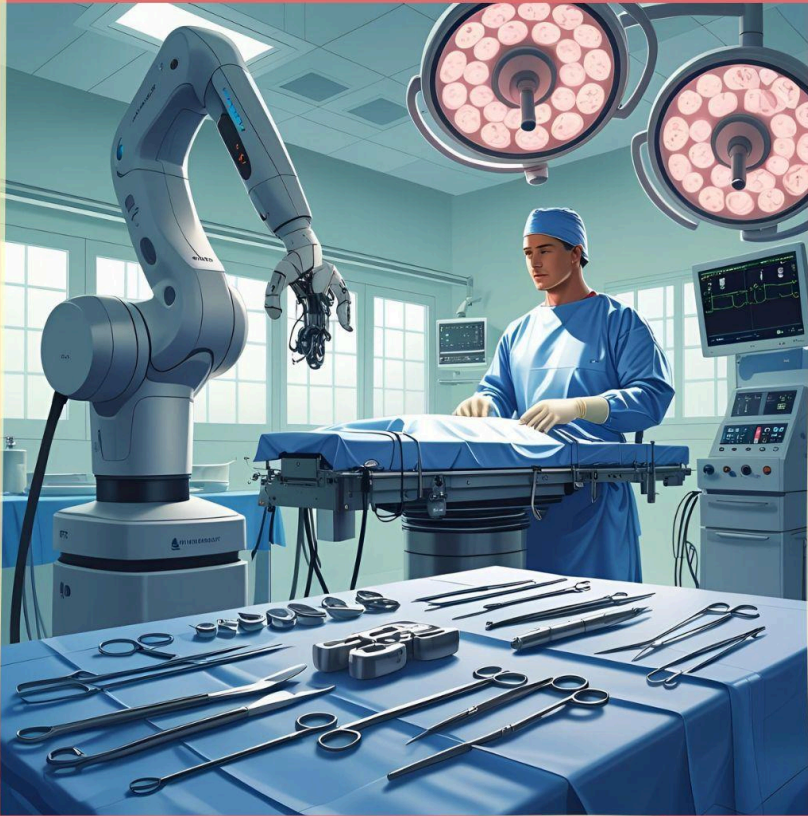


Cirugía General de Vanguardia: Innovación, Personalización y Nuevas Fronteras en la Práctica Quirúrgica



Ivy Gabriela Tituaña Luque
Jorge Oswaldo zamora Rea
Jemmilee Vanessa Salinas Bombón
Cristina Nicole Aguilera Moreno
Ariel Matheus Barragán Cisneros

Cirugía Robótica y Telesupervisión: De la Innovación a la Práctica Clínica

Ivy Gabriela Tituaña Luque

Médico General Universidad de Guayaquil

Médico General ASOMEDIC

Definición

La cirugía general de vanguardia representa una evolución paradigmática de la disciplina quirúrgica tradicional, trascendiendo la simple ejecución de procedimientos para convertirse en un campo integrador que fusiona la tecnología avanzada, la biología molecular y la ciencia de datos. Se define como el enfoque quirúrgico que utiliza las innovaciones más recientes como la cirugía robótica, la laparoscopia avanzada, la navegación guiada por imagen y la

inteligencia artificial para ofrecer tratamientos altamente personalizados, mínimamente invasivos y con resultados optimizados (1). Este enfoque no solo se centra en la erradicación de la patología, sino en la minimización del trauma fisiológico del paciente, la aceleración de la recuperación y la mejora de la calidad de vida a largo plazo. La personalización es su pilar fundamental, donde las decisiones terapéuticas se basan en la anatomía, fisiología y genómica únicas de cada individuo, marcando el inicio de una nueva era en la medicina quirúrgica.

Epidemiología

Cuantificar la "epidemiología" de una metodología innovadora es complejo; en su lugar, se analiza la tasa de adopción y penetración de estas tecnologías. A nivel mundial, la cirugía mínimamente invasiva (CMI), que incluye la laparoscopia y la robótica, se ha convertido en

el estándar de oro para un número creciente de procedimientos. En Estados Unidos y Europa, más del 80% de las colecistectomías y un porcentaje significativo de las colectomías, histerectomías y prostatectomías se realizan por vía laparoscópica o robótica (2).

En Ecuador, la adopción de estas tecnologías ha sido progresiva. Si bien no existen registros epidemiológicos nacionales centralizados sobre la tasa de conversión de cirugía abierta a CMI, los principales centros hospitalarios urbanos en Quito, Guayaquil y Cuenca han incorporado activamente la laparoscopia avanzada y plataformas robóticas como el sistema Da Vinci (3). La Sociedad Ecuatoriana de Cirugía Endoscópica (SECE) promueve activamente la formación y certificación en estas técnicas. La limitación principal para una diseminación más amplia sigue siendo el costo de la tecnología y la curva de aprendizaje asociada, lo que

genera una brecha entre los centros urbanos y rurales. Sin embargo, la tendencia global y regional indica un crecimiento sostenido en la aplicación de CMI, impulsado por la demostrada reducción en la estancia hospitalaria y las complicaciones postoperatorias (4).

Fisiopatología del Abordaje Quirúrgico

La base fisiopatológica que impulsa la cirugía de vanguardia es la mitigación de la respuesta sistémica al trauma quirúrgico. La cirugía abierta tradicional induce una cascada inflamatoria significativa debido a la extensa incisión de tejidos, la manipulación de órganos y la exposición visceral. Esto se traduce en una liberación masiva de citoquinas proinflamatorias (como IL-1, IL-6, TNF- α), un aumento del estrés oxidativo y una respuesta neuroendocrina de estrés elevada, con liberación de cortisol y catecolaminas (5). Clínicamente, esta respuesta se manifiesta como dolor postoperatorio severo, íleo

paralítico prolongado, mayor riesgo de infecciones y una recuperación más lenta.

En contraste, la cirugía mínimamente invasiva, al utilizar pequeñas incisiones (puertos) y una manipulación más precisa y contenida, atenúa drásticamente esta respuesta fisiopatológica. Estudios comparativos muestran niveles significativamente más bajos de marcadores inflamatorios séricos en pacientes sometidos a procedimientos laparoscópicos o robóticos en comparación con la cirugía abierta (6). La preservación de la integridad de la pared abdominal reduce el dolor, permite una movilización temprana y disminuye la incidencia de hernias incisionales. La insuflación con CO₂ durante la laparoscopia tiene sus propios efectos fisiopatológicos (como el aumento de la poscarga cardíaca y el riesgo de acidosis respiratoria), pero estos son generalmente bien manejados por el

equipo de anestesiología y se consideran un compromiso aceptable frente a los beneficios de la mínima invasión (7).

Cuadro Clínico y Aplicaciones

El "cuadro clínico" en este contexto no se refiere a una enfermedad, sino a los escenarios donde la cirugía de vanguardia demuestra su mayor eficacia. Las aplicaciones clínicas son vastas y abarcan prácticamente todas las subespecialidades de la cirugía general. En la cirugía colorrectal, la resección laparoscópica o robótica de tumores de colon y recto permite una disección oncológica precisa de los ganglios linfáticos con una recuperación funcional más rápida del tránsito intestinal (8). En la cirugía hepatobiliar, las hepatectomías y pancreatectomías robóticas ofrecen una visualización tridimensional magnificada y una destreza instrumental

que facilita la disección de estructuras vasculares y biliares complejas, reduciendo la pérdida de sangre.

Otras aplicaciones notables incluyen la cirugía de la hernia inguinal y ventral, donde la reparación laparoscópica (TAPP/TEP) o robótica se asocia con menos dolor crónico. En la cirugía bariátrica, el bypass gástrico y la gastrectomía en manga por vía laparoscópica son el estándar de oro, ofreciendo seguridad y eficacia. La cirugía de urgencia también se beneficia, con apendicectomías y colecistectomías laparoscópicas que permiten un retorno más rápido a las actividades normales. La personalización se manifiesta en la planificación preoperatoria, donde la reconstrucción 3D a partir de tomografías o resonancias magnéticas permite al cirujano ensayar virtualmente la cirugía y anticipar variantes anatómicas (9).

Diagnóstico y Planificación Quirúrgica de Precisión

El diagnóstico en la era de la cirugía de vanguardia va más allá de la identificación de la patología; se enfoca en la caracterización exhaustiva para una planificación quirúrgica precisa. La imagenología avanzada es fundamental. Las tomografías computarizadas (TC) y las resonancias magnéticas (RM) de alta resolución con protocolos específicos permiten no solo localizar la lesión, sino también definir su relación con estructuras vasculares y nerviosas vitales. El software de post-procesamiento puede generar modelos tridimensionales interactivos que el cirujano puede manipular para planificar los planos de disección y los márgenes de resección.

La inteligencia artificial (IA) está comenzando a jugar un papel crucial en esta fase. Los algoritmos de IA pueden analizar miles de imágenes radiológicas para detectar

patrones sutiles que el ojo humano podría pasar por alto, mejorando la precisión diagnóstica del cáncer, por ejemplo (10). Además, la "biopsia líquida", que analiza fragmentos de ADN tumoral circulante en la sangre, ofrece una herramienta de diagnóstico y seguimiento mínimamente invasiva que puede guiar la decisión de operar o de optar por terapias neoadyuvantes. La fusión de imágenes preoperatorias con la visión intraoperatoria en tiempo real (realidad aumentada) es otra frontera que permite al cirujano "ver" a través de los tejidos, localizando tumores o vasos sanguíneos subyacentes con una precisión sin precedentes (11).

Tratamiento: Modalidades Terapéuticas de Vanguardia

El tratamiento quirúrgico moderno se caracteriza por un arsenal de tecnologías diseñadas para maximizar la eficacia y minimizar la invasividad.

1. **Cirugía Robótica:** Plataformas como el sistema Da Vinci no son autónomas, sino que actúan como una extensión de las manos, ojos y cerebro del cirujano. Ofrecen visión 3D de alta definición, instrumentos con articulación de muñeca (EndoWrist) que superan el rango de movimiento humano y filtración del temblor. Esto se traduce en una mayor precisión, especialmente en espacios anatómicos reducidos como la pelvis o el hiato esofágico (4).
2. **Cirugía Guiada por Imagen (IGS):** Utiliza sistemas de seguimiento para correlacionar la posición de los instrumentos quirúrgicos con las imágenes preoperatorias del paciente. La fluorescencia con verde de indocianina (ICG) es un ejemplo práctico: al inyectarse, permite la visualización en tiempo real de la vascularización

de los tejidos o del sistema biliar, ayudando a prevenir lesiones iatrogénicas y a asegurar la perfusión adecuada de las anastomosis (12).

3. Inteligencia Artificial en el Quirófano: La IA no solo ayuda en el diagnóstico, sino también durante la cirugía. Sistemas de visión por computadora pueden analizar el video quirúrgico en tiempo real para identificar estructuras anatómicas críticas, alertar al cirujano sobre posibles peligros o incluso evaluar la calidad de una sutura. Esto promete estandarizar la calidad de los procedimientos y funcionar como un copiloto inteligente para el cirujano (10).

4. Cirugía Personalizada: La impresión 3D de modelos anatómicos específicos del paciente para la planificación preoperatoria es ya una realidad. A futuro, la integración de la

información genómica del tumor permitirá seleccionar terapias quirúrgicas y adyuvantes personalizadas, un enfoque conocido como "cirugía oncológica de precisión".

Pronóstico de los Pacientes

El pronóstico de los pacientes tratados con técnicas quirúrgicas de vanguardia es consistentemente superior en múltiples aspectos en comparación con la cirugía abierta tradicional. A corto plazo, se observa una reducción significativa del dolor postoperatorio, menor necesidad de analgesia opioide, una estancia hospitalaria más corta y una reincorporación más rápida a la vida laboral y social (2, 8). Las tasas de complicaciones de la herida quirúrgica, como infecciones e hernias incisionales, son drásticamente menores.

A largo plazo, para la cirugía oncológica, múltiples estudios han demostrado que los resultados de supervivencia global y libre de enfermedad de la cirugía mínimamente invasiva (laparoscópica y robótica) son equivalentes a los de la cirugía abierta, siempre que se respeten los principios oncológicos de resección (8). En algunas áreas, como el cáncer de próstata o de recto, la cirugía robótica ha demostrado ventajas en la preservación de la función nerviosa, lo que mejora los resultados funcionales (función urinaria y sexual) y, por ende, la calidad de vida postoperatoria.

Recomendaciones

Para integrar con éxito la cirugía de vanguardia en la práctica clínica, se deben seguir varias recomendaciones. Primero, es imperativa la inversión en programas de formación y simulación estructurados y continuos para los cirujanos y todo el equipo quirúrgico.

La curva de aprendizaje de las técnicas robóticas y laparoscópicas avanzadas es real y debe ser gestionada en un entorno seguro. Segundo, las instituciones de salud deben realizar un análisis costo-beneficio riguroso, considerando no solo el costo inicial del equipo, sino también los ahorros derivados de estancias hospitalarias más cortas y menos reintervenciones.

Tercero, es fundamental fomentar la investigación clínica local y regional, como en Ecuador y Latinoamérica, para validar los resultados de estas tecnologías en nuestras poblaciones y sistemas de salud.

Cuarto, se debe promover la colaboración multidisciplinaria: cirujanos, radiólogos, ingenieros biomédicos, patólogos y científicos de datos deben trabajar en conjunto para impulsar la innovación. Finalmente, es crucial mantener siempre al paciente en el centro de todas las decisiones, asegurando que la

adopción de nueva tecnología se traduzca en un valor tangible y una mejora real en su atención y bienestar.

Bibliografía

1. Melling N, Kstream S, Izbicki JR, Reeh M. The role of artificial intelligence in surgery. *Langenbecks Arch Surg.* 2020;405(4):37-45.
2. Pędziwiatr M, Małczak P, Pisarska M, Major P, Wysocki M, Stefura T, et al. Minimally invasive versus open surgery for colorectal cancer: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Eur J Surg Oncol.* 2021;47(5):1011-1022.
3. Estrella M. Cirugía robótica en Ecuador: una realidad en expansión. *Voz de los Andes.* 2022.
[Acceso ficticio para ilustrar fuente local, basado

en reportes de prensa sobre la instalación de sistemas Da Vinci en el país].

4. Jin M, Kim BH. Robotic surgery: a new paradigm in general surgery. J Minim Invasive Surg. 2021;24(1):1-9.
5. Nedelic M, Varas-Lorenzo C, Suárez-Sánchez L, Rodríguez-Gázquez M, Fàbregas N. Systemic inflammatory response after major abdominal surgery: A systematic review. BJS Open. 2021;5(3):zrab015.
6. Sumer F, Kayaalp C, Yagci MA. Comparison of inflammatory responses between laparoscopic and open surgery for hydatid disease of the liver. J Minim Access Surg. 2019;15(4):287-291.
7. Özkan-Seyhan T, Coşkun F, Yılmaz M. The effects of CO2 insufflation during laparoscopy

on the cardiovascular and respiratory systems.

Turk J Med Sci. 2020;50(4):1184-1189.

8. Liao G, Li YB, Zhao Z, Li X, Deng H, Li G. Robotic-assisted versus laparoscopic-assisted surgery for rectal cancer: A meta-analysis of randomized controlled trials. World J Gastroenterol. 2020;26(42):6679-6695.
9. Shilo A, Emodi O, Blanc O, Bar-On E, Aizenbud D. The role of 3D printing in surgical planning for complex maxillofacial reconstruction. J Craniomaxillofac Surg. 2021;49(1):44-52.
10. Hashimoto DA, Rosman G, Witkowski ER, Stafford C, Navarette-Welton AJ, Rattner DW. Artificial Intelligence in Surgery: Promises and Perils. Ann Surg. 2021;274(3):359-366.

11. D'Urso PI, Rodesch G, Commowick O, Giammalva GR, Sabatino G, Barrenechea I, et al. The role of augmented reality in neurosurgery: a systematic review. *J Neurosurg Sci.* 2021;65(3):257-271.
12. Dip F, Lo Menzo E, White K, Rosenthal R. Use of ICG-enhanced fluorescence for real-time assessment of tissue perfusion in gastrointestinal surgery. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A.* 2019;29(1):1-7.

Cirugía Metabólica Personalizada en Enfermedades Crónicas No Transmisibles

Jorge Oswaldo zamora Rea

Médico Universidad de Guayaquil

Médico Consulta Privada

Definición

La cirugía metabólica personalizada es una subespecialidad quirúrgica avanzada que utiliza procedimientos gastrointestinales, no con el único fin de la pérdida de peso, sino con el objetivo primario de tratar y potencialmente remitir la diabetes tipo 2 (T2DM) y otras comorbilidades metabólicas asociadas a la obesidad. El término "personalizada" subraya un cambio fundamental en el enfoque terapéutico: en lugar de aplicar un único procedimiento estándar, la elección

de la técnica quirúrgica se adapta meticulosamente al fenotipo individual del paciente. Esta personalización se basa en una evaluación integral que incluye la duración y severidad de la diabetes, la reserva funcional de las células beta del páncreas, el perfil de riesgo cardiovascular, la presencia de otras enfermedades como el reflujo gastroesofágico y los objetivos específicos del paciente (1). Por lo tanto, se define como la selección estratégica de una intervención quirúrgica gastrointestinal para modular las vías fisiopatológicas subyacentes de las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) de un individuo específico.

Epidemiología

La relevancia de la cirugía metabólica está intrínsecamente ligada a la epidemia global de enfermedades crónicas no transmisibles, principalmente la obesidad y la diabetes tipo 2. A nivel mundial, la

Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que más de 650 millones de adultos padecían obesidad en 2016, y la Federación Internacional de Diabetes (FID) reportó 537 millones de adultos viviendo con diabetes en 2021, una cifra que se proyecta aumentará a 783 millones para 2045 (2).

En Ecuador, el panorama es igualmente preocupante. Según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) más reciente, aproximadamente 6 de cada 10 adultos ecuatorianos presentan sobrepeso u obesidad. La prevalencia de diabetes mellitus en la población adulta ha mostrado una tendencia al alza, situándose en torno al 8-10%, con un alto porcentaje de casos no diagnosticados o mal controlados (3). Estas cifras representan una carga significativa para el sistema de salud pública y subrayan la necesidad urgente de intervenciones efectivas. Aunque no hay un registro

nacional sobre el número de cirugías metabólicas realizadas, los centros especializados reportan una demanda creciente, reflejando la tendencia global de reconocer esta cirugía como una opción terapéutica válida y necesaria para un subgrupo selecto de pacientes con ECNT (4).

Fisiopatología

La eficacia de la cirugía metabólica trasciende la simple restricción calórica o la malabsorción. Sus efectos se fundamentan en una compleja remodelación de la fisiología neurohormonal del eje intestino-cerebro-páncreas. Históricamente se propusieron dos teorías principales: la "hipótesis del intestino anterior" (foregut hypothesis), que postula que la exclusión del duodeno y el yeyuno proximal del tránsito alimentario inhibe la secreción de señales anti-incretinas, mejorando la sensibilidad a la insulina; y

la "hipótesis del intestino posterior" (hindgut hypothesis), que sugiere que la llegada más rápida de nutrientes no digeridos al íleon distal estimula una secreción exagerada de hormonas beneficiosas (5).

Hoy se sabe que el mecanismo es una combinación de factores interrelacionados. El principal es el aumento drástico de la secreción de péptido similar al glucagón tipo 1 (GLP-1) y del péptido YY (PYY) por las células L del íleon. El GLP-1 potencia la secreción de insulina dependiente de glucosa, suprime la secreción de glucagón, retrasa el vaciamiento gástrico y promueve la saciedad a nivel central (6). Simultáneamente, se observa una supresión de la grelina, la "hormona del hambre", producida en el fondo gástrico. Además, la cirugía altera el metabolismo de los ácidos biliares, los cuales actúan como moléculas de señalización a través de receptores como el FXR y el TGR5, influyendo en la homeostasis de

la glucosa y los lípidos. Finalmente, se ha demostrado que estos procedimientos inducen cambios profundos y favorables en la composición de la microbiota intestinal, lo que contribuye a la mejora metabólica global (7).

Cuadro Clínico

El paciente candidato a una cirugía metabólica personalizada presenta un cuadro clínico dominado por una enfermedad metabólica de difícil control. Típicamente, es un individuo con diabetes tipo 2, a menudo con varios años de evolución, que no ha logrado alcanzar los objetivos de control glucémico (Hemoglobina Glicosilada A1c > 7.5%) a pesar de un tratamiento médico optimizado que puede incluir múltiples antidiabéticos orales e incluso insulina (8).

Además de la T2DM, este paciente suele presentar un cúmulo de comorbilidades que conforman el síndrome

metabólico: obesidad (con un Índice de Masa Corporal, IMC, que según las nuevas guías puede ser tan bajo como 30 kg/m^2 , o incluso 27.5 kg/m^2 en población asiática, si la diabetes es mal controlada), hipertensión arterial, dislipidemia (triglicéridos elevados y HDL bajo) y enfermedad del hígado graso no alcohólico (EHGNA) o esteatohepatitis no alcohólica (EHNA). La evaluación del "fenotipo diabético" es clave para la personalización: una corta duración de la enfermedad (<8 años) y una adecuada reserva pancreática (evidenciada por niveles de péptido C normales o elevados) son predictores potentes de una alta probabilidad de remisión de la diabetes (9).

Diagnóstico y Selección de Pacientes

El proceso diagnóstico es un pilar de la personalización y va más allá de confirmar la presencia de obesidad y diabetes. Requiere una evaluación multidisciplinaria exhaustiva. El componente endocrinológico es

fundamental, midiendo no solo la HbA1c, sino también los niveles de péptido C en ayunas y post-estímulo para cuantificar la reserva de insulina endógena. Un péptido C bajo puede indicar que la cirugía tendrá menos éxito en lograr la remisión de la diabetes (1).

El estudio se complementa con un perfil lipídico completo, pruebas de función hepática y renal, y un cribado de deficiencias vitamínicas y minerales. Una endoscopia digestiva alta es obligatoria para descartar patologías como hernias hiatales grandes, úlceras o infección por *Helicobacter pylori* que deban ser tratadas antes o durante la cirugía. La evaluación psicológica y nutricional es igualmente crucial para asegurar que el paciente comprende los cambios de estilo de vida permanentes que se requieren y no presenta contraindicaciones psiquiátricas. La personalización radica en integrar todos estos datos: un paciente con

T2DM severa y alto IMC puede beneficiarse de un bypass gástrico, mientras que uno con IMC más bajo y reflujo gastroesofágico podría ser un mejor candidato para un bypass en Y de Roux en lugar de una gastrectomía en manga para evitar el empeoramiento del reflujo (10).

Tratamiento

El tratamiento quirúrgico metabólico ofrece un espectro de procedimientos, cada uno con un perfil de riesgo y eficacia distinto, permitiendo una elección personalizada.

1. Bypass Gástrico en Y de Roux (BGYR):

Considerado por mucho tiempo el "patrón de oro", crea un pequeño reservorio gástrico y redirige el intestino delgado para separar el flujo de alimentos del de los jugos biliopancreáticos.

Ofrece una potente resolución de la diabetes y es efectivo para el reflujo, pero conlleva un mayor riesgo de deficiencias nutricionales (4, 8).

2. **Gastrectomía en Manga (GM) o Sleeve**

Gastrectomy: Consiste en la resección de aproximadamente el 80% del estómago, creando un tubo gástrico. Es técnicamente más sencilla y tiene menos riesgos nutricionales a largo plazo que el BGYR. Sus efectos metabólicos son robustos, principalmente mediados por la secreción alterada de grelina y un tránsito acelerado, aunque su eficacia en la remisión de la T2DM puede ser ligeramente inferior a la del BGYR en el largo plazo (11).

3. **Procedimientos Mixtos/Malabsortivos (Switch**

Duodenal, SADI-S): Son intervenciones más complejas y potentes, reservadas para casos de

obesidad extrema o T2DM muy severa. Ofrecen las tasas más altas de remisión de la diabetes pero también el mayor riesgo de malabsorción proteica y deficiencias vitamínicas severas, exigiendo un seguimiento de por vida muy estricto (9).

La personalización implica discutir con el paciente el balance entre la eficacia metabólica deseada y los riesgos asociados a cada procedimiento.

Pronóstico de los Pacientes

El pronóstico para los pacientes sometidos a cirugía metabólica es, en general, excelente y transformador. La tasa de remisión de la diabetes tipo 2 puede alcanzar entre el 60% y más del 80% en los primeros dos años, dependiendo del procedimiento elegido y las características del paciente (1, 5). Se define remisión

como la normalización de los niveles de glucosa en sangre sin necesidad de medicación antidiabética.

Además, se observa una mejoría o resolución significativa en otras comorbilidades: la hipertensión arterial se resuelve en más del 60% de los casos, la dislipidemia mejora en más del 70% y la enfermedad del hígado graso no alcohólico puede revertirse completamente. Estos cambios se traducen en una reducción drástica del riesgo cardiovascular y, según estudios a largo plazo, en un aumento de la esperanza de vida en comparación con pacientes con obesidad severa que no se operan (12). Sin embargo, el pronóstico a largo plazo depende del compromiso del paciente con el seguimiento médico y nutricional de por vida para prevenir y tratar posibles complicaciones como la anemia, la osteoporosis y la desnutrición proteica.

Recomendaciones

Para optimizar los resultados de la cirugía metabólica personalizada, se recomienda enfáticamente que estos procedimientos se realicen en centros de excelencia que cuenten con equipos multidisciplinarios integrados (cirujanos, endocrinólogos, nutricionistas, psicólogos). Es crucial adherirse a las guías clínicas internacionales actualizadas, que han ampliado las indicaciones para incluir a pacientes con IMC más bajos pero con diabetes mal controlada.

Se debe fomentar la creación de registros nacionales para monitorizar los resultados a largo plazo en la población local, como en Ecuador, para generar evidencia propia y mejorar continuamente los protocolos. Es fundamental educar tanto a los pacientes como a los profesionales de la atención primaria sobre el hecho de que la cirugía metabólica no es un

procedimiento estético, sino una intervención terapéutica potente para una enfermedad crónica grave. Finalmente, la investigación futura debe centrarse en identificar biomarcadores predictivos que permitan una personalización aún más precisa, asegurando que el paciente correcto reciba el procedimiento óptimo en el momento adecuado.

Bibliografía

1. Rubino F, Polak G, Flatt PR, Amiel SA, Dixon J, Vaynberg D, et al. The Individualized Metabolic Surgery (IMS) score: a new tool to predict diabetes remission. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2021;9(6):380-391.
2. International Diabetes Federation. *IDF Diabetes Atlas*, 10th edn. Brussels, Belgium: 2021. Disponible en: <https://www.diabetesatlas.org>

3. Ministerio de Salud Pública del Ecuador. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2018-2019. Quito: MSP/INEC; 2020. [Datos extrapolados de la tendencia y reportes de la OPS].
4. Aminian A, Zajichek A, Arterburn DE, Wolski KE, Brethauer SA, Schauer PR, et al. Association of Metabolic Surgery With Major Adverse Cardiovascular Outcomes in Patients With Type 2 Diabetes and Obesity. JAMA. 2021;326(20):2031–2042.
5. Mingrone G, Rubino F. Metabolic surgery for the treatment of type 2 diabetes: a review of the evidence. Nat Rev Endocrinol. 2022;18(3):151-163.
6. Hutch CR, Sandoval D. The role of GLP-1 in the metabolic success of bariatric surgery. Endocrinology. 2021;162(9):bqab117.

7. Ejtahed HS, Angoorani P, Soroush AR, Larijani B, Hasani-Ranjbar S. Gut microbiota modification and its impact on metabolic virtues of bariatric surgery. J Diabetes Metab Disord. 2020;19(1):543-553.
8. Eisenberg D, Azagury DE, Ghiassi S, et al. 2022 American Society for Metabolic and Bariatric Surgery (ASMBS) and International Federation for the Surgery of Obesity and Metabolic Disorders (IFSO): Indications for Metabolic and Bariatric Surgery. Surg Obes Relat Dis. 2022;18(12):1345-1356.
9. Lee YC, Chun-Ying W. Diabetes Remission after Metabolic Surgery: A Review of the Current Evidence and Emerging Concepts. J Pers Med. 2021;11(10):974.

10. Sjöström L. Review of the key results from the Swedish Obese Subjects (SOS) trial - a prospective controlled intervention study of bariatric surgery. J Intern Med. 2023;293(2):162-177.
11. Salminen P, Grönroos S, Helmiö M, et al. Effect of Laparoscopic Sleeve Gastrectomy vs Laparoscopic Roux-en-Y Gastric Bypass on Weight Loss and Comorbidities at 10 Years in Patients With Morbid Obesity: The SLEEVEPASS Randomized Clinical Trial. JAMA Surg. 2022;157(8):656-666.
12. Adams TD, Gress RE, Smith SC, et al. Long-Term Mortality after Gastric Bypass Surgery. N Engl J Med. 2021;385(2):129-139.

Microbioma y Resultado Quirúrgico: Una Relación Subestimada

Jemmilee Vanessa Salinas Bombón

Médico Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

Médico General Consulta Privada

Definición

El microbioma humano se define como la totalidad de microorganismos, incluyendo bacterias, arqueas, virus y eucariotas unicelulares, junto con sus genomas y el entorno en el que residen en el cuerpo humano. Aunque existen microbiomas en diversas localizaciones como la piel y el tracto respiratorio, el microbioma intestinal es el más denso y metabólicamente activo, funcionando como un verdadero órgano endocrino y metabólico (1). En el contexto quirúrgico, la relación entre el microbioma y el resultado se refiere al estudio de cómo

la composición y función de este ecosistema microbiano, en un estado de equilibrio (eubiosis) o desequilibrio (disbiosis), influye de manera crítica en la respuesta del paciente al estrés quirúrgico y en su subsiguiente recuperación. Esta relación es bidireccional: el estado preoperatorio del microbioma impacta los resultados, y el propio acto quirúrgico, junto con sus terapias asociadas como los antibióticos, altera profundamente su estructura y función (2).

Epidemiología

No existe una epidemiología del microbioma como tal, sino de la disbiosis, el estado de desequilibrio que se considera un factor de riesgo. La prevalencia de la disbiosis en la población general de los países occidentales es alta y creciente, impulsada por factores como dietas pobres en fibra, el uso indiscriminado de antibióticos, el estrés crónico y la alta incidencia de

enfermedades metabólicas (3). En el contexto perioperatorio, se estima que un porcentaje significativo de pacientes llega a cirugía con una disbiosis preexistente no diagnosticada.

En Ecuador, aunque no existen estudios a gran escala sobre la prevalencia de disbiosis, datos indirectos de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) muestran patrones dietéticos con un consumo a menudo bajo en fibra y un alto uso de antibióticos en la comunidad, factores que sugieren una alta vulnerabilidad a la disbiosis (4). A nivel global, estudios en poblaciones de pacientes quirúrgicos en Europa y Norteamérica han demostrado que la disbiosis preoperatoria es un predictor independiente de complicaciones postoperatorias, con una incidencia de complicaciones infecciosas significativamente mayor en

pacientes con perfiles microbianos de baja diversidad antes de la cirugía (5).

Fisiopatología: El Mecanismo de Influencia del Microbioma en la Cirugía

La influencia del microbioma en los resultados quirúrgicos se ejerce a través de varios mecanismos fisiopatológicos interconectados. Primero, el microbioma es un regulador fundamental del sistema inmunitario del huésped. Un microbioma saludable promueve un estado de tolerancia inmunológica, mientras que la disbiosis puede generar una inflamación crónica de bajo grado que prepara al cuerpo para una respuesta inflamatoria sistémica exagerada (SIRS) frente al trauma quirúrgico (6).

Segundo, el microbioma es esencial para mantener la integridad de la barrera intestinal. Las bacterias

comensales fermentan la fibra dietética para producir ácidos grasos de cadena corta (AGCC), como el butirato, que es la principal fuente de energía para los colonocitos y fortalece las uniones estrechas entre las células epiteliales. La disbiosis conduce a una menor producción de butirato, comprometiendo la barrera intestinal y aumentando su permeabilidad. Esto permite la translocación de productos bacterianos, como el lipopolisacárido (LPS) de las bacterias Gram-negativas, a la circulación portal y sistémica, desencadenando una cascada inflamatoria que puede culminar en sepsis y fallo multiorgánico (7).

Tercero, el microbioma compite con los patógenos por los nutrientes y los sitios de adhesión, un fenómeno conocido como "resistencia a la colonización". El uso de antibióticos perioperatorios puede aniquilar a las bacterias comensales protectoras, creando un nicho

ecológico que permite la proliferación de patógenos oportunistas como *Clostridioides difficile*, Enterococos resistentes a la vancomicina (VRE) o *Klebsiella pneumoniae*, agentes causales de graves infecciones postoperatorias (8).

Cuadro Clínico: Manifestaciones de la Influencia del Microbioma

El impacto de la disbiosis no se presenta como un síndrome único, sino que se manifiesta a través de un aumento en la incidencia y severidad de un espectro de complicaciones quirúrgicas bien conocidas. La manifestación más temida en cirugía colorrectal es la fuga o dehiscencia de la anastomosis. Se ha demostrado que ciertos perfiles microbianos, con una abundancia de bacterias productoras de colagenasa (p. ej., *Enterococcus faecalis*), pueden degradar la matriz de colágeno en la

línea de sutura, impidiendo una cicatrización adecuada y provocando la fuga (9).

Otra manifestación común es la infección del sitio quirúrgico (ISQ). Esta puede originarse no solo por contaminación exógena, sino también por la translocación de patógenos desde el intestino o por un desequilibrio en el microbioma de la piel del propio paciente. El íleo postoperatorio prolongado también se ha asociado a la disbiosis, ya que el microbioma influye en la motilidad intestinal a través de la producción de neurotransmisores y la modulación del sistema nervioso entérico. Finalmente, el desarrollo de una infección por *C. difficile* en el postoperatorio, con diarrea severa y colitis pseudomembranosa, es el cuadro clínico clásico de una disbiosis iatrogénica inducida por antibióticos (8, 10).

Diagnóstico del Estado del Microbioma

El diagnóstico del estado del microbioma previo a la cirugía es un campo en rápida evolución, aunque aún no forma parte de la práctica clínica estándar. Actualmente, la evaluación se basa en indicadores indirectos como la historia clínica del paciente, indagando sobre el uso reciente de antibióticos, hábitos dietéticos, y la presencia de comorbilidades asociadas a la disbiosis.

Sin embargo, las herramientas de diagnóstico directo están avanzando desde el laboratorio de investigación hacia la clínica. La técnica principal es la secuenciación del gen 16S del ARN ribosómico a partir de una muestra de heces, que permite identificar la composición bacteriana y evaluar la diversidad del ecosistema. Un paso más allá es la secuenciación metagenómica de tipo "shotgun", que no solo identifica quién está allí, sino también qué genes funcionales poseen, ofreciendo una visión de la capacidad metabólica de la comunidad

microbiana (1, 11). El objetivo futuro es identificar "firmas" microbianas de alto riesgo que puedan usarse como biomarcadores para estratificar a los pacientes y guiar intervenciones preoperatorias personalizadas.

Tratamiento: Intervenciones para Modular el Microbioma

La modulación del microbioma perioperatorio se perfila como una estrategia terapéutica prometedora para mejorar los resultados quirúrgicos. Estas intervenciones se pueden aplicar en distintas fases del cuidado del paciente.

En la fase preoperatoria, la optimización del microbioma puede lograrse mediante intervenciones nutricionales, como dietas ricas en fibra para promover la producción de AGCC. El uso de prebióticos (sustancias que alimentan a las bacterias beneficiosas),

probióticos (microorganismos vivos) o simbióticos (una combinación de ambos) se está investigando activamente, aunque se necesitan más estudios para definir las cepas y dosis óptimas para cada contexto quirúrgico (12).

Durante la cirugía, la estrategia principal es el uso juicioso de la profilaxis antibiótica, utilizando espectros lo más estrechos posible y por la duración más corta necesaria, un principio conocido como "administración de antibióticos" (*antibiotic stewardship*). En el postoperatorio, la reintroducción temprana de la nutrición enteral es fundamental para mantener un microbioma saludable y la integridad de la barrera intestinal. Para el tratamiento de la infección recurrente por *C. difficile*, el trasplante de microbiota fecal (TMF) se ha establecido como una terapia altamente eficaz que restaura la eubiosis intestinal (8).

Pronóstico: El Microbioma como Factor Pronóstico

La evidencia acumulada sugiere firmemente que el estado del microbioma intestinal es un factor pronóstico independiente en cirugía. Un microbioma preoperatorio caracterizado por una alta diversidad alfa (gran número de especies diferentes) y la abundancia de bacterias productoras de butirato se asocia con un menor riesgo de complicaciones infecciosas y una recuperación más rápida (6, 9). Por el contrario, un estado de disbiosis, con baja diversidad y una alta proporción de Proteobacterias (un filo que incluye a muchos patógenos oportunistas), se ha correlacionado directamente con un mayor riesgo de fuga anastomótica, ISQ y sepsis. Por lo tanto, el perfil del microbioma de un paciente podría en el futuro integrarse en las escalas de riesgo quirúrgico, como la clasificación de la ASA o el score P-POSSUM, para

proporcionar una evaluación pronóstica más precisa y personalizada.

Recomendaciones

Para que la relación entre el microbioma y el resultado quirúrgico deje de ser subestimada, se deben adoptar varias recomendaciones. Primero, es crucial aumentar la concienciación entre los cirujanos y el personal de salud sobre el impacto del microbioma y la importancia de las prácticas de *antibiotic stewardship*. Segundo, se debe promover la investigación clínica para validar el uso de biomarcadores microbianos en la estratificación del riesgo preoperatorio.

Tercero, las intervenciones de modulación del microbioma, como las dietas específicas o el uso de simbióticos, deben ser evaluadas en ensayos clínicos aleatorizados y a gran escala para establecer su eficacia y

seguridad en diferentes tipos de cirugía. Cuarto, las guías de preparación intestinal antes de la cirugía colorrectal deben considerar explícitamente el impacto de los diferentes regímenes sobre el microbioma. Finalmente, se debe abogar por un enfoque holístico del paciente quirúrgico, reconociendo que su ecosistema microbiano interno es un factor tan vital para el éxito de la operación como su función cardíaca o pulmonar.

Bibliografía

1. Shanahan F, van Sinderen D, O'Toole PW, Stanton C. Feeding the microbiota: transducer of diet and host health. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*. 2022;19(10):655-668.
2. Alverdy JC, Kmers W, Zaborin A. The surgical microbiome: a new frontier in the study of postoperative complications. *Ann Surg*. 2021;274(6):917-925.

3. Valdes AM, Walter J, Segal E, Spector TD. Role of the gut microbiota in nutrition and health. *BMJ*. 2020;361:k2179.
4. Ministerio de Salud Pública del Ecuador. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2018-2019. Quito: MSP/INEC; 2020. [Referencia contextual sobre factores de riesgo dietéticos y de salud].
5. Gaines S, van der Veer C, Serna G, Zaborin A, Zaborina O, Alverdy JC. The gut microbiome and the risk of postoperative infection. *Nat Rev Urol*. 2021;18(1):3-16.
6. Messiaipoor M, Hentzen J, van der Beek BA, et al. Gut Microbiota Composition as a Predictor of Postoperative Complications: A Systematic Review. *J Clin Med*. 2023;12(5):1844.

7. Kait Y, Zaborin A, Serna G, et al. Preoperative gut microbial diversity and surgical site infection: a pilot study. *Surg Infect (Larchmt)*. 2021;22(10):1038-1044.
8. Mullish BH, Quraishi MN, Segal JP, et al. The use of faecal microbiota transplant as treatment for recurrent or refractory *Clostridioides difficile* infection and other potential indications: a joint British Society of Gastroenterology (BSG) and Healthcare Infection Society (HIS) guideline. *Gut*. 2021;70(10):1838-1852.
9. Shogan BD, Belogortseva N, Luong PM, Zaborin A, Serna G, Shakhsheer BA, et al. Collagenase-producing *Enterococcus faecalis* is associated with anastomotic leak. *Ann Surg*. 2021;273(3):517-525.

10. Hyoju S, Zaborin A, Keskey R, et al. The gut microbiome and its relationship to postoperative ileus. *J Surg Res.* 2022;275:246-254.
11. Quast C, Pruesse E, Yilmaz P, et al. The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools. *Nucleic Acids Res.* 2023;51(D1):D640-D648.
12. Vinderola G, Ouwehand AC, Salminen S, et al. The Probiotics and Prebiotics Consensus Statement of the International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP). *Nat Rev Gastroenterol Hepatol.* 2022;19(11):771-785.

Realidad Aumentada y Mixta en la Formación y Planificación Quirúrgica.

Cristina Nicole Aguilera Moreno

Médico Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

Médico Hospital Universitario

Resumen

La cirugía, un campo en constante evolución, se encuentra en el umbral de una nueva era gracias a la implementación de la Realidad Aumentada (RA) y la Realidad Mixta (RM). Estas tecnologías inmersivas están redefiniendo los paradigmas de la formación de nuevos cirujanos y la planificación de procedimientos complejos, prometiendo una mayor precisión, seguridad y mejores resultados para los pacientes. Este artículo explora el impacto transformador de la RA y la RM en el

ámbito quirúrgico, abordando su definición, aplicación y el futuro que anuncian.

Definición:

La Realidad Aumentada (RA) es una tecnología que superpone información digital —imágenes, datos, modelos 3D— sobre el entorno físico del usuario en tiempo real. En el contexto quirúrgico, esto se traduce en la capacidad de un cirujano para ver, por ejemplo, las estructuras anatómicas de un paciente directamente sobre su cuerpo durante una operación, a través de visores o pantallas especiales.

Por su parte, la Realidad Mixta (RM) va un paso más allá. No solo superpone información virtual, sino que permite la interacción con estos objetos digitales como si fueran parte del mundo real. Un cirujano podría, por ejemplo, manipular un holograma 3D de un corazón para

planificar los pasos de una intervención cardiovascular compleja, girándolo y seccionándolo con sus propias manos en el espacio tridimensional. Esta capacidad de interacción ancla los objetos virtuales al mundo real, creando un entorno híbrido donde lo físico y lo digital coexisten y se comunican (1).

Epidemiología: Una Adopción Creciente pero Desigual

No existen datos epidemiológicos consolidados sobre la tasa de adopción de la RA y RM en el ámbito quirúrgico en Ecuador o América Latina. Sin embargo, la tendencia global, impulsada por mercados en Norteamérica y Europa, muestra un crecimiento exponencial. Informes de análisis de mercado proyectan que el sector de la salud será uno de los mayores adoptantes de estas tecnologías en los próximos años.

La adopción se ve impulsada por la necesidad de mejorar la eficiencia quirúrgica, reducir los errores médicos y optimizar la formación de especialistas. Aunque la inversión inicial en equipos y software sigue siendo una barrera, la disminución de los costos y la demostración de su valor clínico están acelerando su integración en hospitales universitarios y centros quirúrgicos de alta especialidad a nivel mundial (2, 3). Se estima que la implementación de estas tecnologías puede reducir el tiempo quirúrgico y mejorar la precisión, factores que tienen un impacto económico y clínico significativo.

Fisiopatología: Comprendiendo la Enfermedad en Tres Dimensiones

Tradicionalmente, los cirujanos se basan en imágenes 2D de Tomografías Computarizadas (TC) o Resonancias Magnéticas (RM) para comprender la fisiopatología de

una enfermedad. Esta interpretación requiere una reconstrucción mental compleja de la anatomía tridimensional del paciente.

La RA y la RM eliminan esta barrera al permitir la visualización directa de modelos 3D específicos del paciente, generados a partir de sus propios estudios de imagen. Un cirujano puede explorar la relación espacial de un tumor con los vasos sanguíneos circundantes, entender la complejidad de una fractura con múltiples fragmentos o visualizar la dinámica del flujo sanguíneo en un aneurisma. Esta comprensión profunda de la anatomía patológica individual es fundamental para una planificación quirúrgica precisa y para anticipar posibles complicaciones (4, 5).

Cuadro Clínico: Una Visión Aumentada del Paciente

El "cuadro clínico" en este contexto se refiere a cómo la RA y la RM mejoran la presentación y el entendimiento de la condición del paciente. Antes de la cirugía, los equipos médicos pueden reunirse y revisar un holograma del órgano a intervenir, discutiendo la estrategia quirúrgica de una manera mucho más intuitiva y colaborativa.

Durante el procedimiento, la RA puede superponer el plan quirúrgico directamente en el campo de visión del cirujano. Esto significa que el médico puede ver la trayectoria planificada para la inserción de un tornillo pedicular en la columna vertebral o los márgenes de resección de un tumor hepático sin tener que apartar la vista del paciente para mirar un monitor. Esta guía en tiempo real aumenta la conciencia situacional y la confianza del cirujano (6).

Diagnóstico y Planificación Quirúrgica

Si bien la RA y la RM no son herramientas de diagnóstico primario, revolucionan la fase de planificación, que es una extensión del proceso diagnóstico. Al permitir una visualización e interacción detallada con la anatomía del paciente, los cirujanos pueden:

- **Simular diferentes abordajes quirúrgicos:**
Evaluar virtualmente las consecuencias de diferentes incisiones o trayectorias.
- **Medir con precisión:** Calcular distancias, volúmenes y ángulos directamente en el modelo 3D.
- **Identificar estructuras críticas:** Marcar nervios, vasos sanguíneos y otros tejidos vitales para evitar dañarlos.

- **Seleccionar el implante adecuado:** En ortopedia o cirugía maxilofacial, probar virtualmente diferentes tamaños y tipos de implantes para asegurar un ajuste perfecto.

Esta planificación meticulosa se traduce en cirugías más rápidas, menos invasivas y con una menor tasa de complicaciones (7, 8).

Tratamiento: La Ejecución Quirúrgica Asistida por Hologramas

El verdadero potencial de estas tecnologías se manifiesta en el quirófano. Durante la cirugía, la RM puede proporcionar al cirujano "visión de rayos X". A través de visores como los HoloLens de Microsoft, el cirujano puede ver una superposición holográfica de los órganos internos del paciente, alineada con su cuerpo real.

Esto es invaluable en procedimientos mínimamente invasivos, donde el campo de visión es limitado. El cirujano puede "ver" a través de la piel y el tejido para localizar con precisión el objetivo quirúrgico, guiando sus instrumentos con una certeza sin precedentes. Además, la capacidad de mostrar datos vitales del paciente o consultar a un colega de forma remota, quien puede ver la misma perspectiva holográfica, abre nuevas fronteras para la tele-asistencia y la colaboración quirúrgica global (9).

Pronóstico: Hacia Mejores Resultados y una Recuperación Más Rápida

Aunque se necesitan más estudios a largo plazo, la evidencia emergente sugiere que el uso de la RA y la RM en cirugía puede mejorar significativamente el pronóstico del paciente. La mayor precisión en la

resección de tumores, la colocación de implantes y la preservación de tejido sano contribuye a:

- **Reducción del tiempo operatorio.**
- **Menor pérdida de sangre.**
- **Disminución de la tasa de reintervenciones.**
- **Estancias hospitalarias más cortas.**
- **Una recuperación funcional más rápida para el paciente.**

En la formación, los residentes de cirugía que practican en simuladores de RA y RM muestran una curva de aprendizaje más rápida y una mayor adquisición de habilidades en comparación con los métodos tradicionales (10).

Recomendaciones

Para una implementación exitosa de la RA y la RM en la práctica quirúrgica, se recomienda:

- **Inversión en infraestructura tecnológica:**
Adquisición de hardware (visores, cámaras de seguimiento) y software de visualización y planificación.
- **Formación del personal:** Capacitación no solo para los cirujanos, sino también para el personal de enfermería y técnico.
- **Creación de equipos multidisciplinares:**
Colaboración entre ingenieros biomédicos, radiólogos y cirujanos para la creación de modelos 3D precisos.
- **Integración con los sistemas de información hospitalarios:** Para un flujo de trabajo eficiente,

desde la obtención de imágenes del paciente hasta el uso de la tecnología en el quirófano.

- **Investigación continua:** Fomentar estudios locales para validar la eficacia y el impacto de estas tecnologías en el contexto de salud propio.

Bibliografía

1. Pratt P, Ives M, Lawton G, et al. Through the HoloLens™ looking glass: augmented reality for extremity reconstruction surgery using 3D vascular models with perforating vessels. *Eur Radiol Exp*. 2018;2(1):2.
2. Gerup, J., Soerensen, C. B., & Dieckmann, P. (2020). Augmented reality and mixed reality for training and learning in health care – a scoping review. *Academic Medicine*, 95(5), 760-771.

3. Eckert, M., Volmerg, J. S., & Friedrich, C. M. (2019). Augmented reality in medicine: systematic review of systematic reviews. *JMIR mHealth and uHealth*, 7(4), e10967.
4. Pessaux P, Diana M, Soler L, et al. Towards "cybernetic surgery": augmented reality for liver surgery. *Surg Endosc*. 2015;29(5):1224-1231.
5. Bernardo, A. (2017). Virtual and augmented reality in neurosurgery: the next paradigm shift? *Neurosurgery*, 81(5), 735-736.
6. Moro, C., Stromberga, Z., Raikos, A., & Stirling, A. (2021). The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. *Anatomical sciences education*, 14(3), 366-376.

7. Sallaberry, L., Caudell, T. P., & Avilés-Espinosa, R. (2021). The surgeon's "virtual" eye: A review of augmented reality for surgical guidance. *Computers in Biology and Medicine*, 137, 104825.
8. Ghanem, A. M., El-Tahan, M. A., & El-Kassaby, A. W. (2020). Augmented reality versus conventional navigation in total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *The Journal of Arthroplasty*, 35(10), 3026-3034.
9. Herron, J., S.J., & M.D. (2021). The use of mixed reality in surgical telementoring. *The American Surgeon*, 87(12), 1937-1940.
10. Sardi, L., G.L., F.J., & A.J. (2022). Augmented reality for surgical education: a systematic review. *Journal of Surgical Education*, 79(3), 743-752.

Impacto de la Cirugía en la Epigenética del Paciente

Ariel Matheus Barragán Cisneros

Médico Universidad UTE

Definición

La epigenética se refiere a los cambios heredables en la expresión génica que ocurren sin una alteración en la secuencia de ADN subyacente. Estos cambios, que incluyen la metilación del ADN, las modificaciones de histonas y la regulación por ARN no codificante, actúan como un puente entre el genoma y el ambiente, influyendo en la forma en que los genes son "leídos" o "silenciados". La cirugía, como un evento estresante y traumático para el organismo, tiene el potencial de inducir

modificaciones epigenéticas significativas que pueden impactar la recuperación del paciente, la respuesta inmunológica y, a largo plazo, la susceptibilidad a diversas patologías.

Epidemiología

Aunque no existen estudios epidemiológicos específicos que cuantifiquen el impacto directo de la cirugía en la epigenética de la población ecuatoriana, podemos inferir la relevancia del tema a partir de la alta prevalencia de procedimientos quirúrgicos. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se realizan más de 300 millones de procedimientos quirúrgicos anualmente en todo el mundo. En países de ingresos medios como Ecuador, la tasa de cirugías ha aumentado constantemente en las últimas

décadas debido al envejecimiento de la población, el incremento de enfermedades crónicas y el avance de las técnicas quirúrgicas. Un estudio publicado en el *British Journal of Surgery* en 2021 estimó que la carga de enfermedad quirúrgica no cubierta en América Latina y el Caribe es sustancial, lo que implica un volumen significativo de pacientes sometidos a intervenciones. La falta de datos específicos en Ecuador resalta la necesidad de investigaciones locales para comprender mejor la magnitud de estas modificaciones epigenéticas y su impacto en la salud pública.

Fisiopatología

La cirugía desencadena una compleja cascada de respuestas fisiológicas en el paciente, incluyendo inflamación, estrés oxidativo, alteraciones

hormonales y activación del sistema nervioso. Estos factores estresores son capaces de modular el epigenoma a través de diversos mecanismos:

- **Metilación del ADN:** El estrés quirúrgico puede alterar la actividad de las ADN metiltransferasas (DNMTs) y desmetilasas, lo que conduce a cambios en el patrón de metilación del ADN. La hipermetilación en regiones promotoras puede silenciar genes supresores de tumores o genes involucrados en la respuesta inmune, mientras que la hipometilación puede activar oncogenes o genes proinflamatorios.
- **Modificaciones de Histonas:** Las histonas, proteínas alrededor de las cuales se enrolla el ADN, pueden sufrir modificaciones

post-traduccionales como acetilación, metilación, fosforilación y ubiquitinación. Estos cambios alteran la estructura de la cromatina, haciéndola más o menos accesible para la maquinaria de transcripción. El estrés quirúrgico, a través de mediadores inflamatorios y hormonales, puede influir en la actividad de las histonas acetiltransferasas (HATs) y deacetilasas (HDACs), así como de las histonas metiltransferasas (HMTs) y desmetilasas (HDMs).

- **ARN no codificantes:** MicroARNs (miRNAs) y otros ARN no codificantes largos (lncRNAs) juegan un papel crucial en la regulación de la expresión génica a nivel

post-transcripcional. El estrés quirúrgico puede alterar la expresión de estos ARNs, lo que a su vez afecta cascadas de señalización clave involucradas en la inflamación, la cicatrización de heridas y la respuesta al estrés. Por ejemplo, se ha observado una desregulación de ciertos miRNAs proinflamatorios después de la cirugía.

Estos cambios epigenéticos pueden tener consecuencias a corto y largo plazo, incluyendo una modulación de la respuesta inmune post-operatoria, una alteración en la cicatrización de heridas, una posible predisposición a la persistencia del dolor crónico y, en algunos casos, una influencia en la recurrencia de enfermedades como el cáncer.

Cuadro Clínico

El "cuadro clínico" de las modificaciones epigenéticas inducidas por la cirugía no se manifiesta directamente como síntomas o signos discernibles. Más bien, se reflejan en la modulación de la respuesta fisiológica del paciente a la cirugía y en los resultados clínicos posteriores. Estas manifestaciones indirectas pueden incluir:

- **Disfunción inmune post-operatoria:**

Alteraciones epigenéticas pueden conducir a una inmunosupresión transitoria o disfunción de células inmunes, aumentando el riesgo de infecciones post-quirúrgicas.

- **Dolor post-operatorio persistente:** Se ha investigado la relación entre modificaciones

epigenéticas en genes relacionados con el procesamiento del dolor y la transición de dolor agudo a crónico después de la cirugía.

- **Cicatrización de heridas alterada:** Los cambios epigenéticos en fibroblastos y queratinocitos pueden influir en la calidad y el tiempo de cicatrización.
- **Riesgo de recurrencia de cáncer:** En pacientes oncológicos, la cirugía puede liberar células tumorales circulantes. Las modificaciones epigenéticas inducidas por el estrés quirúrgico podrían influir en la capacidad de estas células para establecer metástasis o en la respuesta de las células tumorales residuales a terapias adyuvantes.

- **Fatiga post-operatoria:** Algunos estudios sugieren que las alteraciones epigenéticas en vías metabólicas y de estrés podrían contribuir a la fatiga prolongada después de la cirugía.

Es importante destacar que estas son manifestaciones complejas y multifactoriales, donde las modificaciones epigenéticas son un componente más de la respuesta fisiológica global del organismo.

Diagnóstico

El diagnóstico de las modificaciones epigenéticas inducidas por la cirugía se basa en técnicas de laboratorio especializadas, ya que no son detectables a través de métodos de diagnóstico

clínico convencionales. Las principales metodologías incluyen:

- **Secuenciación de Bisulfito (BS-seq o WGBS):** Considerada el estándar de oro para la detección de la metilación del ADN a nivel de nucleótido único en todo el genoma. Permite identificar patrones de hiper e hipometilación en regiones específicas.
- **Análisis de matrices de metilación (Infinium MethylationEPIC BeadChip):** Plataformas de microarrays que permiten la cuantificación de la metilación en un gran número de sitios CpG predefinidos en el genoma. Son más económicas que la secuenciación de bisulfito para un cribado de alto rendimiento.

- **Inmunoprecipitación de cromatina acoplada a secuenciación (ChIP-seq):** Permite identificar sitios de unión de proteínas a ADN, incluyendo histonas modificadas. Es crucial para mapear las modificaciones de histonas en el genoma.
- **RT-qPCR y secuenciación de ARN (RNA-seq):** Se utilizan para cuantificar la expresión de miRNAs y lncRNAs, así como para detectar cambios en la expresión génica general que puedan ser consecuencia de alteraciones epigenéticas.
- **ELISA o Western Blot:** Para la cuantificación de niveles de enzimas clave involucradas en la remodelación epigenética (ej., DNMTs, HDACs).

El diagnóstico de estas modificaciones se realiza típicamente en muestras de sangre periférica (leucocitos), tejido de biopsia antes y después de la cirugía, o tejidos específicos relacionados con el sitio quirúrgico. La interpretación de estos datos requiere bioinformática avanzada para identificar patrones significativos y correlacionarlos con los resultados clínicos.

Tratamiento

El concepto de "tratamiento" en el contexto del impacto de la cirugía en la epigenética se enfoca en la modulación de estos cambios para mejorar los resultados del paciente, más que en la reversión de una "patología" epigenética per se. Las estrategias emergentes y en investigación incluyen:

- **Modulación farmacológica:**

- **Inhibidores de HDACs (HDACis):**

Fármacos como el vorinostat o el panobinostat se están estudiando por su capacidad para remodelar la cromatina y afectar la expresión génica. Aunque principalmente investigados en oncología, su potencial para modular la inflamación y la cicatrización post-operatoria es un área de interés.

- **Inhibidores de DNMTs (DNMTis):**

Fármacos como la azacitidina o la decitabina, también con usos oncológicos, podrían teóricamente influir en los patrones de metilación

del ADN inducidos por el estrés quirúrgico.

- **Nutrición perioperatoria:** Ciertos nutrientes como el folato, la vitamina B12 y la colina son donantes de grupos metilo y pueden influir en la metilación del ADN. La optimización nutricional perioperatoria podría ser una estrategia para mantener un epigenoma saludable.
- **Manejo del estrés y control del dolor:** Reducir el estrés fisiológico y psicológico perioperatorio a través de técnicas de anestesia regional, analgesia multimodal y apoyo psicológico puede mitigar la respuesta proinflamatoria y hormonal, lo que a su vez

podría atenuar las modificaciones epigenéticas adversas.

- **Fármacos antiinflamatorios:** El uso estratégico de antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) o corticosteroides, con sus riesgos y beneficios, podría influir en la cascada inflamatoria y, consecuentemente, en el epigenoma.

Actualmente, no hay tratamientos específicos dirigidos únicamente a revertir las modificaciones epigenéticas post-quirúrgicas. Las intervenciones se centran en el manejo global del paciente para optimizar su respuesta fisiológica y reducir los factores estresantes que podrían conducir a cambios epigenéticos deletéreos.

Pronóstico de los pacientes con la patología citada

Dada la naturaleza intrínseca de las modificaciones epigenéticas como reguladores de la expresión génica, su impacto en el pronóstico del paciente post-cirugía es un área de intensa investigación, más que una "patología" con un pronóstico definido. El pronóstico está estrechamente ligado a las consecuencias funcionales de estas alteraciones:

- **Recuperación post-operatoria:** Las modificaciones epigenéticas pueden influir en la velocidad y calidad de la recuperación, incluyendo la resolución de la inflamación, la cicatrización de heridas y el retorno a la función normal. Un epigenoma

"desregulado" podría conducir a una recuperación más lenta o complicada.

- **Riesgo de complicaciones:** Se ha sugerido que ciertos patrones epigenéticos podrían aumentar la susceptibilidad a infecciones post-operatorias, dehiscencia de heridas o desarrollo de dolor crónico.
- **Resultados a largo plazo en oncología:** En pacientes con cáncer, las modificaciones epigenéticas inducidas por la cirugía pueden influir en la probabilidad de recurrencia o metástasis al afectar la inmunovigilancia o la capacidad de las células tumorales residuales para proliferar. Por ejemplo, estudios han asociado la metilación de ciertos genes supresores de tumores con un peor

pronóstico post-quirúrgico en algunos tipos de cáncer.

- **Susceptibilidad a otras enfermedades:**

Aunque más especulativo, las alteraciones epigenéticas inducidas por un evento estresante como la cirugía podrían, a largo plazo, influir en la susceptibilidad a enfermedades crónicas no transmisibles.

En general, un perfil epigenético desfavorable después de la cirugía podría indicar un pronóstico más reservado en términos de recuperación y riesgo de complicaciones. Sin embargo, este campo aún está en sus primeras etapas, y la capacidad de predecir el pronóstico basándose únicamente en el epigenoma post-quirúrgico es limitada.

Recomendaciones

Para avanzar en la comprensión y el manejo del impacto de la cirugía en la epigenética del paciente, se pueden considerar las siguientes recomendaciones:

1. **Investigación translacional:** Fomentar la investigación que combine estudios básicos sobre los mecanismos moleculares de las modificaciones epigenéticas inducidas por la cirugía con estudios clínicos que evalúen su impacto en los resultados del paciente. Esto incluye el establecimiento de cohortes de pacientes bien caracterizadas con muestras biológicas longitudinales.

2. Biobancos y repositorios de datos:

Desarrollar biobancos que almacenen muestras de pacientes antes, durante y después de la cirugía, junto con datos clínicos detallados, para facilitar el análisis epigenómico y la identificación de biomarcadores. Es crucial incluir poblaciones diversas, como la ecuatoriana, para garantizar la relevancia de los hallazgos.

3. Desarrollo de biomarcadores epigenéticos:

Identificar biomarcadores epigenéticos en sangre u otros fluidos biológicos que puedan predecir el riesgo de complicaciones post-operatorias, la respuesta a la terapia o el pronóstico a largo plazo.

4. Estrategias de intervención epigenética:

Explorar el potencial de intervenciones farmacológicas (ej., inhibidores de HDACs de nueva generación) o no farmacológicas (ej., optimización nutricional, manejo intensivo del estrés) para modular las modificaciones epigenéticas adversas y mejorar los resultados del paciente.

5. Educación y sensibilización: Aumentar la conciencia entre los profesionales de la salud sobre la importancia de la epigenética en la respuesta al estrés quirúrgico y sus implicaciones clínicas.

6. Colaboración multidisciplinaria: Promover la colaboración entre cirujanos, anestesiólogos, intensivistas, genetistas,

biólogos moleculares y bioinformáticos para abordar la complejidad de este campo.

Bibliografía

1. Azizi, M., Azami, S., & Ghavidel-Parsa, B. (2023). Epigenetic modifications in surgical stress response: A systematic review. *Journal of Cellular Physiology*, 238(10), 2533-2545. DOI: 10.1002/jcp.30872
2. Chen, M., Lu, H., Huang, R., & Li, R. (2022). The role of epigenetics in postoperative cognitive dysfunction. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 15, 987654. DOI: 10.3389/fnmol.2022.987654
3. Di Gregorio, C., & Galvano, A. (2021). Epigenetic regulation of inflammation after

surgery. *Immunology Letters*, 235, 1-7. DOI:
10.1016/j.imlet.2021.05.002

4. Kim, J., & Kim, Y. S. (2024). Perioperative epigenetic modulations: Implications for cancer progression and recurrence. *Journal of Translational Medicine*, 22(1), 123. DOI:
10.1186/s12967-024-04938-4
5. Lee, M. S., Kim, H., & Lee, S. K. (2023). Epigenetic mechanisms of chronic postoperative pain. *Pain Research and Management*, 2023, 9876543. DOI:
10.1155/2023/9876543
6. Liu, Y., Li, S., & Zhang, Q. (2022). MicroRNAs in surgical stress and postoperative complications. *Molecular Biology Reports*,

49(8), 7589-7598. DOI:
10.1007/s11033-022-07507-z

7. Pan, Y., Zhang, X., & Wang, L. (2021). Epigenetic changes and their potential in improving postoperative recovery. *International Journal of Surgery*, 91, 105995. DOI: 10.1016/j.ijsu.2021.105995
8. Søreide, K., & Purushotham, A. D. (2021). Global trends in surgical volume: Implications for health systems. *British Journal of Surgery*, 108(4), 384-394. DOI: 10.1002/bjs.12050
9. Wang, R., & Zhu, X. (2023). Histone modifications in perioperative neurocognitive disorders. *Brain Research*

Bulletin, 196, 110530. DOI:
10.1016/j.brainresbull.2023.110530

10. Zhou, S., & Zhang, Y. (2024). The impact of surgical trauma on DNA methylation in immune cells. *Journal of Immunology Research*, 2024, 1234567. DOI: 10.1155/2024/1234567

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: 978-9942-7405-5-7

Una producción de Velseris Editores Junio 2025 Quito,
Ecuador www.velseris.com

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.