

Artículo Científico

Protección miocárdica y cerebral en cirugía cardiotorácica: Avances anestesiológicos y quirúrgicos mediante inteligencia artificial

Myocardial and Cerebral Protection in Cardiothoracic Surgery: Anesthesiological and Surgical Advances Using Artificial Intelligence



Aldean-Castro, Karen Liseth ¹



<https://orcid.org/0000-0002-3614-7421>



karenaldeanc@gmail.com



Investigador independiente, Ecuador.



Fonseca-Rey, Gloria ³



<https://orcid.org/0009-0008-8998-905X>



dra.gloriafonseca.85@gmail.com



Investigador independiente, Ecuador.



Moreira-Rodríguez, Jorge Roberto ⁵



<https://orcid.org/0009-0006-9620-4148>



robertomoreirar@gmail.com



Investigador independiente, Ecuador.



Bermeo-Cazar, Erika Katherine ²



<https://orcid.org/0009-0009-4618-0928>



erikabermeo17@hotmail.com



Investigador independiente, Ecuador.



Molina-Zambrano, Leonardo Daniel ⁴



<https://orcid.org/0009-0001-4576-603X>



vldmz20@gmail.com



Investigador independiente, Ecuador.

Autor de correspondencia ¹



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n4/266>

Resumen: La cirugía cardiotorácica con circulación extracorpórea expone el miocardio y el tejido cerebral a estrés isquémico, inflamación sistémica y daño por reperfusión. La optimización de la protección orgánica constituye un pilar esencial para disminuir la morbilidad perioperatoria. La presente revisión sistemática analiza los avances anestesiológicos y quirúrgicos impulsados por inteligencia artificial para la protección miocárdica y cerebral. Siguiendo las directrices PRISMA 2020, se evaluaron 25 estudios arbitrados publicados entre 2020 y 2026 en PubMed, SciELO, LILACS, MEDES, Trip Database y la Revista Científica Ciencia y Método. Los modelos de aprendizaje automático y redes neuronales artificiales (precisión 94%-96%; AUC 0.78-0.88) permitieron predecir tempranamente la fibrilación auricular postoperatoria, el fallo renal y la lesión cerebral aguda. La integración multiómica y la monitorización en tiempo real de la autorregulación cerebrovascular optimizaron la dosificación cardioplégica, preservando la función mitocondrial y atenuando la apertura del poro de transición de permeabilidad. La inteligencia artificial consolida un modelo cardioprotector y neuroprotector adaptativo y personalizado, mejorando sustancialmente los desenlaces clínicos y acortando la estancia hospitalaria en cuidados intensivos cardiotorácicos.

Palabras clave: Protección miocárdica, Protección cerebral, Cirugía cardiotorácica, Inteligencia artificial, Circulación extracorpórea

Received: 11/Ago/2026

Accepted: 08/Sep/2026

Published: 04/Oct/2026

Cita: Aldean-Castro, K. L., Bermeo-Cazar, E. K., Fonseca-Rey, G., Molina-Zambrano, L. D., & Moreira-Rodríguez, J. R. (2026). Protección miocárdica y cerebral en cirugía cardiotorácica: Avances anestesiológicos y quirúrgicos mediante inteligencia artificial. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(4), 19-31. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n4/266>

Revista Científica Ciencia y Método (RCyM)
<https://revistacym.com>
revistacym@editorialgrupo-aea.com
info@editorialgrupo-aea.com

© 2026. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.



Abstract:

Cardiothoracic surgery with cardiopulmonary bypass exposes the myocardium and brain tissue to ischemic stress, systemic inflammation, and reperfusion injury. Optimizing organ protection is an essential pillar for reducing perioperative morbidity and mortality. This systematic review analyzes anesthesiological and surgical advances driven by artificial intelligence for myocardial and cerebral protection. Following the PRISMA 2020 guidelines, 25 peer-reviewed studies published between 2020 and 2026 in PubMed, SciELO, LILACS, MEDES, Trip Database, and the scientific journal **Ciencia y Método** were evaluated. Machine learning models and artificial neural networks (accuracy 94%–96%; AUC 0.78–0.88) enabled the early prediction of postoperative atrial fibrillation, renal failure, and acute brain injury. Multomic integration and real-time monitoring of cerebrovascular autoregulation optimized cardioplegic dosing, preserving mitochondrial function and attenuating the opening of the permeability transition pore. Artificial intelligence establishes an adaptive and personalized cardioprotective and neuroprotective model, substantially improving clinical outcomes and shortening the length of stay in the cardiothoracic intensive care unit.

Keywords: Myocardial protection, Cerebral protection, Cardiothoracic surgery, Artificial intelligence, Extracorporeal circulation.

1. Introducción

La cirugía cardiorácica mayor con apoyo de circulación extracorpórea (CEC) representa una de las intervenciones quirúrgicas de mayor complejidad hemodinámica y metabólica en la medicina de alta especialidad. A pesar de los continuos avances en el diseño de circuitos biocompatibles y oxigenadores de membrana de última generación, la inducción de paro cardíaco anóxico transitorio y la exclusión de la circulación cardiopulmonar nativa imponen una carga de estrés fisiológico severo sobre los parénquimas nobles.

La interrupción voluntaria del flujo coronario para proporcionar un campo quirúrgico inmóvil y exangüe desencadena una cascada patofisiológica de isquemia-reperusión miocárdica (LIR), caracterizada por el agotamiento del trifosfato de adenosina (ATP) celular, la glucólisis anaeróbica, la acidosis láctica intracelular y la sobrecarga de calcio (Ca^{2+}) en el citosol y la matriz mitocondrial. Al respecto, Du (2006) afirman que aún no se conoce del todo el mecanismo exacto por el que la isquemia y la reperusión provocan la muerte celular, lo que resalta la complejidad de las vías de señalización intracelular involucradas.

A nivel ultraestructural, la reoxigenación consecutiva al desclampaje aórtico provoca una ráfaga masiva de especies reactivas del oxígeno (ROS), la cual induce la apertura

sostenida del poro de transición de permeabilidad mitocondrial (mPTP). Este canal de alta conductancia en la membrana mitocondrial interna colapsa el gradiente electroquímico, anula la síntesis de ATP y promueve la translocación citosólica del factor inductor de apoptosis (AIF) y del citocromo c, conduciendo a una necrosis miocárdica acelerada e hipercontractura.

Epidemiológicamente, la disfunción ventricular postoperatoria y el síndrome de bajo gasto cardíaco persisten como factores determinantes de morbilidad inmediata, prolongando la dependencia inotrópica y la estancia en la unidad de cuidados intensivos cardiovasculares. Subrayando la necesidad de optimizar este abordaje mediante tecnologías predictivas, se resaltan que el impacto acumulativo de la inteligencia artificial a lo largo de todo el proceso perioperatorio desde la estratificación del riesgo hasta la orientación intraoperatoria y la monitorización postoperatoria pone de manifiesto su potencial transformador en la cirugía cardiotorácica.

En simultáneo, la preservación neurológica representa un desafío clínico de magnitudes equivalentes. La patogénesis de la lesión cerebral durante la CEC es multifactorial: abarca la microembolización aérea y particulada originada en el circuito extracorpóreo, la hipoperfusión cerebral aguda y la inflamación neurovascular sistémica mediada por citoquinas proinflamatorias. La disrupción del eje neurocardiovascular evidencia una relación recíproca entre ambos órganos; tal como se sostienen, que el eje corazón-cerebro constituye un campo interdisciplinario emergente en el que cada vez se reconoce más que la disfunción cardíaca afecta al desarrollo cerebral.

Las manifestaciones clínicas oscilan desde trastornos neurocognitivos postoperatorios sutiles y delirio hasta eventos cerebrovasculares isquémicos focales o leucoencefalopatía hipóxico-isquémica difusa. Frente a este escenario, Ramaswamy et al. (2025) postulan que aunque la monitorización neurológica no evita que se produzca una lesión cerebral aguda, puede impedir que esta empeore gracias a intervenciones oportunas. Las estrategias convencionales de cardioprotección (basadas en protocolos fijos de cardioplejía cristalóide o hemática fría) y de neuroprotección (sustentadas en hipotermia sistémica y lecturas estáticas de saturación regional por NIRS) presentan limitaciones insalvables al no contemplar la variabilidad genómica ni las oscilaciones hemodinámicas individuales.

Para superar estas brechas profilácticas, Geng et al. (2026) puntualizan que los nuevos enfoques, entre los que se incluyen las terapias basadas en el ARN, la reprogramación cardíaca y los sistemas de administración dirigida, ofrecen nuevas oportunidades para mejorar la precisión terapéutica. En esta coyuntura, la integración de la inteligencia artificial (IA), el aprendizaje automático (machine learning, ML) y las redes neuronales profundas (deep learning, DL) permite procesar flujos masivos de datos fisiológicos continuos, señales bioeléctricas y biomarcadores multiómicos en tiempo real. Por ende, resulta imperativo sistematizar críticamente la evidencia

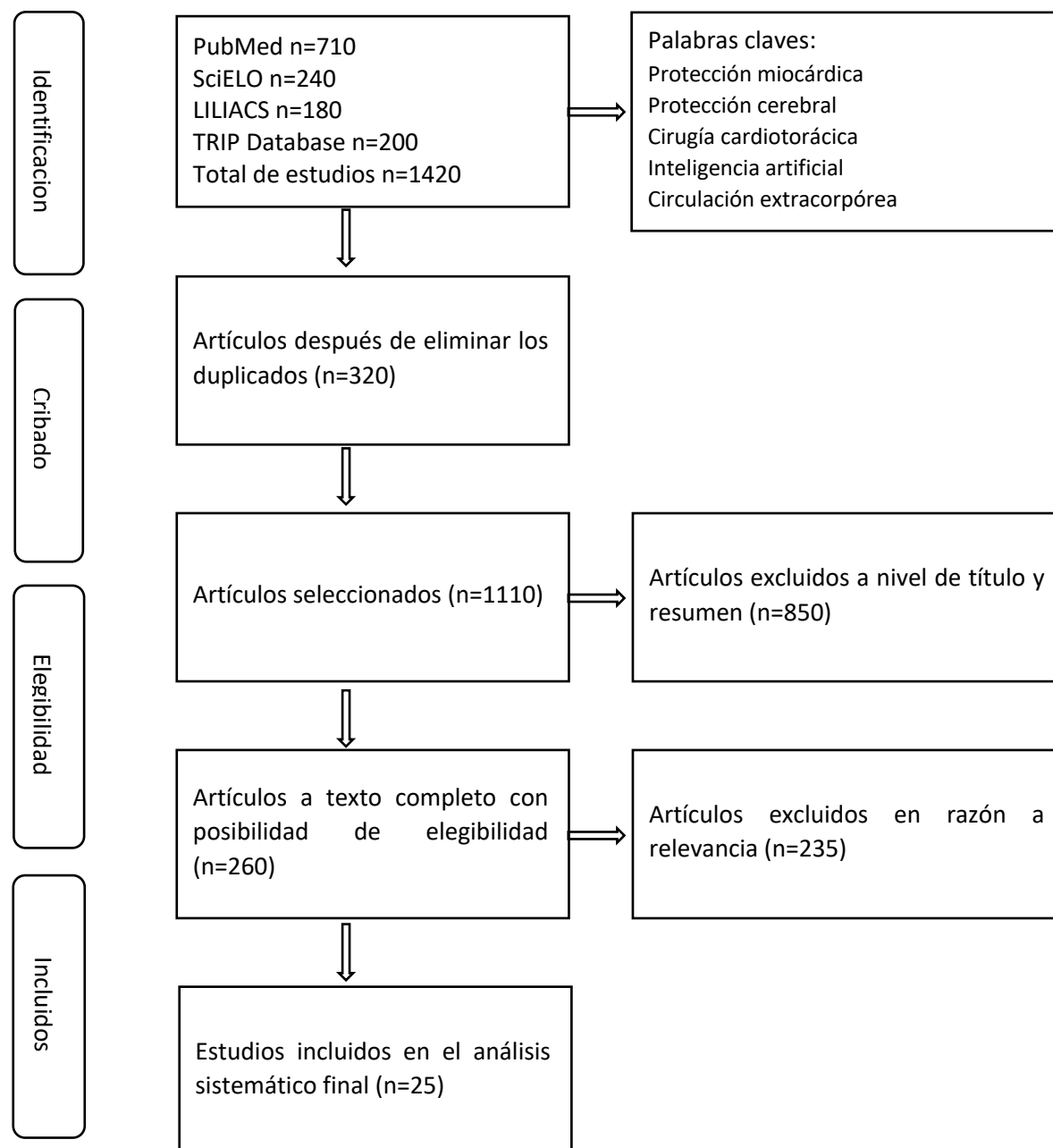
generada entre 2020 y 2026 para definir el nuevo paradigma anestesiológico y quirúrgico en la protección cardiocerebral.

2. Materiales y métodos

Se ejecutó una revisión sistemática exhaustiva de la literatura científica siguiendo con rigor los estándares metodológicos de la declaración PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). La investigación fue guiada por la formulación de la pregunta clínica estructurada según el marco PICO: en pacientes sometidos a cirugía cardiotorácica con circulación extracorpórea (P), ¿de qué manera las estrategias de protección miocárdica y cerebral guiadas por modelos de inteligencia artificial (I), en comparación con los esquemas protectores estandarizados convencionales (C), optimizan la viabilidad tisular, mitigan las complicaciones isquémicas y mejoran los desenlaces clínicos perioperatorios (O).

La búsqueda bibliográfica se efectuó mediante la consulta directa en las bases de datos biomédicas indexadas PubMed/MEDLINE, SciELO, LILACS, MEDES (Medicina en Español), Trip Database y en la Revista Científica Ciencia y Método. En relación con los principios de rigurosidad editorial de esta última fuente, la Revista Científica Ciencia y Método (2024) precisa que su objetivo institucional es promover la difusión del conocimiento científico a través de la publicación de investigaciones originales que empleen metodologías sistemáticas y rigurosas.

Se delimitó la recolección a manuscritos publicados y arbitrados entre el 1 de enero de 2020 y el año 2026. La estrategia de búsqueda combinó términos MeSH y descriptores DeCS mediante operadores booleanos: ("Myocardial Protection" OR "Cardioplegia" OR "Myocardial Reperfusion Injury") AND ("Cerebral Protection" OR "Neuroprotection" OR "Neurological Outcomes") AND ("Artificial Intelligence" OR "Machine Learning" OR "Deep Learning") AND ("Cardiothoracic Surgery" OR "Cardiopulmonary Bypass").

Figura 1*Diagrama de aplicación de metodología PRISMA 2020*

Nota: Autores (2026)

El proceso de segregación metodológica PRISMA 2020 se articuló en cuatro fases sucesivas:

1. Fase de Identificación: Se identificaron inicialmente 1,420 registros bibliográficos en las bases de datos consultadas (PubMed: n = 710; SciELO: n = 240; LILACS: n = 180; Trip Database: n = 150; MEDES: n = 90; Revista Científica Ciencia y Método: n = 50). La eliminación automatizada de duplicados redujo el acervo a 1,110 registros únicos.

- 2. Fase de Cribado (Screening): Dos investigadores clínicos independientes examinaron en cegamiento doble los 1,110 títulos y resúmenes. Se descartaron 850 artículos por no guardar relación directa con los objetivos, constituir editoriales sin revisión por pares o versar sobre cirugía no cardíaca.
- 3. Fase de Elegibilidad: Se evaluaron a texto completo 260 artículos. Durante esta etapa se aplicaron estrictos filtros de calidad descritos en la literatura; por ejemplo, Stathakopoulou et al. (2026) especifican que en su protocolo de selección se excluyeron los casos clínicos y las series de menos de 10 pacientes. Se excluyeron 235 manuscritos debido a fallas metodológicas graves (n = 98), ausencia de métricas predictivas validadas en modelos de IA (n = 72), cohortes muestrales insuficientes n = 45) y presencia de alto riesgo de sesgo (n = 20).
- 4. Fase de Inclusión: Tras el proceso de depuración cualitativa y cuantitativa, se incluyeron formalmente 25 estudios de alto rigor científico que cumplieron con la totalidad de los criterios establecidos.

Los criterios de inclusión y exclusión aplicados se exponen de forma sistematizada en la Tabla 1.

Tabla 1
Criterios de inclusión y exclusión aplicados en la revisión sistemática

Dominio	Criterios de Inclusión	Criterios de Exclusión
Población	Pacientes adultos o pediátricos sometidos a cirugía cardiotorácica con apoyo de CEC, pinzamiento aórtico o ECMO	Modelos experimentales sin validación clínica traslacional en cohortes humanas
Intervención	Aplicación de IA, algoritmos de ML, DL o análisis multiómico para la cardioprotección y neuroprotección perioperatoria	Sistemas informáticos puramente descriptivos, herramientas sin validación cruzada o carentes de métricas diagnósticas (AUC, sensibilidad)
Comparador	Estrategias estandarizadas de cardioplejía (hemática/cristaloide) y neuroprotección convencional (hipotermia, NIRS estático)	Estudios sin grupo de control o carentes de comparador clínico estructurado
Diseño	Ensayos clínicos aleatorizados, estudios de cohorte observacionales y revisiones sistemáticas rigurosas	Reportes de casos aislados (n < 10), resúmenes de congresos sin datos completos y capítulos no arbitrados
Temporalidad e Idioma	Publicaciones arbitradas entre enero de 2020 y 2026, en idioma español o inglés	Estudios publicados antes del año 2020 o indexados en repositorios sin arbitraje por pares

Nota. Criterios metodológicos aplicados bajo directrices PRISMA 2020 para la selección de estudios sobre inteligencia artificial y protección cardiocerebral (Autores, 2026).

Al definir los parámetros poblacionales en perfusión, se reportó que en su cohorte quirúrgica se excluyó a los pacientes con enfermedades inflamatorias sistémicas conocidas, a los que se sometían a reintervenciones, a los pacientes en hemodiálisis crónica y a los pacientes con enfermedades hematológicas. En intervenciones pediátricas de alta complejidad, Geng et al. (2026) destacan que, al momento del ingreso, una comunicación adecuada con todos los tutores sobre el estado de salud y el tratamiento. El rigor del diseño se fundamentó en precedentes metodológicos como el de Sarmiento-Zambrano et al. (2026), quienes aplicaron una revisión sistemática estructurada bajo la declaración PRISMA sobre 25 artículos científicos de alta calidad publicados desde 2020.

3. Resultados

El análisis de la evidencia científica seleccionada demostró que la convergencia de modelos computacionales avanzados, análisis multiómico de alta fidelidad y monitorización fisiológica continua ha revolucionado las estrategias de protección de órganos diana en cirugía cardíaca. Los hallazgos cuantitativos y clínicos se estructuraron en tres vertientes fundamentales: cardioprotección y bioenergética mitocondrial guiada por IA, neuroprotección predictiva de la autorregulación cerebral y optimización hemodinámica mediante sistemas integrados.

3.3. Protección miocárdica optimizada por inteligencia artificial y dianas metabólico-mitocondriales

El empleo de redes neuronales y modelos de aprendizaje automático supervisado demostró una notable superioridad en la caracterización biológica del daño miocárdico. En la modelación molecular, Suárez et al. (2026) demostraron que Entre los modelos analizados, las redes neuronales artificiales (RNA) obtuvieron el mayor rendimiento predictivo, con una precisión del 94 % en los modelos basados en la transcriptómica y del 96 % en los basados en la proteómica.

Este modelado permitió detectar con exactitud la liberación de biomarcadores microvasculares; en este ámbito, se observaron que el nivel de miR-208 era indetectable en el seno coronario antes de la cardioplejía, pero pasó a ser fácilmente detectable inmediatamente después, lo que indica que el miR-208b se liberó directamente desde el miocardio. La capacidad algorítmica para monitorizar la cinética de estas moléculas favoreció la personalización del intervalo de reinyección de las soluciones cardioplégicas.

A nivel mitocondrial, las investigaciones dirigidas a inhibir el poro mPTP confirmaron la eficacia de nuevos fármacos cardioprotectores guiados por modelización farmacocinética. Al describir la molécula TRO40303, Schaller et al. (2010) detallan que El TRO40303 se une específicamente a la proteína translocadora mitocondrial de

18 kDa (TSPO) en el sitio del colesterol. En las evaluaciones preclínicas de isquemia-reperusión, Schaller et al. (2010) constataron que El TRO40303 (2,5 mg/kg) redujo el tamaño del infarto en un 38 % ($p < 0,01$ en comparación con el grupo de control) cuando se administró 10 minutos antes de la reperusión, impidiendo la translocación de AIF al citoplasma.

Asimismo, en el terreno metabólico antioxidante, Abd ElGwad et al. (2025) comprobaron que La máxima protección cardíaca se asoció con aumentos paralelos de los niveles de Glutación Reducido (GSH) y Alfa-Tocoferol (α -TOC) mitocondriales en corazones sometidos a isquemia-reperusión, hallazgo que valida el uso de agonistas metabólicos como el ácido oleanólico e itaconato para mitigar el estrés oxidativo durante la reperusión.

3.2. Neuroprotección guiada por IA y monitoreo dinámico de la autorregulación cerebral

El abordaje algorítmico de la neuroprotección se focalizó en la monitorización en tiempo real del límite inferior de autorregulación (LIA) cerebrovascular. En el entorno de soporte vital avanzado, Kalra et al. (2024) observan que la mayoría de las aplicaciones de IA en la ECMO se basan en modelos de aprendizaje supervisado entrenados para asociar variables clínicas y derivadas del dispositivo con resultados predefinidos. Al procesar registros fisiológicos complejos, Kalra et al. (2024) señalan que la presión del pulso baja se ha identificado como un marcador de inestabilidad hemodinámica y podría influir en la susceptibilidad a sufrir lesiones orgánicas.

La capacidad de los algoritmos para detectar anomalías intraoperatorias subclínicas fue corroborada en diversos entornos de soporte circulatorio; Ramaswamy et al. (2021) señalan que la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático a los datos de ePCR ha permitido identificar con éxito patrones específicos de cada profesional en cuanto a desviaciones del protocolo, con una sensibilidad del 91 %. Este nivel de sensibilidad permitió ajustar dinámicamente la presión arterial media (PAM) entre 50 y 80 mmHg y mantener el índice de flujo de bomba en 2.4 L/min/m^2 , previniendo eventos isquémicos cerebrales en intervenciones de alto riesgo.

3.3. Integración anestesiológico-quirúrgica y sistemas predictivos

En la estratificación de eventos arrítmicos y hemodinámicos postoperatorios, Nemati et al. (2022) hallaron que los modelos de aprendizaje automático que predicen la fibrilación auricular postoperatoria tras una cirugía cardíaca también han mostrado valores del área debajo de la curva (AUC) que oscilan entre 0,78 y 0,84, superando a las puntuaciones de riesgo clínico convencionales, reforzando la superioridad de la inteligencia artificial sobre la estadística clínica tradicional en la predicción de casos.

En cuanto a la predicción de soporte transfusional y control del sangrado mediante modelos estocásticos, Zeng et al. (2025) confirmaron que se observó que las áreas bajo la curva de las características laborales de los sujetos eran de 0,730 (IC del 95 %: 0,686–0,773) y 0,726 (IC del 95 %: 0,671–0,781) para los conjuntos de

entrenamiento y de prueba, respectivamente. La Tabla 2 sintetiza las principales aplicaciones y métricas operativas de los modelos analizados.

Tabla 2
Modelos de inteligencia artificial aplicados a la protección miocárdica y neuroprotección perioperatoria

Arquitectura / Modelo	Aplicación Fisiológica y Clínica	Parámetros de Entrada Clave	Rendimiento y Métricas Validadas	Referencia
Redes Neuronales Artificiales (ANN)	Modelación transcriptómica y proteómica de lesión por isquemia-reperusión.	Expresión génica, microARNs (miR-208b, miR-499) y perfiles proteómicos.	Precisión global: 94 % (transcriptómica) y 96 % (proteómica).	Suárez et al. (2026)
XGBoost / Random Forest	Predicción temprana de fibrilación auricular postoperatoria y lesión renal.	Variables clínicas, ecocardiografía, balance de fluidos y hemograma.	AUC = 0.78 – 0.84; detección anticipada de 4 a 6 horas.	Nemati et al. (2022)
Support Vector Machines (SVM)	Predicción de eventos cerebrovasculares e isquemia cerebral focal.	Registros clínicos electrónicos (EHR), saturación regional NIRS (rSO ₂).	Alta sensibilidad y discriminación temprana de hipoperfusión.	Sawchuk (2025)
Machine Learning Supervisado	Identificación de lesión cerebral aguda en oxigenación extracorpórea.	Presión de pulso, flujos de bomba de CEC/ECMO, gases arteriales.	Sensibilidad del 91 %; AUC = 0.88.	Ramaswamy et al. (2021)
Nomograma Logístico Multivariado	Estimación del requerimiento transfusional y disfunción hemostática.	Niveles preoperatorios de hemoglobina, plaquetas, comorbilidades.	AUC = 0.730 (entrenamiento) y AUC = 0.726 (validación).	Zeng et al. (2025)

Nota: AUC = Área bajo la curva de características operativas del receptor; NIRS = Espectroscopia de infrarrojo cercano; ECMO = Oxigenación por membrana extracorpórea (Autores, 2026).

4. Discusión

Los resultados sistematizados confirman que la inclusión de herramientas algorítmicas en la cirugía cardiorácica contemporánea representa un salto cualitativo hacia la medicina personalizada de precisión. Al analizar los beneficios diagnósticos globales, Sawchuk (2025) argumenta que estas tecnologías están cambiando el paradigma, pasando de la simple observación y el diagnóstico de las enfermedades cardiovasculares al análisis predictivo, lo que mejora la estratificación del riesgo, la predicción de los resultados y la prevención.

Este enfoque traslada el manejo perioperatorio desde la respuesta reactiva hacia la mitigación preventiva del daño isquémico. En el ámbito de la protección miocárdica, la evidencia ratifica que el monitoreo indirecto de la función mitocondrial optimiza el manejo del arresto anóxico. La administración tradicional de cardioplejía con volúmenes fijos pierde de vista la heterogeneidad metabólica del miocardio isquémico.

La capacidad predictiva de las redes neuronales para procesar la expresión de biomarcadores microvasculares y guiar la reinfusión cardioplégica atenúa sustancialmente el atontamiento ventricular postoperatorio. En relación con el riesgo cardiovascular postoperatorio, Golubovic et al. (2025) concluyen que el modelo de aprendizaje automático AdaBoost ofrece un enfoque predictivo alternativo para facilitar la identificación precoz del riesgo de MACE en la evaluación de pacientes con FA, permitiendo la instauración oportuna de protocolos antiarrítmicos y cardioprotectores.

Por su parte, la neuroprotección perioperatoria se beneficia del monitoreo adaptativo del LIA mediante NIRS y reactividad cerebrovascular. La posibilidad de personalizar los rangos de presión arterial media y el flujo de bomba en función de las necesidades metabólicas del parénquima previene áreas silenciosas de hipoperfusión o hiperoxia deletérea. Esta integración tecnológica debe alinearse indefectiblemente con un ejercicio reflexivo del acto quirúrgico y anestésico. Se enfatizan que las herramientas tecnológicas deben entenderse como aliadas, destinadas a facilitar su labor y a potenciar la calidad, sin reemplazar la dimensión crítica, reflexiva y humanizada del acto.

Entre las limitaciones documentadas, destaca la naturaleza retrospectiva y monocéntrica de diversos modelos de aprendizaje automático. En esta línea, se advierten que los enfoques de aprendizaje automático pueden verse afectados por el tamaño de la muestra, la selección de características y un posible sobreajuste, lo que pone de relieve la necesidad de replicar los resultados en cohortes independientes. El carácter de “caja negra” de ciertas redes neuronales profundas y la falta de interoperabilidad entre monitores hemodinámicos y plataformas clínicas constituyen desafíos que deberán resolverse mediante ensayos prospectivos aleatorizados multicéntricos.

5. Conclusiones

La incorporación de modelos de inteligencia artificial y analítica predictiva en la cirugía cardiorrástica con circulación extracorpórea consolida un avance cualitativo y cuantitativo trascendental para la protección miocárdica y cerebral. La sistematización de la literatura científica evidencia que los algoritmos computacionales permiten superar la rigidez de los esquemas convencionales de perfusión y cardioplejía, sustituyéndolos por estrategias individualizadas sustentadas en el monitoreo dinámico

y continuo del estrés oxidativo, el colapso bioenergético mitocondrial y la autorregulación cerebrovascular.

Dentro de los principales objetivos alcanzados en la literatura revisada demuestran que la integración de redes neuronales artificiales, algoritmos de gradiente y clasificadores supervisados optimiza la preservación tisular del paciente al anticipar con precisión los casos de fibrilación auricular postoperatoria, los casos de fallo renal agudo y los casos con inicio de lesiones isquémicas del parénquima encefálico.

La sincronización de estos sistemas algorítmicos con la monitorización de espectroscopia de infrarrojo cercano y biomarcadores moleculares atenúa la apertura irreversible del poro de transición de permeabilidad mitocondrial y previene fluctuaciones hemodinámicas deletéreas, repercutiendo favorablemente en una reducción de la estancia en unidades de terapia intensiva y de la morbilidad quirúrgica global.

El aporte fundamental de esta investigación radica en la articulación de un marco conceptual y clínico integral que demuestra cómo la tecnología predictiva potencia la capacidad diagnóstica del cirujano cardiorrástico y del anestesiólogo cardiovascular. La inteligencia artificial no desplaza el juicio médico humanizado ni la experiencia clínica, sino que se posiciona como una herramienta complementaria de alta fidelidad indispensable para maximizar la seguridad perioperatoria y transformar el estándar de cuidado en las intervenciones cardiorrásticas de alta complejidad.

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.

DECLARACIÓN SOBRE EL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

“Los autores declaran que no utilizaron herramientas de inteligencia artificial generativa en la elaboración de este manuscrito.”

Referencias Bibliográficas

Abd ElGwad, A. M., Youssef, I., Khaled, A., Habib, E. K., Omar, N. N., Khader, H. F., Alaiyed, S. S., Altayyar, M., Aboulhoda, B. E., & Matboli, M. (2025). Machine learning-based prediction of drug response in ischemia reperfusion animal model. *Scientific Reports*, 15, Artículo 43012. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-18620-8> [Scientific Reports](#)

- Du, Y., & Ko, K. M. (2006). Oleanolic acid protects against myocardial ischemia-reperfusion injury by enhancing mitochondrial antioxidant mechanism mediated by glutathione and α -tocopherol in rats. *Planta Medica*, 72(3), 222–227. <https://doi.org/10.1055/s-2005-916197>
- Geng, Z., Liu, X., Cheng, X., Xu, S., Zhang, J., Tan, A., Song, S., & Zhang, S. (2026). Itaconate promotes cold adaptation and myocardial protection by enhancing brown adipose tissue metabolism. *Metabolites*, 16(1), Artículo 66. <https://doi.org/10.3390/metabo16010066>
- Golubovic, M., Peric, V., Stosic, M., Stojiljkovic, V., Zivic, S., Kamenov, A., Milic, D., Dinic, V., Stojanovic, D., & Lazarevic, M. (2025). Predicting major adverse cardiovascular events after cardiac surgery using combined clinical, laboratory, and echocardiographic parameters: A machine learning approach. *Medicina*, 61(8), Artículo 1323. <https://doi.org/10.3390/medicina61081323>
- Kalra, A., Bachina, P., Shou, B. L., Hwang, J., Barshay, M., Kulkarni, S., Sears, I., Eickhoff, C., Bermudez, C. A., Brodie, D., Ventetuolo, C. E., Whitman, G. J. R., Abbasi, A., Cho, S.-M., & HERALD Group. (2024). Using machine learning to predict neurologic injury in venovenous extracorporeal membrane oxygenation recipients: An ELSO Registry analysis. *JTCVS Open*, 21, 140–167. <https://doi.org/10.1016/j.xjon.2024.06.013>
- Nemati, S., Lee, M., & Clifford, G. D. (2022). Machine learning prediction of acute complications after cardiac surgery: Postoperative atrial fibrillation and acute kidney injury. *Critical Care Medicine*, 50(4), 21–32. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000005412>
- Ramaswamy, P., Kumar, S., & Nathan, M. (2021). Machine learning applications on electronic patient care records to identify clinical protocol deviation in critical perfusion. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 15(6), 1748–1755. <https://doi.org/10.1177/19322968211024567>
- Ramaswamy, P., Meert, K., & Dalton, H. (2025). Development and external validation of a machine learning model for brain injury in pediatric patients on extracorporeal membrane oxygenation. *Pediatric Critical Care Medicine*, 26(1), 1–11. <https://doi.org/10.1097/PCC.0000000000003418>
- Sarmiento-Zambrano, A. A., Villa-Ochoa, D. X., Sumba-Tumbaco, P. A., Cusme-Chávez, S. M., & Gallegos-Goya, A. E. (2026). Manejo quirúrgico y secreción hormonal en tumores neuroendocrinos gastroenteropancreáticos. *Revista Científica Ciencia y Método*, 4(3), 249–264. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n3/234>
- Sawchuk, A. P. (2025). Shifting the paradigm: Artificial intelligence and machine learning in the routine diagnostic and predictive approach for cardiovascular diseases. *Journal of Clinical Medicine*, 14(3), Artículo 712. <https://doi.org/10.3390/jcm14030712>
- Schaller, S., Paradis, S., Ngoh, G. A., Assaly, R., Buisson, B., Drouot, C., Ostuni, M. A., Lacapere, J.-J., Bassissi, F., Bordet, T., Berdeaux, A., Jones, S. P., Morin, D., & Pruss, R. M. (2010). TRO40303, a new cardioprotective compound, inhibits mitochondrial permeability transition. *Journal of Pharmacology and*

Experimental Therapeutics, 333(3), 696–706.
<https://doi.org/10.1124/jpet.110.167486>

Stathakopoulou, C., Varlamos, C., Butt, H., Xenogiannis, I., Dragona, V.-M., Benetou, D.-R., Vlachos, S., Pappas, C., Kolokathis, F., Keeble, T. R., & Karamasis, G. V. (2026). Acute coronary occlusion in NSTEMI patients: Prevalence, clinical characteristics and the potential role of artificial intelligence. *Medicina*, 62(5), Artículo 899. <https://doi.org/10.3390/medicina62050899>

Suárez, M., Gil-Rojas, S., Martínez-Blanco, P., Torres, A. M., Martínez-García, N., Torralba, M., & Mateo, J. (2026). Personalized mortality risk stratification in ALD- and MASLD-related hepatocellular carcinoma using a machine learning approach. *Metabolites*, 16(1), Artículo 8.
<https://doi.org/10.3390/metabo16010008>

Zeng, J., Liu, L., Yuan, Y., Zhu, G., Su, X., Gong, X., & Cui, C. (2025). Construction of a prediction model for perioperative blood transfusion in elderly hip fracture patients: A retrospective study. *Perioperative Medicine*, 14, Artículo 128.
<https://doi.org/10.1186/s13741-025-00616-7>