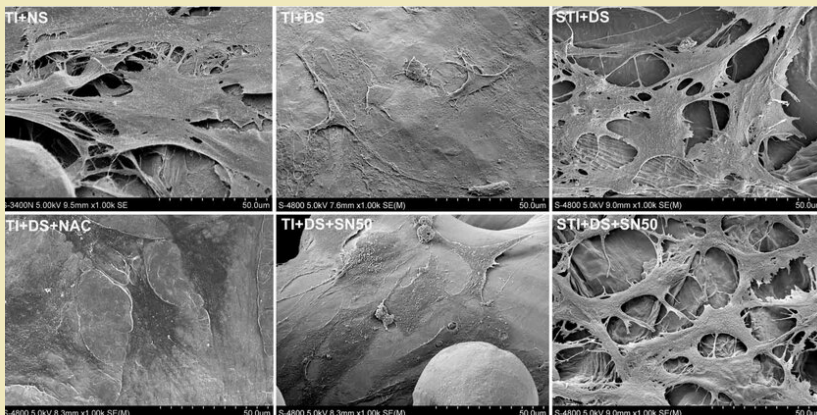


Figura 1. El Paradigma de la Biointegración Activa. Micrografías electrónicas de barrido (SEM) que muestran la interacción material-huésped a nivel celular. Obsérvese cómo las células (probablemente osteoblastos) se adhieren y extienden sus filopodios sobre la superficie texturizada de un implante de titanio (Ti), demostrando una adhesión celular activa. Los diferentes paneles (Ti+DS, Ti+NS) ilustran cómo los distintos tratamientos de superficie modulan esta respuesta celular. **Fuente:** Li Y, et al. *Front Bioeng Biotechnol.* 2020.

Clasificación de los Biomateriales Quirúrgicos

La clasificación tradicional por origen (metal, cerámica, polímero) sigue siendo útil, aunque la innovación actual reside en los materiales compuestos e híbridos.

- **Metales:** Utilizados para soporte de carga (ortopedia, craneofacial).
 - **Estándar:** Acero inoxidable (316L), aleaciones de Titanio (Ti-6Al-4V), Cobalto-Cromo (CoCr).
 - **Innovación:** Aleaciones de Magnesio (Mg) biodegradables. Estos metales reabsorbibles ofrecen una alta resistencia inicial para la fijación ósea (tornillos, placas) y se degradan gradualmente mediante corrosión fisiológica, eliminando la necesidad de una segunda cirugía para retirar el implante (5). El control de la tasa de corrosión sigue siendo el principal desafío de investigación.

- **Cerámicas:**
 - **Bioinertes:** Alúmina y Zirconia (alta resistencia al desgaste; uso en cabezas femorales).
 - **Bioactivas:** Hidroxiapatita (HA), Fosfatos de Calcio (TCP). Promueven la osteointegración mediante la unión directa al hueso.
 - **Innovación:** Vidrios bioactivos dopados iónicamente. La incorporación de iones como Estroncio (Sr) o Silicio (Si) en la matriz de la cerámica puede conferir propiedades osteogénicas y angiogénicas mejoradas (6).
- **Polímeros:** La clase más diversa, fundamental para suturas, mallas, adhesivos e ingeniería de tejidos.
 - **No Absorbibles:** Polipropileno (PP), Poliéster (PET), Nylon, ePTFE (Politetrafluoroetileno expandido).
 - **Absorbibles (Sintéticos):** Basados en poliésteres alifáticos. La cinética de degradación (hidrólisis) varía:
 - **Rápida:** Ácido Poliglicólico (PGA) (p.ej., Dexon).
 - **Media:** Copolímero PGA-co-PLA (p.ej., Vicryl).
 - **Lenta:** Polidioxanona (PDO/PDS).
 - **Muy Lenta:** Policaprolactona (PCL).
 - **Naturales:** Colágeno, Quitosano, Ácido Hialurónico, Alginato, Seda. Son inherentemente biocompatibles y poseen motivos de reconocimiento celular, pero su antigenicidad y variabilidad de lote deben ser controladas.

Suturas Quirúrgicas: De la Aproximación Pasiva a la Modulación Activa

El cierre de heridas sigue siendo el paso quirúrgico más común. La sutura ideal debe proporcionar una resistencia a la tracción adecuada, un manejo predecible, seguridad en el nudo y una reacción tisular mínima. Las innovaciones se centran en resolver los fracasos históricos: la infección y la falla mecánica del nudo.

La Evolución de las Suturas Antimicrobianas

La infección del sitio quirúrgico (ISQ) es una complicación devastadora. Las suturas, especialmente las multifilamento, pueden actuar como un nido para la colonización bacteriana y la formación de biofilms.

El estándar de recubrimiento con Triclosán (un antiséptico de amplio espectro) ha demostrado reducir las tasas de ISQ. Sin embargo, las preocupaciones sobre la resistencia bacteriana y la citotoxicidad potencial han impulsado la investigación hacia alternativas más sofisticadas y biológicamente seguras (Ver Tabla 1). El objetivo actual no es solo matar bacterias planctónicas, sino prevenir la formación de biofilm (7, 8).

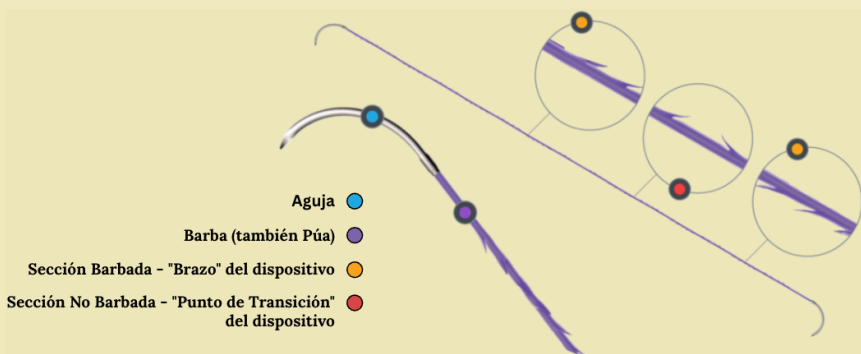


Figura 2. Diagrama de una sutura barbada (knotless) bidireccional. Se observan los componentes clave: la aguja (Needle), las barbas o púas (Barb) diseñadas para anclarse en el tejido, la sección barbada (Barbed Section) y el punto de transición (Transition Point) o sección no barbada. **Fuente:** Barbed Surgical Sutures. Biotextiles2017blog. 2017

Suturas Barbadas (Knotless Sutures): La Revolución Mecánica

Las suturas barbadas (o dentadas) representan un cambio significativo en la técnica de cierre. Son suturas monofilamento que poseen púas microtalladas en su superficie, diseñadas para anclarse en el tejido en una sola dirección.

- **Mecanismo:** Distribuyen la tensión a lo largo de toda la línea de sutura, en lugar de concentrarla en los nudos.
- **Impacto Clínico:**
 1. **Eliminación del Nudo:** El nudo es el punto más débil de una sutura tradicional y una fuente de reacción a cuerpo extraño. Su eliminación reduce el riesgo de dehiscencia por deslizamiento del nudo.
 2. **Eficiencia Quirúrgica:** Reducen significativamente el tiempo operatorio, un factor crítico en cirugía mínimamente invasiva (laparoscópica y robótica), donde la realización de nudos intracorpóreos es técnicamente demandante (9).
 3. **Mejor Perfusión:** Al distribuir la tensión, evitan la isquemia puntual que puede causar un nudo apretado, mejorando potencialmente la cicatrización.
- **Innovación:** El diseño de las púas (bidireccionales vs. unidireccionales, ángulo de corte, densidad) y el uso de materiales absorbibles de soporte prolongado (como el PDO) han expandido su uso desde la cirugía plástica hasta la urología y la ginecología (10).

Consideraciones Clínicas, Evidencia y Complicaciones de las Suturas Barbadas

Aunque revolucionarias, la adopción de las suturas barbadas requiere comprender sus limitaciones y modos de falla específicos.

- **Evidencia Clínica:** Múltiples metaanálisis han confirmado su principal ventaja: una reducción significativa del tiempo operatorio, especialmente en procedimientos mínimamente invasivos (laparoscopia, robótica) donde el anudado intracorpóreo es complejo. Sin embargo, la evidencia que demuestre una superioridad en la reducción de tasas de dehiscencia o ISQ (infección del sitio quirúrgico) frente a una sutura convencional bien realizada es menos robusta (21).
- **Complicaciones y Manejo Técnico:**
 1. **Falla por Desgarro (Pull-through):** Las púas se anclan en el tejido. En tejidos friables (hígado, bazo, tejido graso), aplicar demasiada tensión puede hacer que las púas desgarren el tejido, provocando una falla de la sutura.
 2. **Fruncimiento Tisular (Tissue Bunching):** Al ser unidireccionales, un tensionado incorrecto puede "acordeonar" o fruncir el tejido, lo que puede ser problemático en anastomosis que requieren una aposición precisa.
 3. **Resistencia Tensil:** El proceso de tallado de las púas reduce la masa central del monofilamento, disminuyendo intrínsecamente su resistencia a la rotura en comparación con una sutura no barbada del mismo calibre (USP).
 4. **Dolor Postoperatorio:** Si se colocan demasiado superficiales (p.ej., en el cierre subcuticular), las púas pueden anclarse en la dermis, causando una sensación punzante o dolor crónico hasta su absorción.

Suturas "Inteligentes": Plataformas Teranósticas

La frontera de la innovación reside en las suturas "teranósticas" (terapéuticas + diagnósticas). Estas suturas funcionan como plataformas de monitorización *in situ* y de administración de fármacos (2, 11).

- **Suturas Diagnósticas (Sensoras):**

- **monitorización de la Infección:** Las suturas pueden incorporar sensores químicos. El cambio de pH en el microambiente de la herida es un indicador temprano de infección bacteriana (típicamente una alcalinización). Se han desarrollado suturas con recubrimientos de hidrogel que contienen colorantes indicadores de pH, proporcionando una señal visual de infección antes de que aparezcan los signos clínicos (12).

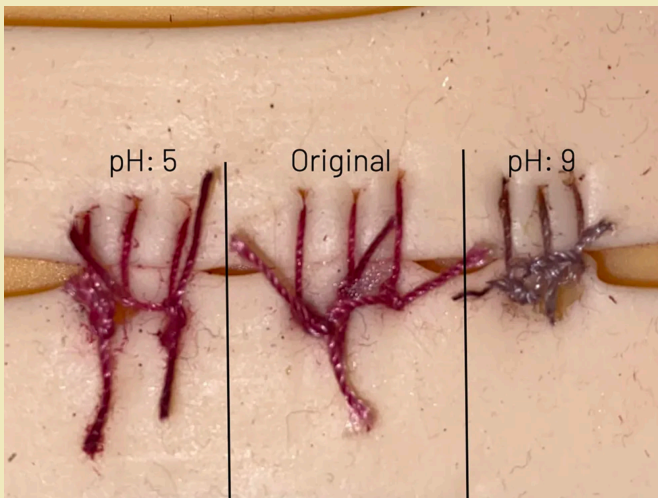


Figura 3. Sutura "Inteligente" con Sensor de pH para Detección de Infección. La imagen ilustra el concepto de sutura diagnóstica. La sutura (Original) está diseñada para cambiar de color (a un tono grisáceo/azulado) cuando se expone a un pH alcalino (pH 9), un indicador temprano de infección bacteriana, mientras mantiene su color en condiciones normales o ácidas (pH 5). **Fuente:** Dickey R. Smithsonian Mag. 2021.

- **monitorización de la Tensión:** Para anastomosis críticas (gastrointestinales, vasculares), la dehiscencia es catastrófica. Se están desarrollando suturas con propiedades piezoeléctricas o recubiertas de nanomateriales conductores (p.ej., nanotubos de carbono). Un cambio en la tensión de la herida altera la resistencia eléctrica del hilo, lo que puede ser

medido de forma inalámbrica para alertar sobre una tensión indebida o una falla inminente (11).

- **Suturas Terapéuticas (Liberación de Fármacos):**

- **Manejo del Dolor:** Suturas recubiertas con micropartículas de polímeros (p.ej., PLGA) que encapsulan anestésicos locales (p.ej., bupivacaína). Estas suturas proporcionan una analgesia localizada y sostenida en el sitio quirúrgico durante días, reduciendo la necesidad de opiáceos sistémicos (13).
- **Modulación de la Cicatrización:** Suturas que liberan AINEs para controlar la inflamación inicial, o factores de crecimiento (p.ej., PDGF, VEGF) para acelerar la curación en pacientes comprometidos (diabéticos, irradiados).

Materiales Novedosos para Suturas

- **Seda de Araña Recombinante:** Conocida por su combinación inigualable de resistencia (superior al acero) y elasticidad (superior al nylon). La producción mediante biotecnología (proteínas recombinantes) ha permitido su uso en microcirugía y oftalmología, donde se requiere alta resistencia con un calibre mínimo y baja inmunogenicidad (14).
- **Polímeros con Memoria de Forma (Shape-Memory):** Suturas que pueden ser introducidas en una forma (p.ej., recta) y, al ser activadas por la temperatura corporal, adoptan una forma pre-programada (p.ej., un nudo autoajutable). Esto simplifica enormemente los procedimientos mínimamente invasivos (15).

Tabla 1. Innovaciones en Recubrimientos Antimicrobianos para Suturas Quirúrgicas

Estrategia de Recubrimiento	Mecanismo de Acción Principal	Ventajas y Desafíos Clínicos
Nanopartículas Metálicas (p.ej., Plata, Cobre)	Liberación de iones (Ag^{+} , Cu^{2+}) que desnaturalizan proteínas bacterianas y generan ROS.	• Ventajas: Amplio espectro (incluyendo MRSA/VRE). • Desafíos: Citotoxicidad dependiente de la dosis; potencial de resistencia a largo plazo; argiria (con plata) (8).
Péptidos Antimicrobianos (AMPs)	Péptidos catiónicos (naturales o sintéticos) que desestabilizan electrostáticamente la membrana bacteriana (lisis).	• Ventajas: Alta especificidad bacteriana (baja toxicidad para células eucariotas); bajo riesgo de resistencia. • Desafíos: Alto costo de producción; estabilidad (degradación por proteasas) (7).
Polímeros Catiónicos (p.ej., Quitosano)	El polímero (cargado +) interactúa y rompe la membrana bacteriana (cargada -).	• Ventajas: Biocompatible, biodegradable, hemostático, promotor de la cicatrización. • Desafíos: Potencia antimicrobiana moderada (generalmente bacteriostático) (1).
Recubrimientos Anti-Adhesivos (Anti-Biofilm)	Previenen la adhesión bacteriana inicial, en lugar de matar. (p.ej., Polietilenglicol PEG).	• Ventajas: No induce resistencia; no es tóxico. • Desafíos: No elimina las bacterias si la contaminación ya ocurrió; durabilidad del recubrimiento (7, 8).
Sistemas de Liberación de Fármacos (p.ej., Clorhexidina)	Liberación sostenida de antisépticos conocidos.	• Ventajas: Eficacia comprobada del agente. • Desafíos: Cinética de liberación (evitar el burst release tóxico); integración con el polímero de la sutura (16).

Fuente: Elaborado por el autor a partir de las revisiones sistemáticas de Li X, et al. (2), García-Pérez M, et al. (7), y De Breij A, et al. (8).

Biomateriales Quirúrgicos Fundamentales: Hemostasia y Grapado

Si bien las suturas representan el método clásico de aproximación, la cirugía moderna depende de un arsenal de biomateriales diseñados para dos funciones críticas: el control del sangrado (hemostasia) y la aproximación mecánica rápida (grapado y ligadura).

Agentes Hemostáticos Tópicos: El Control del Sangrado

El control del sangrado en campo quirúrgico (difuso, capilar, o en órganos parenquimatosos) es un pilar de la técnica quirúrgica. Los agentes hemostáticos tópicos son biomateriales diseñados para actuar donde la sutura o la electrocauterización son ineficaces o inapropiadas. Se clasifican según su mecanismo de acción:

1. Hemostáticos Mecánicos (Pasivos):

- **Mecanismo:** Proporcionan un andamio físico o una matriz que facilita la agregación plaquetaria y la formación del coágulo. Son biológicamente inertes.
- **Materiales Clave:**
 - **Celulosa Oxidada Regenerada (COR):** (p.ej., Surgicel). Material absorbible (semanas) con pH bajo, lo que le confiere propiedades bactericidas incidentales.
 - **Esponjas de Gelatina:** (p.ej., Gelfoam, Spongostan). Derivadas de colágeno porcino o bovino, absorben múltiples veces su peso en sangre. Se reabsorben en 4-6 semanas.
 - **Colágeno Microfibrilar:** (p.ej., Avitene). Derivado de colágeno bovino, promueve la adhesión y agregación plaquetaria de forma activa.

2. Hemostáticos Activos:

- **Mecanismo:** Contienen factores de la coagulación (típicamente trombina) que actúan directamente en la cascada biológica para convertir el fibrinógeno en fibrina, formando un coágulo independientemente de la hemostasia del paciente.
- **Materiales Clave:**
 - **Trombina (Humana o Bovina):** A menudo se aplica tópicamente o combinada con esponjas de gelatina.
 - **Selladores de Fibrina:** (p.ej., Tisseel, Evicel). Son sistemas de dos componentes (Trombina y Fibrinógeno) que al mezclarse polimerizan *in situ*, imitando el paso final de la cascada de coagulación. Son excelentes para sellar (p.ej., líneas de sutura vascular) además de para la hemostasia.

3. Selladores y Hemostáticos Híbridos:

- **Mecanismo:** Combinan un soporte mecánico con componentes activos o sintéticos.
- **Materiales Clave:**
 - **Polvos Hemostáticos:** (p.ej., Arista - polisacárido microporoso). Absorben agua del plasma sanguíneo, concentrando plaquetas y factores de coagulación en el sitio.
 - **Selladores Sintéticos (PEG):** Polímeros de Polietilenglicol que se reticulan *in situ* para formar una barrera de hidrogel, sellando mecánicamente el sangrado o fugas (p.ej., fugas de aire pulmonar).

Grapado Quirúrgico y Clips de Ligadura: El Pilar Mecánico

Desde su introducción, el grapado mecánico ha revolucionado la cirugía al reducir drásticamente el tiempo

operatorio y estandarizar procedimientos complejos (p.ej., anastomosis gastrointestinales, resecciones pulmonares).

1. Grapas Quirúrgicas:

- **Material:** El estándar es el Titanio. Se elige por su absoluta bioinercia (forma una capa de óxido de titanio pasiva), su alta resistencia y su nulo artefacto en estudios de Resonancia Magnética (RM) (es paramagnético, no ferromagnético).
- **Innovación (Refuerzo de Línea de Grapa - Buttressing):** El principal modo de falla del grapado es el desgarro del tejido o el sangrado en la línea de grapas. La innovación aquí es un biomaterial que refuerza esta línea.
 - **Materiales Absorbibles Sintéticos:** Copolímeros de Ácido Poliglicólico (PGA) (p.ej., Seamguard).
 - **Materiales Biológicos:** Matriz de submucosa intestinal porcina (SIS) o pericardio bovino. Estos refuerzos distribuyen la fuerza de la grapa, promueven la hemostasia y reducen las fugas (crítico en cirugía bariátrica y torácica).

2. Clips de Ligadura:

- **Materiales Clásicos:** Al igual que las grapas, los clips de Titanio han sido el estándar para la oclusión permanente de vasos y conductos (p.ej., arteria y conducto cístico en la colecistectomía).
- **Innovación (Clips Poliméricos):** Han ganado una enorme popularidad los clips de polímeros no absorbibles (p.ej., Hem-o-lok).
 - **Ventajas:** Proporcionan un cierre más seguro con un mecanismo de bloqueo, no generan artefactos en la Tomografía Computarizada (TC) o RM (radiolúcidos), y

eliminan el riesgo (aunque bajo) de migración del clip metálico. También existen clips de polímeros totalmente absorbibles (PGA) para oclusión temporal.

Innovación en Otros Biomateriales Quirúrgicos

Adhesivos y Selladores Tisulares

Las suturas y grapas inducen trauma por perforación. En tejidos friables (hígado, pulmón, bazo) o en cirugía vascular y neurológica, los adhesivos son superiores.

- **Clásicos:** Cianoacrilatos (fuerte adhesión, pero rígidos y citotóxicos), Selladores de Fibrina (biocompatibles, pero baja fuerza adhesiva).
- **Innovación: Adhesivos Bio-inspirados.** El estándar emergente se basa en la química de los mejillones (*Mytilus edulis*), que se adhieren a rocas en ambientes húmedos. Utilizan un aminoácido (L-DOPA) para crear enlaces covalentes fuertes con las superficies tisulares.
 - **Hidrogeles a base de Catecol:** Polímeros (como el Ácido Hialurónico o la Gelatina) modificados con catecol (el grupo funcional de la DOPA). Estos geles se aplican y se reticulan *in situ* (a menudo mediante oxidación leve), creando un sello elástico y hermético que funciona en presencia de sangre (17).

Mallas Quirúrgicas: De la Reparación Estática a la Remodelación Dinámica

El uso de mallas de polipropileno (PP) para la reparación de hernias revolucionó la cirugía, pero sus complicaciones a largo plazo (dolor crónico, infección, erosión) son bien conocidas. La innovación se centra en mallas más inteligentes.

- **Mallas Ligeras (Lightweight PP):** Mismo material (PP), pero con poros más grandes y menos masa total. Esto

reduce la "cicatriz" fibrótica, disminuyendo la rigidez de la pared abdominal y el dolor crónico (18).

- **Mallas Compuestas (Absorbibles / No Absorbibles):** Mallas que combinan un componente no absorbible de soporte a largo plazo (PP) con un componente absorbible (p.ej., PGA o PCL) que se degrada, dejando una reparación más flexible.
- **Mallas de Remodelación (Reabsorbibles de Larga Duración):** A diferencia de las mallas biológicas (Matriz Dérmica Acelular), que son costosas y variables, las nuevas mallas sintéticas absorbibles (p.ej., polímeros de Poli-4-hidroxibutirato o copolímeros de PCL/PGA) están diseñadas para reabsorberse muy lentamente (12-24 meses). Actúan como un andamio que induce el depósito de colágeno Tipo I del propio paciente, resultando en una pared abdominal funcional y neofisiológica, en lugar de una pared "reforzada" (19).

Bioimpresión 3D y Andamios Específicos del Paciente

La ingeniería de tejidos ha pasado del laboratorio al quirófano.

- **Implantes Específicos del Paciente (PEI):** Utilizando datos de TC/RM, se imprimen en 3D implantes a medida (usando PEEK o Titanio trabecular) para defectos craneomaxilofaciales o reemplazos vertebrales.
- **Bioimpresión 3D:** El concepto de imprimir andamios.
 - **Innovación:** Bioimpresión *in situ*. En lugar de cultivar un órgano en el laboratorio, se están desarrollando dispositivos de bioimpresión portátiles que permiten al cirujano "imprimir" una "biotinta" (un hidrogel, p.ej., GelMA, cargado con células madre del paciente) directamente en el defecto quirúrgico (p.ej., un defecto de cartílago o una quemadura extensa) (20).

Tabla 2. Plataformas de Suturas "Inteligentes": Sensores y Terapéutica

Dominio de Innovación	Tecnología Habilitadora	Aplicación Clínica y Potencial
Detección de Infección	Recubrimientos de hidrogel con indicadores de pH. Sensores electroquímicos miniaturizados.	Alerta temprana de ISO (cambio de color o señal) antes de la fiebre o leucocitosis. Reduce la morbilidad (12).
Detección de Dehiscencia	Fibras con propiedades piezo-resistivas (p.ej., recubiertas de Nanotubos de Carbono o Grafeno).	monitorización de la integridad de anastomosis (gastrointestinal, vascular). Alerta de tensión excesiva (11).
Analgesia Postoperatoria	Encapsulación de anestésicos (p.ej., Bupivacaína) en microesferas de PLGA en el recubrimiento de la sutura.	Liberación sostenida (48-72h) de anestesia en la herida. Reducción del uso de opiáceos sistémicos (13).
Cicatrización Acelerada	Incorporación de Factores de Crecimiento (p.ej., PDGF, VEGF) o Péptidos bioactivos.	Mejora de la curación en tejidos avasculares (tendones) o en pacientes comprometidos (pie diabético) (2).
Sutura Auto-ajustable	Polímeros con Memoria de Forma (SMPs) activados por la temperatura corporal.	Cierre de heridas sin nudos en cirugía laparoscópica. Aplicación de tensión constante y predecible (15).

Fuente: Basado en las revisiones de Li X, et al. (2), Farandos S, et al. (11), Xu Y, et al. (13), y Le S, et al. (15).

Desafíos Regulatorios y Perspectivas Futuras

La rápida innovación en biomateriales presenta desafíos regulatorios significativos. Una sutura que libera un fármaco o un sensor que transmite datos no es un dispositivo médico simple; es un *producto combinado* (dispositivo + fármaco) o un *dispositivo activo*. El camino de aprobación de la FDA (EE.UU.) o la EMA (Europa) es más complejo y costoso, lo que ralentiza la traslación clínica.

El principal desafío biológico sigue siendo la *batalla contra el biofilm*. La infección crónica de implantes es una catástrofe clínica. El futuro no reside en materiales bactericidas (que generan resistencia), sino en materiales *bacterio-repelentes* (anti-adhesivos) que imitan superficies naturales (p.ej., nanotexturas que replican la piel de tiburón) e impiden la adhesión inicial (1).

El horizonte es claro: la medicina personalizada (Medicina 4P). El cirujano del futuro utilizará biomateriales que son:

1. **Personalizados:** Bioimpresos en 3D para la anatomía del paciente.
2. **Predictivos:** Equipados con sensores que monitorizan la curación.
3. **Preventivos:** Diseñados para repeler la infección y modular la inflamación.
4. **Participativos:** Capaces de reclutar las propias células madre del paciente para una verdadera regeneración.

Conclusiones

El campo de los biomateriales quirúrgicos se ha alejado decisivamente de la pasividad mecánica. Las suturas, mallas y adhesivos contemporáneos están diseñados para interactuar, modular y, en última instancia, dirigir la respuesta biológica. La integración de la nanotecnología para el control de la superficie, la ciencia de los polímeros para la liberación controlada de fármacos y la bioimpresión para la fabricación específica del paciente, están redefiniendo los límites de la reparación quirúrgica. El éxito clínico de estas innovaciones dependerá de la demostración de su costo-efectividad y de la superación de los complejos desafíos regulatorios inherentes a los dispositivos bioactivos.

Bibliografía

1. Mihali M, Păvăloiu A-A, Mărășescu P, Cîrîc A, Vasile BS, Mărculescu A, et al. Recent advances in

- nanotechnology for the development of smart biomaterials for surgical applications. *Materials* (Basel). 2023;16(11):3994.
2. Li X, Wang H, Zhang Y. Smart sutures for wound monitoring and treatment. *Adv Funct Mater.* 2023;33(10):2210456.
 3. Murphy SV, Atala A. 3D bioprinting of tissues and organs. *Nat Biotechnol.* 2024;42(4):534-45.
 4. Williams DF. On the mechanisms of biocompatibility. *Biomaterials.* 2008;29(20):2941-53.
 5. Zhao D, Al-Dalain S, Chen R. Recent advances in biodegradable magnesium alloys for biomedical applications. *Bioact Mater.* 2022;15:166-73.
 6. Galli S, Terzini M, Catellani M, Finessi M. Copper oxide (CuO) nanoparticle coatings for antimicrobial and osteogenic surgical biomaterials. *Materials* (Basel). 2022;15(9):3245.
 7. García-Pérez M, Alonso M, Rodríguez-Díaz A. Novel antimicrobial coatings for surgical sutures: Beyond triclosan. *Biomaterials.* 2022;280:121289.
 8. De Breij A, D'Agostino T, van der Meer JWM, Kweekel DB, Riool M, Zaat SAJ. Silver nanoparticle-coated sutures: assessing efficacy, toxicity, and potential for resistance. *J Am Coll Surg.* 2021;232(4):469-79.
 9. Moran ME, Marsh C, Stein S. Suture technology 2.0: the benefits of knotless barbed sutures in clinical practice. *Surg Technol Int.* 2020;37:25-31.
 10. Patel S, Williams GR. The evolution of barbed sutures in wound closure: A review. *J Surg Res.* 2021;262:145-52.
 11. Farandos S, Aghaei-Ghareh-Bolagh B, Joyce T, Yetisen AK. Therapeutics-eluting sutures for localized drug delivery. *Adv Funct Mater.* 2021;31(39):2010186.

12. GAMA M, Hosseini-Giv H, Mostafavi E, Tavanai H, Shojae-Shahmirzadi M. pH-sensitive smart sutures based on natural dyes: A novel approach for early detection of surgical site infections. *ACS Biomater Sci Eng*. 2023;9(5):2547-59.
13. Xu Y, Chen H, Li J. Bupivacaine-eluting surgical sutures for prolonged postoperative pain management: A systematic review and meta-analysis. *Pain Res Manag*. 2022;2022:9945143.
14. Doblhofer E, Heide M, Scheibel T. Recombinant spider silk sutures: A new biomaterial for microsurgery. *Biomaterials*. 2020;256:120219.
15. Le S, Zare F, Lv P, Wajid S, Zheng W, Ge Z. Shape memory polymer-based self-knotting sutures: A review of recent advancements. *J Mater Chem B*. 2021;9(34):6768-83.
16. Udebuani AC, Abara PN, Obasi NA, Okeke IE, Al-Shwafi HA. Advances in antimicrobial-coated sutures for the prevention of surgical site infections. *Heliyon*. 2024;10(5):e27142.
17. Han L, Lu X, Liu K, Wang K, Fang L, Weng J. Mussel-inspired adhesives for surgical applications: recent advances and new perspectives. *J Mater Chem B*. 2021;9(2):259-74.
18. Köckerling F, Schug-Pass C. Surgical mesh for hernia repair: an update. *Front Surg*. 2020;7:58.
19. Deeken CR, Matthews BD. Long-term bioabsorbable meshes in abdominal wall reconstruction: A review of the literature. *World J Surg*. 2021;45(8):2453-62.
20. Wang M. In situ 3D bioprinting for tissue regeneration. *Mater Today*. 2022;57:134-56.
21. de Kerviler AMJ, Sakkab M, Jabbour S, H-G D, E B. Barbed versus conventional sutures for wound

closure in surgery: a systematic review and meta-analysis. *BJS Open*. 2020;4(5):775–86.

Descargo de Responsabilidad y Términos de Publicación

La presente publicación ha sido concebida como una fuente de consulta y referencia académica. La información contenida en sus capítulos no reemplaza, bajo ninguna circunstancia, la evaluación y el manejo clínico por parte de un profesional médico certificado. La aplicación de cualquier conocimiento aquí expuesto es responsabilidad última del lector.

Velseris Editores actúa únicamente como casa editorial; por tanto, el rigor científico, las posturas y las conclusiones vertidas en cada artículo son de exclusiva incumbencia de los autores firmantes.

ISBN: 978-9942-7441-8-0

Una producción de Velseris Editores

Octubre 2025

Quito, Ecuador

Esta obra está protegida por la legislación ecuatoriana sobre derechos de autor y propiedad intelectual, así como por los tratados internacionales aplicables. No se permite su reproducción, almacenamiento en sistemas recuperables de información, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otro sin el permiso previo y por escrito de los titulares de los derechos.