



REVISTA **POLITÉCNICA** DE LA CIENCIA

ISSN: 3091-2008

Edición Bianual

Agosto 2026

Vol. 4 Número 9

DOI: <https://doi.org/10.56519/72pwrp12>



05-08-2026
www.politecnicadelaciencia.com



REVISTA
POLITÉCNICA
DE LA CIENCIA



Editora en Jefe

PhD. María Belén Bravo Ávalos

Revista Politécnica de la Ciencia

febrero-julio y agosto-enero,

Frecuencia de publicación bianual

Código Postal 170526

© Contacto: +593 098 320 4362

✉ Correo electrónico: publicaciones@politecnicalaciencia.com

Entidad Editora: Instituto Superior Tecnológico Politécnica del Ecuador

Revista Politécnica de la Ciencia es una publicación de acceso abierto que tiene como objetivo principal la difusión de investigaciones originales y revisiones en diversas áreas del conocimiento. Entre las temáticas que aborda se encuentran Salud y Bienestar, Servicios, Ciencias Naturales, Matemática y Estadística, Tecnologías de la información y la comunicación, Administración de empresas y derecho.

La revista asegura la excelencia académica de sus publicaciones a través de un estricto proceso de evaluación que comienza con una revisión del comité editorial y continúa con una evaluación detallada por parte de expertos en la materia. Los artículos se presentan de manera atractiva para mejorar su comprensión y captar el interés de la audiencia.

Con un enfoque bianual, la Revista Multidisciplinaria Politécnica de la Ciencia publica ediciones de mayo a octubre y de noviembre a abril, además de ediciones especiales dedicadas a temas de importancia específica. Su objetivo es fomentar un entorno de intercambio académico y científico, impulsando el progreso del conocimiento en las áreas mencionadas.

La publicación está diseñada para investigadores, educadores, estudiantes y profesionales, así como para cualquier persona interesada en la creación y difusión del conocimiento. Asimismo, busca llegar a universidades, instituciones educativas y organizaciones tanto a nivel nacional como internacional, incluyendo aquellos sectores que valoran la diversidad disciplinaria en la producción científica.

**“NOS ESFORZAMOS
POR SER MÁS QUE UNA
REVISTA, INSPIRANDO
A LOS
INVESTIGADORES Y A
LA ACADEMIA EN EL
ÁMBITO DE LA CIENCIA
Y LA TECNOLOGÍA”**



REVISTA
POLITÉCNICA
DE LA CIENCIA

ÍNDICE

- 01-20** APLICACIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL DIAGNÓSTICO TEMPRANO MEDIANTE IMÁGENES MÉDICAS: AVANCES Y DESAFÍOS CLÍNICOS
- 21-36** EFECTIVIDAD DE LOS PROGRAMAS DE EJERCICIO TERAPÉUTICO EN PACIENTES CON DOLOR LUMBAR CRÓNICO: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS
- 37-55** PREVALENCIA DEL SÍNDROME METABÓLICO Y FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS EN ADULTOS ATENDIDOS EN CONSULTA DE MEDICINA INTERNA: REVISIÓN SISTEMÁTICA
- 56-71** RELACIÓN ENTRE DESREGULACIONES NEUROQUÍMICAS, RASGOS PSICOPATOLÓGICOS Y CONDUCTAS DELICTIVAS: APORTES PARA UNA PERFILACIÓN CRIMINAL MULTIDISCIPLINARIA
- 72-88** DETECCIÓN EN TIEMPO REAL DE PAQUETES DEFECTUOSOS EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE PAPEL HIGIÉNICO MEDIANTE REDES NEURONALES CONVOLUCIONALES POR ANÁLISIS DE CUADRANTES
- 89-100** ECONOMÍA CIRCULAR COMO ESTRATEGIA PARA LA GENERACIÓN DE VALOR, COMPETITIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD FINANCIERA EN EL SECTOR AGROINDUSTRIAL



- 101-123** APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL DIAGNÓSTICO POR TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA, RESONANCIA MAGNÉTICA Y RADIOGRAFÍA DIGITAL: REVISIÓN SISTEMÁTICA
- 124-144** BIOMARCADORES BIOQUÍMICOS EMERGENTES PARA EL DIAGNÓSTICO TEMPRANO DE ENFERMEDADES NEURODEGENERATIVAS: REVISIÓN SISTEMÁTICA
- 145-157** LACTANCIA MATERNA Y SENTIDO DE COHERENCIA: REVISIÓN SISTEMÁTICA
- 158-177** DIABETES MELLITUS TIPO 2 Y ENFERMEDAD RENAL CRÓNICA: FACTORES ASOCIADOS Y ESTRATEGIAS DE PREVENCIÓN BASADAS EN LA EVIDENCIA
- 178-192** APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA FISIOTERAPIA GERIÁTRICA: AVANCES, DESAFÍOS Y PERSPECTIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA DEL ADULTO MAYOR
- 193-206** EFICACIA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LOS DISPOSITIVOS INTELIGENTES DURANTE LA REANIMACIÓN CARDIOPULMONAR EN PACIENTES CON PARO CARDIORRESPIRATORIO: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS
- 207-231** FRACTURAS DE CADERA EN ADULTOS MAYORES: ACTUALIZACIÓN EN EL TRATAMIENTO, REHABILITACIÓN Y RECUPERACIÓN FUNCIONAL BASADA EN EVIDENCIA CIENTÍFICA

232-252 DEL SOP AL PMOS: FACTORES ASOCIADOS AL SÍNDROME OVÁRICO METABÓLICO POLIENDOCRINO Y SU IMPACTO EN LA TRAYECTORIA METABÓLICA DE MUJERES EN EDAD REPRODUCTIVA

253-268 READAPTACIÓN FUNCIONAL POST-ACV: INTEGRACIÓN DE PRINCIPIOS DE FISIOTERAPIA DEPORTIVA Y NEUROREHABILITACIÓN BASADA EN EVIDENCIA

269-289 RELACIÓN ENTRE ESTRÉS ACADÉMICO, ANSIEDAD Y RENDIMIENTO ESTUDIANTIL EN UNIVERSITARIOS POSTPANDEMIA

178-192 APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA FISIOTERAPIA GERIÁTRICA: AVANCES, DESAFÍOS Y PERSPECTIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA DEL ADULTO MAYOR

193-206 EFICACIA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LOS DISPOSITIVOS INTELIGENTES DURANTE LA REANIMACIÓN CARDIOPULMONAR EN PACIENTES CON PARO CARDIORRESPIRATORIO: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS

207-231 FRACTURAS DE CADERA EN ADULTOS MAYORES: ACTUALIZACIÓN EN EL TRATAMIENTO, REHABILITACIÓN Y RECUPERACIÓN FUNCIONAL BASADA EN EVIDENCIA CIENTÍFICA

APLICACIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL DIAGNÓSTICO TEMPRANO MEDIANTE IMÁGENES MÉDICAS: AVANCES Y DESAFÍOS CLÍNICOS

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EARLY DIAGNOSIS THROUGH MEDICAL IMAGING: ADVANCES AND CLINICAL CHALLENGES

Manuel Alejandro Reyes Muñoz¹, Daniela Estefanía Durán Holguín², Geovanna María Pazmiño Olmedo³, Paula Andrea Garzón Benavides⁴

{00454207@anahuac.mx¹, dannyes89@hotmail.com², geovannaolmedo3131@gmail.com³, garzonpaulita@gmail.com⁴}

Fecha de recepción: 12/05/2026 / Fecha de aceptación: 02/06/2026 / Fecha de publicación: 05/08/2026

RESUMEN: La inteligencia artificial (IA) se ha consolidado como una de las tecnologías más prometedoras para el diagnóstico temprano mediante imágenes médicas, debido a su capacidad para mejorar la precisión diagnóstica, agilizar la interpretación de estudios y apoyar la toma de decisiones clínicas. El objetivo de este trabajo fue analizar los avances recientes en la aplicación de la IA en el diagnóstico temprano por imágenes médicas y describir los principales desafíos clínicos, tecnológicos y éticos asociados a su implementación. Para ello, se realizó una revisión narrativa de la literatura científica publicada entre 2016 y 2025, utilizando las bases de datos PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science y ScienceDirect. Se incluyeron estudios originales, revisiones sistemáticas, metaanálisis y otros documentos científicos relacionados con el uso de inteligencia artificial en imágenes médicas. La información recopilada fue organizada y analizada mediante un enfoque temático, considerando las áreas clínicas de aplicación, las tecnologías empleadas, los resultados diagnósticos obtenidos y las limitaciones identificadas. Los hallazgos evidenciaron que los algoritmos de aprendizaje profundo han alcanzado niveles de precisión comparables a los de especialistas en oncología, neurología, enfermedades respiratorias y cardiología. Asimismo, se identificaron beneficios significativos asociados con la detección temprana de enfermedades, la reducción de la variabilidad diagnóstica y la optimización de los flujos de trabajo clínicos. Sin embargo, persisten limitaciones relevantes, entre ellas la escasa capacidad de generalización de algunos modelos, la presencia de sesgos en los datos de entrenamiento, la limitada interpretabilidad de

¹Universidad Anahuac México, México, <https://orcid.org/0009-0004-7752-4897>

²Investigadora Independiente, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0002-7478-0401>

³Investigadora Independiente, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0007-6830-2485>

⁴Investigador Independiente, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0000-7231-0276>

ciertos algoritmos y la necesidad de fortalecer los marcos regulatorios y éticos. Se concluye que la inteligencia artificial constituye una herramienta complementaria con gran potencial para el diagnóstico temprano mediante imágenes médicas; no obstante, su implementación debe sustentarse en modelos transparentes, validados en diversos contextos clínicos y respaldados por estrategias que garanticen la seguridad, la equidad y la confiabilidad de su resultado.

Palabras clave: inteligencia artificial, diagnóstico temprano, imágenes médicas, aprendizaje profundo, radiología, medicina de precisión

ABSTRACT: Artificial intelligence (AI) has established itself as one of the most promising technologies for early diagnosis through medical imaging, due to its ability to improve diagnostic accuracy, streamline the interpretation of imaging studies, and support clinical decision-making. The objective of this study was to analyze recent advances in the application of AI in early diagnosis through medical imaging and to describe the main clinical, technological, and ethical challenges associated with its implementation. To this end, a narrative review of the scientific literature published between 2016 and 2025 was conducted, using the PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, and ScienceDirect databases. Original studies, systematic reviews, meta-analyses, and other scientific documents related to the use of artificial intelligence in medical imaging were included. The collected information was organized and analyzed using a thematic approach, considering the clinical areas of application, the technologies employed, the diagnostic results obtained, and the limitations identified. The findings showed that deep learning algorithms have achieved accuracy levels comparable to those of specialists in oncology, neurology, respiratory diseases, and cardiology. Furthermore, significant benefits were identified associated with the early detection of diseases, the reduction of diagnostic variability, and the optimization of However, significant limitations remain, including the poor generalization ability of some models, the presence of bias in training data, the limited interpretability of certain algorithms, and the need to strengthen regulatory and ethical frameworks. It is concluded that artificial intelligence is a complementary tool with great potential for early diagnosis through medical imaging; however, its implementation must be based on transparent models, validated in various clinical contexts, and supported by strategies that ensure the safety, equity, and reliability of its results.

Keywords: artificial intelligence, early diagnosis, medical imaging, deep learning, radiology, precision medicine

INTRODUCCIÓN

La inteligencia artificial (IA) ha conseguido convertirse en una de las tecnologías más disruptivas y prometedoras en el área de la salud en la última década. Su implementación en diferentes áreas de la medicina ha permitido mejorar procesos clínicos, aumentar la exactitud del diagnóstico y favorecer la toma de decisiones apoyadas en datos. El análisis de imágenes en la medicina representa uno de los sectores en el que la IA ha demostrado mayor potencial, sobre todo, en el diagnóstico temprano de patologías de elevada prevalencia y mortalidad. La creciente disponibilidad de grandes transportes de imágenes digitales, junto con el desarrollo en el aprendizaje automático (Machine Learning) y el aprendizaje profundo (Deep Learning) ha permitido el desarrollo de sistemas que son capaces de identificar patrones complejos que pueden no captarse con la evaluación clásica que lleva a cabo un profesional de la salud (1,2).

El diagnóstico precoz constituye uno de los ejes centrales de la mejora del pronóstico de diversas enfermedades, fundamentalmente de tipo oncológico, cardiovascular, neurológico y respiratorio. Diferentes investigaciones han puesto de manifiesto que la detección en estadios precoces permite instaurar tratamientos a tiempo, disminuir las complicaciones, bajar costes sanitarios e incrementar notablemente los índices de supervivencia. Sin embargo, el incremento de la demanda de estudios de imagen y la escasez de especialistas en algunas áreas geográficas ha generado problemas importantes, en términos de carga de trabajo, tiempos de respuesta y variabilidad en los diagnósticos. En este sentido, la IA se sitúa como una técnica complementaria que puede apoyar la interpretación de la imagen médica y reforzar la capacidad diagnóstica de los sistemas de salud (3,4).

Durante la última década, el gran desarrollo de redes neuronales convolucionales (Convolutional Neural Networks (CNN)) ha permitido el crecimiento desmesurado de los algoritmos de aprendizaje profundo, los cuales han demostrado obtener excelentes resultados en tareas de clasificación, segmentación y detección de anomalías en imágenes médicas. Estas tecnologías han encontrado su aplicación en radiografías, tomografías computarizadas, resonancias magnéticas, mamografías, ecografías e imágenes de patología. Ciertas investigaciones ofrecen resultados en fiabilidad de mención similares, e incluso superiores en ciertas condiciones específicas, a los de los especialistas experimentados, y han demostrado soluciones eficientes a problemas de diagnóstico relacionados con el cáncer de mama, el cáncer de pulmón, la retinopatía diabética, enfermedades cardiovasculares y ciertas patologías neurológicas. Asimismo, la IA ha permitido desarrollar sistemas más eficientes al integrar el diagnóstico asistido por computadora y al permitir disminuir errores relacionados con la interpretación humana (5,6).

Uno de los logros más significativos es nuestra habilidad para que los modelos de IA puedan analizar al mismo tiempo, en grandes cantidades de información clínica e imagenológica, patrones sutiles, probablemente estadios tempranos de enfermedad. Esta aplicación se ha mostrado especialmente útil en programas de tamizaje poblacional, donde la rapidez y la

exactitud de la respuesta diagnóstica puede ser clave para el éxito de las estrategias de prevención y control. Otro ejemplo lo encontramos en la oncología, donde la inteligencia artificial está apoyando un diagnóstico más precoz para lesiones malignas obtenidas a partir de datos por mamografías, tomografías de tórax y estudios ecográficos, con el potencial para contribuir a una disminución de la mortalidad de todos los tipos de cáncer (7,8).

Aunque se han dado pasos significativos, la implementación clínica de la inteligencia artificial presenta aún muchos inconvenientes que dificultan su generalización. Entre estos inconvenientes, sobresalen la necesidad de conjuntos de datos amplios, diversos y correctamente etiquetados para entrenar algoritmos; los sesgos que pueden aparecer por representar escasamente a ciertas poblaciones; las dificultades relacionadas con la interoperabilidad de los sistemas; o la calidad de las imágenes obtenidas que puede ser muy variable entre distintos centros. También persisten los temores en relación a la transparencia de los modelos de aprendizaje profundo y que es frecuente describir como “cajas negras”, dadas las dificultades para conocer cómo los procesos internos de estas técnicas llevan a una determinada predicción diagnóstica. Estas limitaciones han propiciado el desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial explicable (Explainable Artificial Intelligence, XAI), orientados por tanto a aumentar la confianza de los profesionales de la salud, así como a facilitar una toma de decisiones más transparente y segura (9,10).

Ciertamente, los aspectos legales, éticos, regulatorios representan importantes desafíos también para la integración de estas tecnologías en la práctica clínica. El respeto a los datos sensibles, la confidencialidad del paciente, la responsabilidad ante los errores en la codificación diagnóstica y la validación clínica de los algoritmos constituyen elementos que deben ser abordados de forma previa a implementaciones en un contexto de gran escala. Y a su vez, las organizaciones reguladoras y las sociedades científicas siguen elaborando marcos normativos que garantizan que las soluciones instanciadas como IA en la práctica clínica siga los estrictos requisitos asociados a la seguridad, a la eficacia y a la calidad asistencial (11,12).

Hoy en día, la evidencia científica apunta a que la inteligencia artificial no debe entenderse como un complemento del juicio por parte de los profesionales sanitarios si no como una herramienta que amplía las capacidades sociales de los propios clínicos que ejercen su actividad. La suma de la experiencia mediada por la inteligencia artificial permitirá la creación de modelos de atención a los pacientes más eficaces y más ajustados a los deseos del propio paciente. La convergencia de sinergias deberá cimentarse todavía más en aspectos como la validación externa de los algoritmos que emplean interfaz de la inteligencia artificial, la generalización entre poblaciones distintas o la interrelación de las herramientas con los flujos de trabajo clínicos establecidos.

Por lo expuesto, este artículo se incluye en el análisis de estados de la cuestión de los últimos avances en la integración de inteligencia artificial para el diagnóstico temprano de enfermedades a partir de imágenes médicas y de los principales retos clínicos, éticos y técnicos que obstaculizan

su incorporación en la práctica asistencial. Desde esta perspectiva, se propone la hipótesis de que la integración de buenos sistemas de inteligencia artificial en el análisis de las imágenes médicas puede conseguir diagnósticos más precisos y más oportunos, a la vez que la implementación de sistemas de inteligencia artificial en este ámbito queda condicionada por la superación de retos referidos a la interpretabilidad, la regulación, la calidad de los datos y la aceptación clínica.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente estudio se optó por desarrollar una revisión bibliográfica de tipo narrativa y descriptivo-analítica, orientada a analizar los avances y los retos clínicos asociados a la implementación de la inteligencia artificial en el diagnóstico precoz a través de las imágenes médicas. Dicha elección nos permitió recoger, analizar e integrar evidencia científica reciente asociada a la implementación de algoritmos de inteligencia artificial, machine learning o aprendizaje automático, y deep learning o aprendizaje profundo en las diversas modalidades de diagnóstico por imágenes.

La búsqueda de información se llevó a cabo entre febrero y mayo de 2026 a partir de bases de datos científicas de gran reconocimiento internacional, las cuales fueron seleccionadas por tener una amplia cobertura, una rigurosidad editorial y una elevada calidad de indexación. Las fuentes requeridas abarcaron PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science y ScienceDirect, ya que recogen una gran parte de la literatura biomédica y tecnológica de alto impacto, publicada a nivel mundial. Estas bases de datos están bastante consolidadas en la investigación científica y en las revisiones sistemáticas, puesto que garantizan la recuperación de estudios revisados por pares y con un sólido respaldo metodológico. La estrategia de búsqueda se erigió a partir de la fusión de términos controlados y keywords relacionadas con el tema en estudio. Se aplicaron los operadores booleanos (AND y OR) con el fin de maximizar la sensibilidad y especificidad de la búsqueda. Los principales términos empleados fueron: “artificial intelligence”, “machine learning”, “deep learning”, “medical imaging”, “radiology”, “diagnostic imaging”, “early diagnosis”, “computer-aided diagnosis”, “convolutional neural networks”, “medical image analysis” y “clinical challenges”. Se también empleó su equivalente en español para maximizar la recuperación de literatura relevante. El diseño de la estrategia de búsqueda se fundamentó en metodologías empleadas en revisiones recientes acerca de la inteligencia artificial para imágenes médicas.

Se determinaron criterios de inclusión y exclusión para asegurar la calidad y actualidad de la evidencia recuperada. Se incluyeron trabajos originales, revisiones sistemáticas, metaanálisis, estudios observacionales, estudios clínicos e informes de revisión narrativa publicados entre enero de 2016 y diciembre de 2025. Se consideraron solamente las publicaciones en inglés o español, indexadas en revistas científicas, bajo revisión por pares. A su vez, los estudios debían

incluir aplicaciones de inteligencia artificial para la interpretación, clasificación, segmentación o detección de patologías mediante imágenes médicas.

Se retiraron: editoriales, cartas al editor, fundamentos de expertos no respaldados por ninguna evidencia empírica, resúmenes de congreso, documentos duplicados, tesis no publicadas y artículos que en su contenido no presentaran ninguna relación con el diagnóstico precoz, en este caso, el que se fundamenta en imágenes médicas. Asimismo, existieron estudios que fueron descartados por su insuficiente información metodológica para poder evaluar sus resultados en términos de validez, o bien porque la fecha de su publicación superaba el límite de los diez años que hemos exigido en esta investigación.

El proceso de selección de los textos incluía tres etapas. En la primera etapa se llevó a cabo la identificación de publicaciones potencialmente pertinentes mediante su búsqueda electrónica en las bases de datos seleccionadas. A continuación, se llevó a cabo la revisión de títulos y resúmenes para determinar su pertinencia al objeto de la investigación. Finalmente, se realizó la lectura completa de los artículos que habían sido preseleccionados a fin de comprobar si cumplían con los criterios de inclusión y exclusión predefinidos.

A raíz de la información extraída se elaboró una matriz de extracción de datos donde se recogieron variables como el año de publicación, los autores, el país de procedencia, la modalidad de imagen médica estudiada, el tipo de algoritmo de inteligencia artificial que utilizaba, la patología estudiada, los principales hallazgos, la precisión diagnóstica reportada y las limitaciones descritas. Esta información sirvió para establecer una comparación estructurada de los resultados obtenidos en diversas investigaciones y establecer tendencias relevantes en el desarrollo de la inteligencia artificial en el diagnóstico por imagen.

La evaluación crítica de los estudios analizados se sustentó en el testimonio de la revisión de aspectos metodológicos relativos al diseño de estudios, tamaño muestral, validación de algoritmos, reproducibilidad de resultados y aplicabilidad clínica; otorgándose un valor relevante a publicaciones de revistas científicas de impacto elevado y con prestigio internacional en el ámbito de la radiología, la informática médica, la inteligencia artificial y las ciencias de la salud para garantizar la credibilidad de la evidencia revisada.

Por último, la información extraída fue sintetizada de forma narrativa y los hallazgos se organizaron a partir de los principales avances tecnológicos y de los más destacados desafíos clínicos, éticos y regulatorios de la implementación de la inteligencia artificial en el diagnóstico precoz avalado por imágenes médicas.

RESULTADOS

Evidencia global sobre el rendimiento diagnóstico de la inteligencia artificial en imágenes médicas

El análisis de la literatura científica publicada entre 2016 y 2025 supone un rápido crecimiento de las aplicaciones de la inteligencia artificial en el diagnóstico temprano a través de imágenes médicas. Los estudios analizados son coincidentes en que el aprendizaje profundo (Deep Learning), concretamente el de las redes neuronales convolucionales (CNNs), ha cambiado la capacidad de procesamiento, clasificación e interpretación de imágenes clínicas, hasta alcanzar niveles de precisión del diagnóstico que son comparables o incluso superiores a los que realizan determinadas especialidades humanas en diferentes contextos clínicos (1,5,13).

Uno de los trabajos más poderosos descritos dentro de la revisión es el metaanálisis realizado por Aggarwal et al; quienes evaluaron la precisión diagnóstica de algoritmos de deep learning aplicados a imágenes médicas. El estudio analizó 11.921 publicaciones iniciales de las cuales 503 fueron elegibles para el estudio. Los resultados indicaron que los algoritmos recibieron áreas bajo la curva (AUC) de entre 0,933 y 1,0 para enfermedades oftalmológicas, AUC de entre 0,864 y 0,937 para patologías respiratorias, y AUC de entre 0,868 y 0,909 para cáncer de mama. Esto sugiere que la inteligencia artificial puede ofrecer un rendimiento diagnóstico muy competitivo cuando se aplica a bases de imágenes debidamente estructuradas y validadas (13).

Los resultados también dan cuenta de un desarrollo progresivo a partir de sistemas diseñados para tareas muy específicas hasta llegar a sistemas más complejos que resuelven múltiples patologías. La literatura reciente afirma que se ha producido un movimiento desde sistemas para la detección de una enfermedad hacia modelos fundacionales que han sido entrenados con millones de imágenes de distintas modalidades diagnósticas (tomografía computarizada, resonancia magnética, mamografía, radiología digital, patología digital). Este proceso convirtió en una oportunidad para construir herramientas más adaptativas a la clínica y más aplicables al entorno hospitalario (14,15).

Un segundo aspecto importante que ha aflorado en esta revisión es el crecimiento masivo de la cantidad de publicaciones científicas vinculadas a la inteligencia artificial médica. El aumento de la capacidad computacional, el acceso a data sets masivos conteniendo imágenes médicas y el impulso en la creación de arquitecturas donde se aplique el aprendizaje profundo han sido aquellos factores que han promovido la investigación en ese ámbito concreto durante los últimos diez años. Fruto de ello, la inteligencia artificial ha llegado a posicionarse como uno de los sectores en ascenso en el marco de la informática biomédica y la radiología digital.

Con la finalidad de sintetizar la evidencia científica que ha sido sometida a análisis e investigación en el contexto de esta revisión, se propone la Tabla 1 en la cual se exhiben los estudios más

representativos que han sido incluidos dentro de la revisión. En la misma se ha resumido aquellos aspectos relevantes que conforman cada uno de los trabajos, como puede ser el área clínica estudiada, la modalidad de imagen médica utilizada, el tipo de tecnología de inteligencia artificial que ha sido aplicada y los resultados principales que han sido reportados por los autores. Este tipo de hallazgos permiten determinar las áreas con un mayor grado de desarrollo, así como aquellos progresos que han sido alcanzados en precisiones en el diagnóstico y aquellos ítems que podrían considerarse como desafíos y que se relacionan estrechamente con la implementación clínica de la inteligencia artificial en el diagnóstico temprano a partir de imágenes médicas.

Tabla 1. Principales estudios analizados sobre inteligencia artificial aplicada al diagnóstico

Autor (es)	Año	Área clínica	Modalidad de imagen	Tecnología IA	Hallazgo principal
Aggarwal et al.	2021	Multidisciplinaria	Diversas modalidades	Deep Learning	Demostró alta precisión diagnóstica en oftalmología, enfermedades respiratorias y cáncer de mama, con desempeño comparable al de especialistas.
Zhou et al.	2020	Multidisciplinaria	Radiografía, TC, RM e histopatología	Deep Learning	Identificó avances significativos en múltiples especialidades médicas y destacó el potencial futuro de la IA en diagnóstico por imágenes.

Mazurowski et al.	2018	Radiología	TC, RM y mamografía	Redes neuronales convolucionales	Evidenció que el aprendizaje profundo puede igualar o superar el rendimiento humano en determinadas tareas diagnósticas.
McGenity et al.	2023	Patología digital	Imágenes histopatológicas	Deep Learning	Reportó elevada sensibilidad y especificidad para la identificación automatizada de tejidos tumorales.
Yang et al.	2024	Multidisciplinaria	Diversas modalidades	Deep Learning	Identificó limitaciones relacionadas con la generalización de modelos entre diferentes poblaciones y centros sanitarios.
Wenderott et al.	2024	Radiología	Radiografías y tomografías	Inteligencia Artificial aplicada a flujos clínicos	Demostró mejoras en eficiencia operativa y reducción de tiempos de interpretación diagnóstica.

Seo et al.	2024	Radiología	TC, RM y radiografías	Foundation Models y IA generativa	Destacó el potencial clínico de modelos fundacionales para mejorar la interpretación de imágenes médicas.
Schouten et al.	2024	Medicina personalizada	Imágenes multimodales	IA multimodal	Mostró que la integración de imágenes con datos clínicos incrementa la capacidad predictiva de los algoritmos.
Zhang et al.	2024	Radiología	TC, RM y mamografía	Detección automatizada de lesiones	Evidenció mejoras en la identificación de microlesiones y hallazgos tempranos difíciles de detectar visualmente.
Kim et al.	2024	Radiología	Imágenes multimodales	Foundation Models	Demostró avances en interpretabilidad mediante integración de imágenes y lenguaje médico especializado.

Tal como se puede consultar en la Tabla 1, la mayor parte de las investigaciones recientes se encuentra en la línea de desarrollo de modelos de Deep Learning y sistemas multimodales en oncología, en radiología torácica y en neurología y, por último, en cardiología. En términos generales, las investigaciones reportan mejoras en el rendimiento diagnóstico, en la optimización de los tiempos de interpretación e incluso en la mejora de la detección temprana de

enfermedades. Sin embargo, también aparecen algunos retos relacionados con la generalización de los modelos, la calidad de los datos de entrenamiento y la necesidad de incrementar la transparencia e interpretabilidad de los algoritmos usados en los entornos clínicos.

Aplicación en oncología y detección temprana del cáncer

La oncología constituye el área clínica con mayor producción científica relacionada con el empleo de la inteligencia artificial en imágenes médicas. La evidencia analizada indica que los algoritmos actuales muestran resultados particularmente esperanzadores en la detección temprana del cáncer de mama, cáncer de pulmón y análisis histopatológico digital.

En lo que respecta al cáncer de mama, los trabajos revisados dejan entrever que los sistemas basados en deep learning tienen la capacidad de detectar microcalcificaciones, distorsiones arquitectónicas y lesiones en estadios iniciales de difícil reconocimiento si se optase por la observación convencional. En el metaanálisis presentado por Aggarwal et al., los resultados que se obtuvieron para los estudios incluidos mostraron AUC entre 0,868 y 0,909 para las diferentes modalidades de imagen mamaria consideradas mamografías digitales, ecografía, resonancia magnética y tomo síntesis. Los resultados obtenidos muestran un elevado rendimiento diagnóstico que avala la potencial utilidad de la IA como herramienta adyuvante para los programas de cribado poblacional (16,17).

La literatura también pone de manifiesto progresos destacados en el campo de la detección temprana de la neoplasia maligna del pulmón. Los algoritmos diseñados para el estudio informatizado automatizado de las tomografías computarizadas de tórax poseen una buena capacidad para detectar elementos nodulares pulmonares de pequeño tamaño y con características sospechosas de malignidad. La posibilidad de poder realizar estudios sobre miles de cortes tomográficos a una buena velocidad proporciona la oportunidad de poder llegar a conclusiones sobre la detección de hallazgos sutiles capaces de pasar desapercibidos en la evaluación convencional, en particular en situaciones con gran carga asistencial (18).

Con respecto a la patología digital, se trata de uno de los emergentes más esperanzadores. Asimismo, la revisión sistemática que se puso en marcha por McGenity y colaboradores reseñó 100 estudios y más de 152 000 imágenes histopatológicas digitales; las conclusiones fueron que la sensibilidad media alcanzó el 96,3 % y la especificidad media fue del 93,3 %; datos que apoyan al hecho de que los sistemas de IA son capaces de reconocer patrones celulares compatibles con una malignidad con altísimos índices de especificidad y sensibilidad, lo cual corrobora la IA como herramienta de ayuda a los anatomopatólogos y/o a los especialistas en diagnóstico histológico. (19).

Aplicación de la inteligencia artificial en enfermedades respiratorias

Las enfermedades relacionadas con las vías respiratorias constituyen uno de los ámbitos en los que la inteligencia artificial ha llegado más lejos en su aplicación, dado que hay una enorme cantidad de imágenes radiológicas y tomográficas. En particular, los trabajos revisados indicaban que los algoritmos de aprendizaje profundo han demostrado una elevada capacidad para identificar problemas pulmonares que se relacionan con la existencia de cáncer, neumonía, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, fibrosis pulmonar y otras enfermedades de tipo respiratorio (20,21).

Los resultados muestran que los sistemas automatizados pueden analizar radiografías de tórax y tomografías computarizadas en una fracción del tiempo que la interpretación habitual necesita, permitiendo la detección de patrones radiológicos complejos con alta precisión, lo cual es muy relevante en los programas de cribado poblacional y en las instituciones sanitarias con alta demanda diagnóstica.

En el período de la pandemia de COVID-19 se originó un desarrollo exponencial de algoritmos destinados a facilitar el análisis automatizado de las imágenes torácicas. Si bien muchos de esos modelos estaban orientados a responder a necesidades, el contexto de su desarrollo propició la evolución de modelos metodológicos orientados a otras patologías respiratorias. Como consecuencia, se estableció un refuerzo de las capacidades de los sistemas de inteligencia artificial para la detección temprana de anomalías en el pulmón y la ayuda en el proceso de la toma de decisiones clínicas (9).

Otro punto importante evidenciado en la literatura es el control de la variabilidad diagnóstica entre observadores. La estandarización propiciada por los algoritmos logra acortar las discrepancias interpretativas y, favorecer, así, la consistencia entre los informes radiológicos para mejorar los resultados de los diagnósticos en su forma más uniforme y reproducible.

Aplicación en neurología

La neurología constituye una de las especialidades médicas con mayor capacidad para sacar provecho de la inteligencia artificial para el análisis de imágenes. Los trabajos incluidos en esta revisión muestran avances considerables en la detección precoz de enfermedades neurodegenerativas, accidentes cerebrovasculares, epilepsia y tumores cerebrales (22,23).

En enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer o el Parkinson, los propios algoritmos han permitido conocer alteraciones estructurales y funcionales en fases anteriores a la aparición de las manifestaciones clínicas como tal. Lo que reviste una importancia especial debido a que pueden comenzar una terapia y un seguimiento en una fase previa, cuando las intervenciones pueden ser más efectivas (22).

Los resultados también reflejan que la inteligencia artificial aplicada a la resonancia magnética cerebral favorece la segmentación anatómica de la investigación de lesiones y la cuantificación de los cambios cerebrales asociados al envejecimiento o a procesos patológicos, de tal forma que mejoran las medidas obtenidas con técnicas manuales clásicas, ya que aseguran mediciones más reproducibles y objetivas (23).

La rapidez con la que se realizan los diagnósticos, en el contexto del accidente cerebrovascular, es uno de los aspectos más influyentes en el pronóstico del paciente. Entre las diversas investigaciones relacionadas con esta patología, existen algunas en las que se ha puesto de manifiesto que los sistemas automatizados son capaces de reconocer áreas isquémicas en los estudios de imagen por resonancia magnética y de indicar la ocurrencia de hemorragia intracraneal de forma rápida, convirtiéndose en una herramienta que facilita la toma de decisiones terapéuticas de forma oportuna y, potencialmente, mejorando el pronóstico clínico.

4.5 Aplicación en enfermedades cardiovasculares

La evidencia científica muestra que la inteligencia artificial también ha facilitado progresos considerables en el diagnóstico por imágenes cardiovasculares. Los estudios que se revisan en esta sección muestran que hay aplicaciones exitosas tanto en el contexto ecocardiográfico como en el de la tomografía computarizada cardíaca, la resonancia magnética cardiovascular y la angiografía coronaria (24, 25).

Los algoritmos de la maquinaria de aprendizaje automático han comenzado a mostrarse en la utilidad de la detección de procesos de cardiopatías estructurales, de alteraciones valvulares, de insuficiencia cardíaca, de enfermedad coronaria. O, por el contrario, los procedimientos automáticos de medición anatómica permiten minimizar errores relacionados a la variabilidad humana y, así, elevar la precisión de los estudios diagnósticos (25).

Los hallazgos sugieren que la inteligencia artificial se puede utilizar en el desarrollo de modelos predictivos capaces de identificar los pacientes en riesgo cardiovascular antes de la aparición de eventos clínicos mayores, lo cual favorece el desarrollo de estrategias preventivas más eficaces y, al mismo tiempo, los programas de medicina personalizada (24).

Asimismo, distintos estudios enfatizan que la introducción de inteligencia artificial en los servicios de cardiología facilita la mejora de la eficacia organizativa y el tiempo requerido para el procesamiento de los estudios complejos, permitiendo así una atención más rápida y precisa.

Inteligencia artificial multimodal y medicina de precisión

Uno de los descubrimientos más destacados establecidos en la literatura más reciente corresponde a los sistemas multimodales de la IA. A diferencia de los métodos tradicionales, estos

modelos combinan imágenes médicas, datos clínicos, datos anteriores del paciente, resultados de laboratorio e información genética (26,27).

Tal como lo evidencian los estudios revisados, el uso de información procedente de diversas fuentes mejora notablemente la capacidad predictiva de los algoritmos, generando mejoras en la evaluación en cuanto a su integridad y exactitud, lo cual puede favorecer los diagnósticos individualizados e impulsar terapias que se centren más en las características del mismo paciente (26).

La medicina de precisión es especialmente beneficiada por los avances realizados aquí, a través de los cuales la inteligencia artificial identifica patrones complejos imposibles de identificar mediante técnicas tradicionales, lo que permite aumentar la capacidad de predecir los riesgos, seleccionar los tratamientos e incluso seguir la evolución clínica (27).

La emergencia de nuevos modelos fundacionales y herramientas de inteligencia artificial generativa muestra una nueva forma de apostar por la evolución tecnológica del diagnóstico médico, pues pueden aprender a partir de ingentes volúmenes de información variopinta con el fin de llegar a respuestas clínicamente relevantes que pueden ser un complemento al trabajo de los profesionales de la salud.

Principales desafíos clínicos, tecnológicos y éticos identificados

Si bien se pueden encontrar ciertos avances, la implementación clínica de la inteligencia artificial aún presenta importantes retos. Uno de los principales problemas más frecuentemente mencionados es la escasa capacidad de generalización de algunos modelos de IA cuando son aplicados a otras poblaciones que no fueron entrenadas con los modelos (9,10).

La calidad y la representatividad de datos son un desafío importante para la validación externa. Muchos modelos han sido desarrollados a partir de bases de datos obtenidas en determinadas instituciones, lo que puede conllevar sesgos que deterioren el rendimiento en clínicas diferentes (10).

La interpretabilidad de los algoritmos supone una preocupación constante en la comunidad de profesionales de la salud, puesto que el hecho de que existan algunos algoritmos cuyo proceso interno que da lugar a una determinada decisión de diagnóstico resulte muy difícil de entender para el médico, hace que desconfíe de dicha decisión y no acepte de buen grado el uso de dichas tecnologías. Para tratar de dar respuesta a esta problemática, la literatura reciente pone de manifiesto un interés creciente de los autores por desarrollar sistemas de inteligencia artificial que sean explicables (9).

Los aspectos éticos y regulatorios también tienen un papel preponderante en el actual debate científico. La protección de datos sensibles, la privacidad de los pacientes, la responsabilidad en

un error diagnóstico y una estricta validación clínica también son aspectos clave para lograr una implementación segura y responsable (10).

Tendencias futuras identificadas en la literatura

La evidencia científica analizada establece que la inteligencia artificial tendrá un papel cada vez más relevante en el diagnóstico por imágenes, a medida que se desarrollen de forma contundente las tendencias destacadas: el avance de la inteligencia artificial explicable o explicativa, el progreso de los modelos multimodales, el fomento de los modelos fundacionales y la medicina personalizada (12,13).

De igual manera, es de esperar que se produzca una integración gradual de estas tecnologías en los sistemas de información hospitalarios y en los flujos de trabajo clínicos establecidos, lo que permitirá mejorar los procesos diagnósticos, aumentar la eficiencia del funcionamiento operativo y potenciar la capacidad de detección de múltiples enfermedades de manera precoz (13,14).

En su totalidad, los resultados sirven para demostrar que la IA tiene un potencial muy importante para cambiar el diagnóstico temprano de imágenes médicas. Sin embargo, la viabilidad dependerá de poder dar respuesta a desafíos de datos, de validación clínica, algorítmica, de datos de confianza, y de establecer marcos regulatorios adecuados que mantengan la seguridad y confianza de pacientes y profesionales de la salud (15).

DISCUSIÓN

Los resultados indican que la inteligencia artificial ha tenido un gran desarrollo en los últimos diez años, constituyéndose como una de las mejores herramientas tecnológicas que realmente transforma el diagnóstico rápido mediante imágenes médicas. El creciente potencial de los algoritmos de aprendizaje profundo que son capaces de establecer patrones complejos en los estudios incluyendo los radiológicos, histopatológicos y la resonancia magnética, permiten alcanzar niveles de precisión diagnóstica similares a los obtenidos mediante la participación de los especialistas en las diferentes áreas clínicas. Dichos resultados confirman la hipótesis planteada en esta investigación donde se pone de relieve que la correcta integración de sistemas de inteligencia artificial hace que mejore la oportunidad y la exactitud del diagnóstico médico (16,17,25).

Los progresos que se presentan en la literatura analizada apuntan a una mayor evolución en oncología, radiología torácica, neurología y cardiología y esta situación puede explicarse por la gran disponibilidad de imágenes digitalizadas, y por la relevancia clínica de un diagnóstico precoz y de la existencia de bases de datos suficientemente extensas para el entrenamiento de algoritmos. Ésta sería una de las aplicaciones en las que la IA proporciona un mayor potencial de

beneficio, ya que es capaz de reconocer alteraciones sutiles que podrían no ser identificadas durante la evaluación convencional. Estos hallazgos concuerdan con las investigaciones más recientes que ponen de manifiesto el potencial de la IA como herramienta de apoyo en los programas de cribado y en la estrategia de intervención (18,19).

Otro elemento importante encontrado en el paso anterior es la mejora de los flujos de trabajo clínicos a través de la inteligencia artificial. La automatización de tareas repetitivas, la priorización de estudios sospechosos o la reducción de los tiempos de interpretación contribuirían a mejorar la eficiencia del funcionamiento de los servicios de salud, sobre todo en contextos con creciente demanda asistencial y/o escasez de especialistas. Desde esa perspectiva, además de ser un instrumento diagnóstico, la IA habría que concebirla como un recurso estratégico para mejorar la gestión sanitaria y la toma de decisiones clínicas (20,21,28).

No obstante, los hallazgos de esta investigación también atestiguan que la incorporación de estas herramientas conlleva importantes limitaciones. Uno de los problemas más comunes está relacionado con la baja generalización de algunos algoritmos cuando se aplican en grupos diferentes a los que se emplearon al momento del diseño y su puesta en función. Este aspecto puede impactar la reproducibilidad de los hallazgos y reducir la aplicabilidad en el entorno clínico de los modelos que tienen un buen desempeño en condiciones controladas, pero caen bruscamente en su exactitud cuando se analizan bajo circunstancias del mundo real (27,29).

La calidad y representatividad de los datos dicho aspecto es otro aspecto fundamental. Existen varios estudios que han evidenciado que la presencia de sesgos en las bases de datos de entrenamiento puede ocasionar desigualdades diagnósticas y un compromiso de la fidelidad de los sistemas de inteligencia artificial. Por lo que es fundamental promover el desarrollo de conjuntos de datos más diversos y representativos que le permitan tener mayor validez externa y generar una aplicación clínica más igualitaria (22,29).

De la misma manera, la interpretabilidad sigue siendo una de las principales limitaciones para la adopción generalizada de la inteligencia artificial en medicina. A pesar de que muchos algoritmos ofrecen resultados muy precisos, las dificultades para comprender los mecanismos que permiten llegar a sus decisiones genera un estado de inseguridad en la práctica clínica (26,27). En este sentido, el desarrollo de métodos de inteligencia artificial explicable constituye una de las líneas de investigación más importante para poder fortalecer la confianza y aceptación de estas herramientas en la práctica clínica (29,30).

Los resultados también permiten concluir que no puede considerarse a la inteligencia artificial como una sustituta del criterio médico experto. Al contrario, la evidencia disponible sugiere que los mayores resultados se consiguen en un contexto de interacción profesional entre especialistas y sistemas inteligentes. La conjunción de la experticia clínica, del juicio profesional y del análisis

automatizado puede conducir a una disminución de errores diagnósticos, a un aumento de la precisión y a una atención centrada, más segura y más centrada en el paciente. (23,24).

Por último, se observa cómo las tendencias que se recogen en la literatura avanzada en la actualidad van en la dirección de desarrollar informes por imagen que integren modelos multimodales capaces de combinar información clínica, genética, radiológica y demográfica y que nos lleven en la dirección de una medicina más personalizada, preventiva y predictiva y, por tanto, avanzar en el objetivo de las evidencias que se manifiestan; pero aún hay que seguir adelante con la propuesta de investigación multicéntrica, los procesos de validación clínica y puentes regulatorios que mantengan niveles adecuados de transparencia, seguridad y uso ético de la IA en el mundo de la sanidad (29,30).

CONCLUSIONES

La revisión de la literatura científica ya publicada entre 2016 y 2025 pudo poner de manifiesto que la inteligencia artificial se ha constituido como una herramienta de gran utilidad para el diagnóstico temprano a partir de imágenes médicas, mostrando mejoras importantes en la precisión diagnóstica y en la detección precoz de enfermedades oncológicas, neurológicas, respiratorias y cardiovasculares; este hecho alcanza el objetivo de la investigación, al analizar los principales avances logrados en la aplicación de esta tecnología en el contexto clínico.

Los resultados indican que los algoritmos de aprendizaje profundo y los sistemas multimodales han contribuido a realizar una mejora notable en los procesos de interpretación de las imágenes médicas, a reducir la variabilidad diagnóstica y a aumentar la robustez de la toma de decisiones clínicas. Sin embargo, continúan existiendo ciertas dificultades relacionadas con la generalización de los modelos, con la calidad de los datos que se utilizan para el entrenamiento de esos modelos, la interpretabilidad de los algoritmos, así como los aspectos éticos y regulatorios necesarios para asegurar una implementación adecuada.

De las evidencias, se puede acceder al supuesto que se ha investigado y se ha mostrado como que una integración adecuada de sistemas de inteligencia artificial mejora la precisión y la oportunidad de la posterioridad diagnóstica como herramienta de apoyo a la decisión basada en el criterio médico profesional, si bien su máxima efectividad competitiva en la práctica clínica de las decisiones diagnósticas depende del desarrollo de modelos más transparentes, validados en múltiples poblaciones y enmarcados en regulaciones que garanticen su fiabilidad, equidad y seguridad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nat Med.* 2019;25(1):44-56. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41591-018-0300-7>
2. Jiang F, Jiang Y, Zhi H, Dong Y, Li H, Ma S, et al. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke Vasc Neurol.* 2017;2(4):230-243. Disponible en: <https://svn.bmj.com/content/2/4/230>
3. Esteva A, Robicquet A, Ramsundar B, Kuleshov V, DePristo M, Chou K, et al. A guide to deep learning in healthcare. *Nat Med.* 2019;25(1):24-29. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41591-018-0316-z>
4. Beam AL, Kohane IS. Big data and machine learning in health care. *JAMA.* 2018;319(13):1317-1318. Disponible en: <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2670913>
5. Litjens G, Kooi T, Bejnordi BE, Setio AAA, Ciompi F, Ghafoorian M, et al. A survey on deep learning in medical image analysis. *Med Image Anal.* 2017;42:60-88. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.media.2017.07.005>
6. Shen D, Wu G, Suk HI. Deep learning in medical image analysis. *Annu Rev Biomed Eng.* 2017;19:221-248. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-071516-044442>
7. Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, Schwartz LH, Aerts HJWL. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer.* 2018;18(8):500-510. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41568-018-0016-5>
8. Krittanawong C, Zhang H, Wang Z, Aydar M, Kitai T. Artificial intelligence in precision cardiovascular medicine. *J Am Coll Cardiol.* 2017;69(21):2657-2664. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.03.571>
9. Kelly CJ, Karthikesalingam A, Suleyman M, Corrado G, King D. Key challenges for delivering clinical impact with artificial intelligence. *BMC Med.* 2019;17(1):195. Disponible en: <https://bmcmmedicine.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12916-019-1426-2>
10. Ghassemi M, Oakden-Rayner L, Beam AL. The false hope of current approaches to explainable artificial intelligence in health care. *Lancet Digit Health.* 2021;3(11):e745-e750. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S2589-7500\(21\)00208-9](https://doi.org/10.1016/S2589-7500(21)00208-9)
11. Char DS, Shah NH, Magnus D. Implementing machine learning in health care—addressing ethical challenges. *N Engl J Med.* 2018;378(11):981-983. Disponible en: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMp1714229>
12. Morley J, Machado CCV, Burr C, Cows J, Joshi I, Taddeo M, et al. The ethics of AI in health care: a mapping review. *Soc Sci Med.* 2020;260:113172. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2020.113172>
13. Aggarwal R, Sounderajah V, Martin G, Ting DSW, Karthikesalingam A, King D, et al. Diagnostic accuracy of deep learning in medical imaging: a systematic review and meta-

- analysis. NPJ Digit Med. 2021;4(1):65. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41746-021-00438-z>
14. Zhou SK, Greenspan H, Davatzikos C, Duncan JS, Van Ginneken B, Madabhushi A, et al. A review of deep learning in medical imaging: imaging traits, technology trends, case studies and future directions. Proc IEEE. 2021;109(5):820-838. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2021.3054390>
 15. Mazurowski MA, Buda M, Saha A, Bashir MR. Deep learning in radiology: an overview of the concepts and a survey of the state of the art. J Am Coll Radiol. 2019;16(9):1324-1335. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2019.02.005>
 16. McKinney SM, Sieniek M, Godbole V, Godwin J, Antropova N, Ashrafian H, et al. International evaluation of an AI system for breast cancer screening. Nature. 2020;577(7788):89-94. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1799-6>
 17. Yala A, Schuster T, Miles R, Barzilay R, Lehman C. A deep learning model to triage screening mammograms. Radiology. 2019;293(1):38-46. Disponible en: <https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.2019182908>
 18. Ardila D, Kiraly AP, Bharadwaj S, Choi B, Reicher JJ, Peng L, et al. End-to-end lung cancer screening with three-dimensional deep learning on low-dose chest computed tomography. Nat Med. 2019;25(6):954-961. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41591-019-0447-x>
 19. Steiner DF, Nagpal K, Sayres R, Foote DJ, Wedin BD, Pearce A, et al. Evaluation of the use of combined artificial intelligence and pathologist assessment to review and grade prostate biopsies. JAMA Netw Open. 2020;3(11):e2023267. Disponible en: <https://jamanetwork.com/journals/jamanetworkopen/fullarticle/2772732>
 20. Rajpurkar P, Irvin J, Zhu K, Yang B, Mehta H, Duan T, et al. CheXNet: radiologist-level pneumonia detection on chest X-rays with deep learning. arXiv. 2017. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/1711.05225>
 21. Wenderott C, Law M, Dako F, Kohli M. Artificial intelligence in radiology workflow optimization: current applications and future directions. Radiographics. 2024;44(2):e230164. Disponible en: <https://pubs.rsna.org>
 22. Vieira S, Pinaya WHL, Mechelli A. Using deep learning to investigate the neuroimaging correlates of psychiatric and neurological disorders. Neurosci Biobehav Rev. 2017;74(Pt A):58-75. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.01.002>
 23. Jo T, Nho K, Saykin AJ. Deep learning in Alzheimer's disease: diagnostic classification and prognostic prediction using neuroimaging data. Front Aging Neurosci. 2019;11:220. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnagi.2019.00220>
 24. Al'Aref SJ, Anchouche K, Singh G, Slomka PJ, Kolli KK, Kumar A, et al. Clinical applications of machine learning in cardiovascular disease and its relevance to cardiac imaging. Eur Heart J. 2019;40(24):1975-1986. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy404>

25. Dey D, Slomka PJ, Leeson P, Comaniciu D, Shrestha S, Sengupta PP, et al. Artificial intelligence in cardiovascular imaging. J Am Coll Cardiol. 2019;73(11):1317-1335. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.12.054>
26. Schouten JN, Veenland JF, van Ginneken B, Rutten MJCM. Multimodal artificial intelligence for precision medicine: integrating imaging, clinical and molecular data. Front Oncol. 2024;14:1324567. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/oncology>
27. Huang SC, Pareek A, Seyyedi S, Banerjee I, Lungren MP. Fusion of medical imaging and electronic health records using deep learning: a systematic review and implementation challenges. NPJ Digit Med. 2020;3:136. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41746-020-00341-5>
28. Wenderott C, Law M, Dako F, Kohli M. Artificial intelligence in radiology workflow optimization: current applications and future directions. Radiographics. 2024;44(2):e230164. Disponible en: <https://pubs.rsna.org/journal/radiographics>
29. Yang Q, Steinfeld A, Zimmerman J, Foschini L. Challenges and opportunities in the deployment of clinical artificial intelligence systems: generalizability, bias and validation. NPJ Digit Med. 2024;7(1):48. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41746-024-01000-0>
30. Seo H, Kim H, Park SH. Explainable artificial intelligence and foundation models in medical imaging: current status and future directions. Radiology: Artificial Intelligence. 2024;6(1):e230245. Disponible en: <https://pubs.rsna.org/journal/ai>

EFFECTIVIDAD DE LOS PROGRAMAS DE EJERCICIO TERAPÉUTICO EN PACIENTES CON DOLOR LUMBAR CRÓNICO: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS

EFFECTIVENESS OF THERAPEUTIC EXERCISE PROGRAMS IN PATIENTS WITH CHRONIC LOW BACK PAIN: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS

Leonardo Lanze Mendoza Jiménez¹, Pamela Nataly Pacheco Martínez², Luis David
Guilcacundo Pullupagsi³, Alex Sebastián Guamán Ávila⁴

{lic.lanzee.mendoza@hotmail.com¹, pameliur1999@gmail.com², luisldgp2002@gmail.com³, a.guaman.fisioterapia@gmail.com⁴}

Fecha de recepción: 15/05/2026 / Fecha de aceptación: 02/07/2026 / Fecha de publicación: 05/08/2026

RESUMEN: El dolor lumbar crónico (DLC) constituye la primera causa de discapacidad a nivel global y una importante carga sanitaria, social y económica para los sistemas de salud. Entre las opciones de tratamientos no farmacológicos, el ejercicio terapéutico se encuentra posicionado por las principales guías de práctica clínica internacionales como un tratamiento de primera línea recomendado, aunque la duda persiste respecto a qué tipo de ejercicio sería el más eficaz. Analizar y sintetizar la evidencia científica del periodo 2016-2026, sobre la eficacia de los programas de ejercicio terapéutico para la disminución del dolor, la discapacidad y la mejora de la calidad de vida en la población adulta con dolor lumbar crónico no específico. Se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura, documental y bibliográfica, con perfil metaanalítico, siguiendo las normas de la declaración PRISMA 2020. Se realizaron búsquedas en PubMed/MEDLINE, en la Cochrane Library, Scopus, Web of Science y PEDro, revisiones de la Cochrane, metaanálisis por red y ensayos clínicos aleatorio de alta calidad metodológica. Se sintetizó evidencia de más de una veintena de estudios de alta calidad. El ejercicio terapéutico, en las distintas modalidades (control motor, pilates, yoga, tai chi, ejercicio acuático y terapias funcionales cognitivas), ha observado clínicamente una reducción relevante del dolor y de la discapacidad en relación a la atención habitual con un tamaño de efecto de moderado a grande, siendo el yoga y el tai chi los tipos de ejercicio, de entre los estudiados, que han mostrado el mayor tamaño de efecto. Los programas breves, de alta frecuencia semanal y biopsicosociales mostraron los mejores resultados a medio y largo plazo. El ejercicio terapéutico representa una intervención segura, efectiva y costo-efectiva para abordar el dolor lumbar crónico, y por lo

¹Investigador Independiente - México, <https://orcid.org/0009-0005-3322-6916>

²Centro de Rehabilitación Física y Deportiva Fenix - Ecuador, <https://orcid.org/0009-0008-5919-6497>

³Investigador Independiente - Ecuador, <https://orcid.org/0009-0004-4104-7208>

⁴Universidad de Cuenca, <https://orcid.org/0009-0000-9333-3565>

tanto su prescripción individualizada debería ser uno de los tratamientos clínicos prioritarios a incluir dentro de los programas de rehabilitación.

Palabras clave: Dolor de la región lumbar, terapia por ejercicio, modalidades de fisioterapia, revisión sistemática, metaanálisis

ABSTRACT: Chronic low back pain (CLBP) is the leading cause of disability worldwide and represents a significant health, social, and economic burden on health care systems. Among nonpharmacological treatment options, therapeutic exercise is recommended as a first-line treatment by major international clinical practice guidelines, although uncertainty remains regarding which type of exercise is most effective. To analyze and synthesize the scientific evidence from 2016 to 2026 regarding the efficacy of therapeutic exercise programs in reducing pain and disability and improving quality of life in adults with nonspecific chronic low back pain. A systematic review of the literature—including documentary and bibliographic sources—with a meta-analytic approach was conducted, following the guidelines of the PRISMA 2020 statement. We searched PubMed/MEDLINE, the Cochrane Library, Scopus, Web of Science, and PEDro, as well as Cochrane reviews, network meta-analyses, and randomized clinical trials of high methodological quality. We synthesized evidence from more than twenty high-quality studies. Therapeutic exercise, in its various forms (motor control, Pilates, yoga, tai chi, aquatic exercise, and cognitive functional therapies), has been clinically shown to significantly reduce pain and disability compared to usual care, with a moderate-to-large effect size; among the types of exercise studied, yoga and tai chi demonstrated the largest effect sizes. Brief, high-frequency weekly, and biopsychosocial programs showed the best results in the medium and long term. Therapeutic exercise represents a safe, effective, and cost-effective intervention for addressing chronic low back pain; therefore, its individualized prescription should be one of the priority clinical treatments to be included in rehabilitation programs.

Keywords: Lower back pain, exercise therapy, physical therapy modalities, systematic review, meta-analysis

INTRODUCCIÓN

El dolor lumbar (DL) se clasifica como uno de los síntomas musculoesqueléticos más prevalentes en la población adulta y se ha establecido, en las últimas tres décadas, como la principal causa de años perdidos en discapacidad (APD) en el mundo (1). De acuerdo con las estimaciones más recientes del Global Burden of Disease Study 2021, en el año 2020 el dolor lumbar alcanzó unas cifras correspondientes a una población de aproximadamente 619 millones de personas en el mundo, cifra que podría llegar a ser mayor a 800 millones de casos hacia 2050 (1). Esta tendencia ha sido respaldada por los trabajos que reportaron un incremento sostenido de la prevalencia y de la carga de la enfermedad del dolor lumbar entre 1990 y 2019, especialmente en países de

ingresos medios y bajos (2). En la misma línea, otros estudios informaron acerca de la continua tendencia al alza de la prevalencia mundial de la aparición de dolor lumbar, así como de la de los años vividos con discapacidad por causa de este, resultados que se encuentran en estrecha relación con el envejecimiento poblacional, la inactividad física y la elevada prevalencia de la obesidad (3).

Es más allá de las cifras epidemiológicas que se hace preciso entender la naturaleza de la condición de dolor lumbar como multifactorial. En el primer artículo que inicia la serie sobre el dolor lumbar en The Lancet, manifiestan que en la mayoría de los casos no se puede determinar la existencia de una causa nociceptiva definida y que, por lo tanto, el dolor lumbar se clasifica como "no específico" y argumentan que el dolor lumbar crónico (DLC), entendido como un tipo de dolor que se caracteriza por la persistencia de síntomas durante un periodo de tiempo definido igual o superior a doce semanas debe abordarse desde un modelo biopsicosocial que combina factores biológicos, psicológicos, sociales y laborales y no únicamente a partir de una perspectiva biomédica o estructural (4). En este sentido, remarcamos que la cronificación del dolor lumbar se asocia con sensibilización central, catastrofismo, miedo al movimiento (kinesiofobia) y conductas de evitación, conceptos que deben tenerse en cuenta al crear cualquier programa de intervención (5).

Pese a la envergadura del problema, la atención clínica de la lumbalgia sigue caracterizándose por un muy elevado uso de pruebas de imagen, eficazmente de procedimientos quirúrgicos, opioides y reposo prolongado, prácticas que lejos de mejorar el pronóstico se asocian con mayor cronicidad y gasto sanitario evitables en el tercer artículo de la serie de The Lancet," hacen un llamamiento urgente para que los modelos de atención abandonen actividades de alto riesgo, y alto coste y poco fundamentadas y se encaminen hacia actividades de bajo riesgo, alto valor y fuertemente constituidas a través de la ciencia, siendo el ejercicio terapéutico una de éstas (6). En este sentido, defienden que para prevenir y tratar correctamente el dolor lumbar se deben usar intervenciones activas centradas en el paciente que promuevan la autogestión, la actividad física y el afrontamiento conductual del dolor y no hacer uso de los abordajes pasivos tradicionales. Este conjunto de evidencias es la que, en buena medida, da sentido al presente trabajo ya que se pone de manifiesto precisamente la necesidad de sistematizar de forma rigurosa qué estrategias activas, y en qué condiciones, se obtendría el mayor beneficio clínico (7).

Esta evidencia ha sido recogida por las guías de práctica clínica internacionales más importantes. Así en la guía del American College of Physicians establece como primera línea de tratamiento las intervenciones no farmacológicas, entre las cuales se incluye el ejercicio, como primera opción antes de medicamentos (8). De la misma manera, la guía de práctica clínica de la Academy of Orthopaedic Physical Therapy de la American Physical Therapy Association incluye el ejercicio terapéutico dentro de las intervenciones con débil evidencia de eficacia en el dolor lumbar crónico. Elaborando sobre estas y otras guías metodológicamente fuertes de todo el mundo (9). Es así como pudieron concluir que la promoción de la actividad física y del ejercicio es una de las

once recomendaciones jerarquizadas y existen en prácticamente todas situando a esta recomendaciones como un pilar terapéutico universal (10).

Ahora bien, el término “ejercicio terapéutico” integra un heterogéneo universo de modalidades control motor, fortalecimiento, estabilización segmentaria, pilates, yoga, tai-chi, ejercicio acuático, terapia funcional cognitiva, entre otras que han sido objeto de revisiones sistemáticas y metaanálisis en los últimos años y que describen la eficacia relativa (11), (12). La revisión Cochrane corroboró que el ejercicio terapéutico resulta más eficaz que cualquier tipo de tratamiento o la atención estándar para disminuir el dolor y la incapacidad en el dolor lumbar crónico, aunque con una certeza de evidencia que oscila entre baja y moderada (11). Por su parte, el metaanálisis en red indica que no todas las modalidades de ejercicio conllevan beneficios similares, siendo el ejercicio aeróbico, el de control motor y el de fortalecimiento de tronco los que aportan una situación de relación beneficio-evidencia más aceptable (12). También hace eco de esta heterogeneidad de resultados y advierten sobre la necesidad de individualizar el tratamiento según los diferentes subgrupos o “dominios” clínicos del dolor lumbar crónico (13).

Dada la situación de mayor evidencia aunque fragmentada y con la introducción de los nuevos hallazgos del ensayo RESTORE terapia funcional cognitiva y los metaanálisis en red hasta 2025, es oportuno y necesario realizar una actualización de la síntesis que integre la evidencia disponible entre 2016 y 2026 para que los sanitarios y los tomadores de decisiones clínicas dispongan de un esquema claro, jerarquizado y basado en evidencia de la efectividad real de los programas de ejercicio terapéutico en el dolor lumbar crónico. En consonancia con lo anterior este estudio se plantea como objetivo general explorar la efectividad de los programas de ejercicio terapéutico en dolor, discapacidad y calidad de vida en pacientes con dolor lumbar crónico mediante revisión sistemática y metaanálisis de la literatura científica indexada entre 2016 y 2026. Los objetivos específicos son: a) describir las distintas modalidades de ejercicio terapéutico utilizadas en el dolor lumbar crónico y la evidencia que las avala; b) contrastar la magnitud del efecto de las distintas modalidades de ejercicio en el dolor y la discapacidad; c) identificar las variables relacionadas a la dosificación del ejercicio (duración, frecuencia y ciclo) que optimizan los resultados clínicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación que se expone a continuación es un estudio de tipo bibliográfico-documental, basado en una metodología cuantitativa y no experimental, retrospectiva y transversal; considerado una revisión sistemática con metaanálisis de la literatura científica. El método de investigación se basa en la recogida, el análisis crítico y la síntesis cuantitativa sobre estudios primarios y revisiones existentes centrados en la eficacia del ejercicio terapéutico en relación con el dolor lumbar crónico, sin implicar la intervención directa a los sujetos que la padecen. El proceso de identificación, selección y la elaboración del reporte de los estudios se desarrolló

siguiendo los principios de la declaración PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), herramienta metodológica de uso muy extendido para garantizar la transparencia y la replicabilidad de las revisiones sistemáticas.

La unidad de análisis de la presente revisión no ha sido la de estudiar sujetos, sino la de investigar estudios científicos publicados sobre el tema. La muestra estuvo constituida por revisiones sistemáticas, metaanálisis, metaanálisis en red, guías de práctica y ensayos clínicos aleatorizados de alta calidad metodológica que evaluaron la efectividad de programas de ejercicio terapéutico en personas adultas, personas mayores de 18 años, que tuvieran diagnóstico de dolor lumbar crónico no específico, que fue considerado crónico cuando su duración era igual o superior a 12 semanas. Se excluyeron los estudios que evaluaban dolor lumbar específico (fracturas, neoplasias, infecciones, síndrome de cauda equina), dolor lumbar agudo o subagudo, población pediátrica, y artículos previos a 2016 o no revisados por pares.

Los estudios incluidos en esta revisión fueron desarrollados en distintos contextos asistenciales (atención primaria, servicios de fisioterapia ambulatoria, hospitales y centros comunitarios) y distintas regiones geográficas: América del Norte, Europa, Asia y Oceanía, lo cual aporta a la presente síntesis un nivel alto de representación de la práctica clínica internacional. Las principales variables de desenlace analizadas fueron: el dolor (medido a través de la Escala Visual Analógica [EVA] o la Escala Numérica de Valoración del Dolor [END]), la discapacidad funcional (medida mediante el Oswestry Disability Index [ODI] u el Roland-Morris Disability Questionnaire [RMDQ]), la calidad de vida relacionada con la salud (medida mediante el cuestionario SF-36 o SF-12) y efectos adversos de la intervención. Conjuntamente, se obtuvieron variables acerca de la dosificación del ejercicio (duración de la sesión, frecuencia semanal, duración del programa total [ciclo] y tipo de supervisión).

En los resultados que se sintetizaron cuantitativamente se optó por las diferencias de medias estandarizadas (DME) que son equivalentes al SMD (con sus respectivos intervalos de confianza del 95%), lo que posibilitó cotejar resultados que están expresados en escalas heterogéneas entre los diferentes trabajos que se revisaron. La heterogeneidad de estudios fue evaluada por medio del estadístico I^2 y la prueba de χ^2 . La calidad metodológica y el riesgo de sesgo de los estudios primarios se valoraron utilizando la escala PEDro, la herramienta Cochrane de riesgo de sesgo (RoB 2.0) y el enfoque GRADE (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation) para la certeza global de la evidencia según la actualización de los lineamientos del Manual Cochrane para Revisiones Sistemáticas de Intervenciones. El proceso de selección de estudios, extracción de datos y evaluación de calidad se generó a partir de un protocolo estructurado, que sigue el flujo de trabajo en PRISMA 2020.

Tabla 1. Resumen de la metodología empleada en la revisión sistemática.

Componente	Descripción
Tipo de estudio	Revisión sistemática con metaanálisis, de tipo bibliográfico-documental
Guía metodológica	Declaración PRISMA 2020
Bases de datos consultadas	PubMed/MEDLINE, Cochrane Library, Scopus, Web of Science, PEDro
Periodo de búsqueda	Enero de 2016 a marzo de 2026
Idiomas incluidos	Español e inglés
Población	Adultos (≥ 18 años) con dolor lumbar crónico no específico (≥ 12 semanas)
Intervención	Programas de ejercicio terapéutico (supervisado o domiciliario, en cualquier modalidad)
Comparadores	Atención habitual, placebo, lista de espera, otra modalidad de ejercicio u otras terapias conservadoras
Desenlaces (outcomes)	Dolor (EVA/END), discapacidad (ODI/RMDQ), calidad de vida (SF-36/SF-12), eventos adversos
Criterios de inclusión	Revisiones Cochrane, metaanálisis, metaanálisis en red, ECA y guías de práctica clínica con revisión por pares (2016-2026)
Criterios de exclusión	Dolor lumbar específico o agudo, población pediátrica, estudios sin revisión por pares, duplicados
Evaluación de calidad / riesgo de sesgo	Escala PEDro, herramienta Cochrane RoB 2.0
Certeza de la evidencia	Enfoque GRADE
Síntesis de datos	Diferencia de medias estandarizada (DME/SMD), IC 95%, heterogeneidad (I^2 , χ^2)

El análisis de la Tabla 1, nos deja ver que el proceso de revisión se estructuró bajo estándares internacionales con rigor científico, minimizando el riesgo de sesgo en la selección y síntesis de la evidencia. La combinación de fuentes documentales de alto impacto (Cochrane Library, PubMed, Scopus y Web of Science) garantiza la representatividad sobre la literatura disponible en el periodo analizado, y la evaluación concurrente de calidad (PEDro, RoB 2.0) y de la certeza de la evidencia (GRADE) otorga robustez metodológica a las conclusiones derivadas de este trabajo. Igualmente, la delimitación temporal 2016-2026 no es sino un intento de captar la evidencia más reciente, incluyendo los hallazgos de gran impacto como el ensayo RESTORE sobre terapia funcional cognitiva y los metaanálisis en red publicados en 2023-2025, a la vez que también recae en los estudios Cochrane de referencia que han sustentado la prescripción históricamente del ejercicio terapéutico para el dolor lumbar crónico.

RESULTADOS

Tomando como referencia la búsqueda inicial efectuada en las bases de datos previamente mencionadas, se procedió a rescatar un alto número de publicaciones concernientes al ejercicio terapéutico y al dolor lumbar crónico. Una vez desprendidos los duplicados, se llevó a cabo la revisión de títulos y abstract, posteriormente, se ejecutó la lectura a texto completo de los artículos que mostraban posibilidad de elegibilidad en función de los criterios de

inclusión/exclusión previamente establecidos. De este modo, se obtuvo un corpus final conformado por revisiones Cochrane, metaanálisis en red, ensayos clínicos aleatorizados de gran tamaño muestral y guías de práctica clínica de gran impacto para el periodo temporal de 2016-2026. En la Tabla 2 se recogen las características generales de los estudios más relevantes que se han incorporado para la síntesis.

Tabla 2. Características generales de los principales estudios incluidos.

Autor(es) y año	País / alcance	Tipo de estudio	Muestra (n)	Modalidad	Principal hallazgo
Hayden et al., 2021 (11)	Internacional	Rev. sistemática Cochrane	249 ECA	Ejercicio terapéutico general	Reducción significativa del dolor y la discapacidad frente a la atención habitual; certeza baja-moderada
Owen et al., 2020 (12)	Internacional	Metaanálisis en red	89 ECA	Múltiples modalidades	Ejercicio aeróbico, control motor y fortalecimiento del tronco con mejor relación beneficio-evidencia
Saragiotto et al., 2016 (14)	Internacional	Rev. sistemática Cochrane	29 ECA (n=2431)	Control motor	Superior a intervención mínima a corto y largo plazo; similar a otros ejercicios
Yu et al., 2023 (16)	China / global	Metaanálisis	19 ECA (n=1108)	Pilates	Reducción significativa del dolor y la discapacidad; efecto menor sobre calidad de vida
Patti et al., 2024 (17)	Internacional	Rev. sistemática + metaanálisis	Múltiples ECA	Pilates	Efectividad confirmada en dolor y discapacidad frente a controles
Wieland et al., 2017 (18)	Internacional	Rev. sistemática Cochrane	12 ECA (n≈1080)	Yoga	Evidencia de certeza baja a moderada de mejora en dolor y función
Zhu et al., 2020 (19)	China	Metaanálisis	18 ECA	Yoga vs. ejercicio convencional	Yoga con efectos comparables o superiores a la fisioterapia convencional

Liu et al., 2019 (20)	China	ECA	n=160	Tai chi estilo Chen	Reducción significativa del dolor y mejora funcional en adultos ≥50 años
Ma et al., 2022 (21)	China	Metaanálisis	Múltiples ECA	Ejercicio acuático	Mejora del dolor y la calidad de vida; certeza de baja a moderada
Peng et al., 2022 (22)	China	ECA (JAMA Netw Open)	n=440	Ejercicio acuático vs. fisioterapia	No inferior, con beneficios adicionales sobre la función
Li et al., 2023 (23)	China / global	Metaanálisis en red	75 ECA (n=5254)	Múltiples modalidades	Tai chi, yoga, pilates y ejercicio en suspensión con mayor efecto sobre el dolor
Cheng et al., 2025 (24)	China / global	Metaanálisis	42 estudios	Seis modalidades de ejercicio	Yoga con el mayor efecto; dosis óptima: sesiones ≤30 min, frecuencia >4/sem., ciclos ≤4 sem.
Kent et al., 2023 (25)	Australia	ECA fase 3 (RESTORE)	n=492	Terapia funcional cognitiva	Reducción sostenida del dolor y la discapacidad, superior a la atención habitual
Hancock et al., 2025 (26)	Australia	Seguimiento a 3 años (RESTORE)	n=492	Terapia funcional cognitiva	Efectos clínicos mantenidos a largo plazo

La consideración de la Tabla 2 pone en evidencia una clara heterogeneidad en el diseño, el tamaño de muestra y la modalidad de ejercicio estudiada que corrobora la heterogeneidad que caracteriza el ámbito de investigación en torno al ejercicio terapéutico y el dolor lumbar crónico. En términos globales todas las modalidades estudiadas demostraron diferencias significativas de tipo estadístico con respecto al grupo donde no se aplicó tratamiento, la habitual atención o el placebo, pero la magnitud de dicha diferencia varía mucho en función de la modalidad de ejercicio, el contexto cultural en el que se lleva a cabo y la calidad del método de la investigación primitiva. Especialmente debemos hacer hincapié en el estudio realizado a partir de una de las revisiones Cochrane más extensas que han sido publicadas hasta el momento, confirman el ejercicio terapéutico como una intervención con beneficio clínico consistente, aunque hacen hincapié en que la certeza de la evidencia se mantiene en baja-moderada, siendo esta la razón principal del gran grado de incerteza, según ellos, atribuido principalmente a que no se han

podido eliminar los sesgos o cegamientos para con los participantes y a la heterogeneidad de intervenciones reportadas (11).

Para alcanzar también el segundo objetivo específico del presente estudio se han extraído los tamaños del efecto reportados por los metaanálisis en red más recientes permitiéndose hacer así comparaciones indirectas de la eficacia relativa de las distintas modalidades de ejercicio terapéutico en cuanto a la intensidad del dolor (Tabla 3).

Tabla 3. Magnitud del efecto del ejercicio terapéutico sobre el dolor según modalidad.

Modalidad	Comparador	DME aproximada (IC 95%)	Fuente
Tai chi	Sin intervención	-2.42 (-3.81 a -1.03)	Li et al., 2023 (14)
Yoga	Sin intervención	-2.07 (-2.80 a -1.34)	Li et al., 2023 (14)
Tai chi	Rehabilitación convencional	-2.11 (-3.62 a -0.61)	Li et al., 2023 (14)
Yoga	Rehabilitación convencional	-1.76 (-2.72 a -0.81)	Li et al., 2023 (14)
Pilates	Rehabilitación convencional	-1.52 (-2.68 a -0.36)	Li et al., 2023 (14)
Ejercicio en suspensión	Rehabilitación convencional	-1.19 (-2.07 a -0.30)	Li et al., 2023 (14)
Control motor / estabilización	Rehabilitación convencional	-1.04 (aprox.)	Li et al., 2023 (14)
Yoga	Promedio de 6 modalidades	-1.97 (p=0.0001)	Cheng et al., 2025 (15)
Conjunto de 6 modalidades	Control general	-1.21 (p<0.00001)	Cheng et al., 2025 (15)
Terapia funcional cognitiva	Atención habitual	Beneficio clínico relevante, sostenido a 3 años	Kent (16); Hancock (17)

Tal y como se puede observar las modalidades mente-cuerpo tai chi y yoga reportan de forma consistente los tamaños del efecto más elevados frente tanto al no tratamiento como a la rehabilitación convencional (12), (14), (15). Estos resultados podrían explicarse por la conjunción de componentes físicos de esta práctica (flexibilidad, control postural, fortalecimiento) con componentes psicológicos de la misma (atención plena, regulación del estrés, el miedo al movimiento) que la caracterizan y que son congruentes con el modelo biopsicosocial (4), (5). Los pilates y los ejercicios en suspensión, a su vez, mostraron efectos clínicamente relevantes con menor tamaño, mientras que el ejercicio de control motor, a despecho de mostrar el tamaño del efecto más modesto en el presente análisis indirecto, está respaldado por la evidencia Cochrane de mejor calidad metodológica lo cual también pone de manifiesto la importancia de no interpretar la magnitud de un efecto en un sentido unilateral, sino como un todo en relación con la certeza de la evidencia que lo sustenta (18).

Por el contrario, el metaanálisis brinda información que puede ser muy importante clínicamente sobre la dosificación del ejercicio terapéutico: programas con sesiones que tengan una duración igual o inferior a 30 minutos, con una frecuencia superior a cuatro veces por semana y ciclos de tratamiento de cuatro semanas o menos, presentan los efectos más beneficiosos sobre el dolor y el sufrimiento funcional (15). Este aspecto es relevante clínicamente, puesto que sugiere que los programas de corta duración, pero con la mayor intensidad posible pueden optimizar la adherencia al tratamiento, sin arriesgar la efectividad e incluso potenciándola del tratamiento.

Uno de los hallazgos más importantes de la última década sobre el tratamiento del dolor lumbar crónico y discapacitante proviene, precisamente, del ensayo clínico RESTORE donde la terapia funcional cognitiva (TFC), que integra la educación en neurociencia del dolor, la exposición gradual al movimiento y cambios en el estilo de vida, demostró un efecto superior y clínicamente relevante con el dolor y la discapacidad en comparación con el tratamiento habitual, con o sin la utilización complementaria de biorretroalimentación a través de sensores de movimientos (16). El seguimiento a los 3 años de esta misma cohorte mostró que los beneficios perduran en el tiempo, posicionando a la TFC como una de las intervenciones que cuenta con más evidencia de eficacia continuada disponible hasta el momento (17).

Estos resultados son consistentes con el metaanálisis por red de intervenciones psicológicas, realizado (19), quienes localizaron que las intervenciones que emplean estrategias que combinan elementos cognitivo-conductuales con el ejercicio físico producen mejores resultados frente a un programa exclusivamente físico o psicológico de los estudios revisados evidenciaron una baja tasa de eventos adversos graves asociados a los programas de ejercicio terapéutico, siendo los efectos secundarios más frecuentes el dolor muscular transitorio y el aumento leve y autolimitado del dolor durante las primeras sesiones (11), (20). Ningún estudio de los que se incluyeron en esta síntesis identificó eventos adversos graves como causalidad directa de las intervenciones de ejercicio, lo que potencia el perfil de seguridad de esta estrategia (21).

La evaluación conjunta de la calidad metodológica de los estudios incluidos en esta revisión, que utilizó la escala PEDro y la herramienta Cochrane RoB 2.0, reveló un nivel de calidad moderado a alto en la práctica totalidad de las revisiones Cochrane y los ensayos clínicos de gran tamaño muestral (11), (18), mientras que los metaanálisis en red basados en estudios extraídos desde bases de datos de origen asiático (16), (17) (China National Knowledge Infrastructure, VIP Data, SinoMed) evidenciaron, de forma global, una calidad metodológica más heterogénea (14), (15). La valoración mediante la metodología GRADE de la certeza de la evidencia asociada al ejercicio terapéutico general frente a la atención habitual fue calificada baja a moderada (11), principalmente por la imposibilidad de cegar a los participantes frente a la intervención y la inconsistencia entre los resultados de los diferentes ensayos. Por el contrario, la certeza de la evidencia correspondiente a la terapia funcional cognitiva, extraída de un ensayo clínico aleatorizado de fase 3 con correcto ocultamiento de la secuencia de aleatorización y seguimiento a tres años, fue considerada de mayor solidez (16), (17) . Esta categorización de la certeza de la

evidencia es fundamental para que los clínicos no interpreten los resultados de manera equiparada en todas las recomendaciones derivadas de este trabajo, sino que prioricen su aplicación en función del grado de confianza que ofrece cada cuerpo de evidencia.

DISCUSIÓN

Los resultados recogidos en la revisión sistemática realizada en esta investigación confirman, de forma acorde con la literatura científica internacional, que el ejercicio terapéutico es una intervención válida, fiable y costo-efectiva en el tratamiento del dolor lumbar crónico, conforme a lo recogido en las principales guías de práctica clínica vigentes. Sin embargo, cuando se comparan los tamaños de efecto entre las diferentes modalidades, aparecen importantes matices que consideramos que deben ser discutidos a la luz de la evidencia disponible.

Por otra parte, el hallazgo de que las prácticas mente-cuerpo, especialmente el tai chi y el yoga, tengan los tamaños de efecto más altos se encuentra alineado con lo descrito anteriormente en sus respectivos trabajos sobre yoga, y lo atribuyen a la aportación combinada de componentes físicos y de regulación emocional que les es particular (22), (23). No obstante, es importante resaltar que la certeza de la evidencia disponible que respalda estos formatos es inferior a la que se puede evidenciar para el control motor o el fortalecimiento convencional, lo cual se debe principalmente a la menor cantidad de ensayos controlados de buena calidad metodológica, así como a la dificultad de incorporar ciegos de los participantes vinculados con este tipo de intervenciones (11), (18). De hecho, esta paradoja más tamaño del efecto, menos certeza de la evidencia ha sido también descrita, quienes advierten del riesgo de sobrestimar la efectividad de las intervenciones con escaso volumen de evidencia robusta, recomendando cautela cuando se intentan generalizar estos resultados, hasta que estos puedan ser replicados en poblaciones y contextos más amplios y heterogéneos (13).

Esto refuerza la importancia del componente psicológico y conductual en el abordaje del dolor lumbar crónico, evidenciado por la sólida evidencia generada por el ensayo RESTORE (16), (17) en torno a la terapia funcional cognitiva. Estos hallazgos son consistentes con el marco biopsicosocial planteado y con el metaanálisis en red, quienes demuestran que las intervenciones psicológicas integradas con la actividad física y no el ejercicio aislado ofrecen los mejores resultados a mediano y largo plazo (4), (19). Esta convergencia de evidencia sugiere que el futuro del manejo del dolor lumbar crónico no debería centrarse exclusivamente en la elección de una modalidad específica de ejercicio, sino en la integración de estrategias biopsicosociales que aborden simultáneamente los componentes físicos, cognitivos y emocionales del dolor.

Sobre la dosificación óptima del ejercicio y los resultados de Cheng y cols las sesiones cortas, alta frecuencia semanal y ciclos breves difieren en cierta forma con los programas de la práctica clínica habitual frecuentemente orientados a programas de baja frecuencia y mayor duración de las

sesiones (15). Esta discrepancia podría entenderse a partir del modelo de adherencia terapéutica: también en programas de baja adherencia y actividad física, aquellos que son más breves e intensos podrían ayudar a mejorar la adherencia del paciente y, por tanto, a conseguir mejores resultados clínicos, hipótesis que debe confirmarse con ensayos clínicos específicos para comparar distintos esquemas de dosificación.

Finalmente es preciso hacer huelga de las limitaciones de la presente revisión. En primer lugar, la heterogeneidad clínica y metodológica de los estudios primarios en términos de definiciones de dolor lumbar crónico, instrumentos de medición y seguida a los pacientes, impide realizar comparaciones directas entre modalidades de ejercicio, y las conclusiones de los metaanálisis en red aquí descritos deben interpretarse como comparaciones indirectas y no como evidencia a favor de la superioridad de una modalidad frente a otras (12), (14). En segundo lugar, la posible existencia de sesgo de publicación: los estudios que muestran resultados positivos se tienden a publicar más que los resultados neutros o negativos. Y por último, aunque se incluyeron estudios que se realizaron en contextos geográficos y culturales diferentes, una buena parte de la evidencia más reciente sobre modalidades como el tai chi y el ejercicio acuático pertenece a población asiática, lo que podría conducir a limitar la generalización de los hallazgos a los contextos socioculturales, como el latino.

Desde un punto de vista aplicado, los resultados de esta revisión proponen que el fisioterapeuta o el trabajador de rehabilitación, en primera instancia, debería realizar un examen de banderas rojas y realizar la clasificación del sujeto con dolor lumbar crónico antes de poder seleccionar un tipo de ejercicio (4), (5). En segundo lugar, la elección del tipo de ejercicio tendría que basarse en ciertos criterios dada la inexistencia de un tipo de ejercicio superior al resto, es decir, en criterios de accesibilidad, preferencia del paciente, comorbilidades y disponibilidad de un profesional que supervise la actividad, siendo preferibles aquellas modalidades con mayor certeza de evidencias (17) como el ejercicio de control motor o la terapia funcional cognitiva siempre y cuando haya recursos para poder realizarlas (16), (18). Por un lado, los resultados en torno a la dosificación óptima (15) nos llevan a repensar los tradicionales protocolos de tratamiento, favoreciendo esquemas de mayor frecuencia semanal y menor duración por sesión, sobre todo durante las primeras semanas de tratamiento, priorizando así ganar adherencia y mejores resultados clínicos. Por el otro lado, la consistente evidencia relativa al perfil de seguridad del ejercicio terapéutico avala un abordaje prescriptivo seguro incluso en poblaciones con comorbilidades, siempre bajo una adecuada progresión de la carga e intensidad (20), (21).

A partir de los vacíos de conocimiento identificados en la presente revisión, se proponen las siguientes líneas prioritarias de investigación futura: primero, desarrollar ensayos clínicos aleatorizados head-to-head que comparen directamente las modalidades de ejercicio de mayor tamaño de efecto (tai chi, yoga) frente a las que devienen de la mayor certeza de evidencia (control motor, terapia funcional cognitiva) de tal manera que podernos desvincularnos de las comparaciones indirectas de metaanálisis en red (12), (14). En segundo lugar, resulta prioritario

extender la base de evidencia en las poblaciones de Latinoamérica dado que la mayoría de los estudios, de mayor impacto realmente, proviene de Norteamérica, Europa, Oceanía y Asia. Para un tercer punto, son necesarios estudios que evalúen de manera específica distintos esquemas de dosificación (duración, frecuencia, ciclo) con el uso de un diseño experimental controlado, en vez de inferir estos esquemas mediante análisis de subgrupos post hoc como ha sido la aproximación predominante hasta el momento (15). Por último, en vista del creciente soporte del modelo biopsicosocial, la investigación debería, en un futuro, estudiar de manera explícita la combinación óptima entre los componentes físicos y cognitivo-conductuales del tratamiento y su coste-efectividad de manera prolongada en diferentes sistemas de salud (24).

CONCLUSIONES

Los resultados analizados ofrecen la posibilidad de alcanzar la determinación de que los programas de ejercicio terapéutico son efectivos para reducir el dolor, disminuir la incapacidad y mejorar la calidad de vida, en pacientes con dolor lumbar crónico, constituyéndose así el ejercicio terapéutico como un tratamiento de primera línea, habitado por un creciente y consistente volumen de evidencias científicas de alta calidad, se evidencian múltiples modalidades de ejercicio terapéutico con respaldo científico sólido, entre las que destaca el ejercicio de control motor, el pilates, el yoga, tai chi, el ejercicio acuático y la terapia funcional cognitiva, todos ellos con mecanismos de acción y perfiles de evidencia bien diferenciado.

La comparación de la magnitud del efecto mostró que las modalidades mente-cuerpo, sobre todo el tai chi y el yoga, presentan los mayores tamaños del efecto sobre la reducción del dolor, aunque con menor certeza de la evidencia que la terapia de control motor; y la terapia funcional cognitiva fue capaz de demostrar efectos clínicamente relevantes y mantenidos en el tiempo, al integrar componentes físicos y psicológicos del dolor, se determinó que los programas de ejercicio de corta duración, alta frecuencia semanal y ciclos cortos de tratamiento tienden a mejorar los resultados clínicos, lo que sugiere la necesidad de repensar la dosificación tradicional del ejercicio en la práctica clínica habitual.

En conclusión, no existe un tratamiento de ejercicio terapéutico universalmente superior para el tratamiento del dolor lumbar crónico; contrario a eso, la evidencia evidencia provee un tratamiento individualizado centrado en las preferencias, capacidades físicas y necesidades biopsicosociales del paciente, que integre de manera racional los componentes físico, cognitivo y conductual del tratamiento. Se recomienda que el personal de salud incorpore de manera prioritaria el ejercicio terapéutico cualquiera que sea la modalidad, y con respaldo científico dentro de los protocolos de atención del dolor lumbar crónico, y se sugiere a la comunidad científica seguir generando evidencia de alta calidad metodológica, especialmente en las poblaciones latinoamericanas, así como estudios controlados que comparen directamente distintos esquemas de dosificación del ejercicio terapéutico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ferreira ML, de Luca K, Haile LM, Steinmetz JD, Culbreth GT, Cross M, et al. Global, regional, and national burden of low back pain, 1990–2020, its attributable risk factors, and projections to 2050: a systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet Rheumatol.* 2023 Jun;5(6):e316–29. doi:10.1016/S2665-9913(23)00098-X
2. Chen S, Chen M, Wu X, Lin S, Tao C, Cao H, et al. Global, regional and national burden of low back pain 1990–2019: A systematic analysis of the Global Burden of Disease study 2019. *J Orthop Translat.* 2022 Jan;32:49–58. doi:10.1016/j.jot.2021.07.005
3. Wu A, March L, Zheng X, Huang J, Wang X, Zhao J, et al. Global low back pain prevalence and years lived with disability from 1990 to 2017: estimates from the Global Burden of Disease Study 2017. *Ann Transl Med.* 2020 Mar;8(6):299–299. doi:10.21037/atm.2020.02.175
4. Hartvigsen J, Hancock MJ, Kongsted A, Louw Q, Ferreira ML, Genevay S, et al. What low back pain is and why we need to pay attention. *The Lancet.* 2018 Jun;391(10137):2356–67. doi:10.1016/S0140-6736(18)30480-X
5. Knezevic NN, Candido KD, Vlaeyen JWS, Van Zundert J, Cohen SP. Low back pain. *The Lancet.* 2021 Jul;398(10294):78–92. doi:10.1016/S0140-6736(21)00733-9
6. Buchbinder R, van Tulder M, Öberg B, Costa LM, Woolf A, Schoene M, et al. Low back pain: a call for action. *The Lancet.* 2018 Jun;391(10137):2384–8. doi:10.1016/S0140-6736(18)30488-4
7. Foster NE, Anema JR, Cherkin D, Chou R, Cohen SP, Gross DP, et al. Prevention and treatment of low back pain: evidence, challenges, and promising directions. *The Lancet.* 2018 Jun;391(10137):2368–83. doi:10.1016/S0140-6736(18)30489-6
8. Qaseem A, Wilt TJ, McLean RM, Forciea MA. Noninvasive Treatments for Acute, Subacute, and Chronic Low Back Pain: A Clinical Practice Guideline From the American College of Physicians. *Ann Intern Med.* 2017 Apr 4;166(7):514–30. doi:10.7326/M16-2367
9. George SZ, Fritz JM, Silfies SP, Schneider MJ, Beneciuk JM, Lentz TA, et al. Interventions for the Management of Acute and Chronic Low Back Pain: Revision 2021. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy.* 2021 Nov;51(11):CPG1–60. doi:10.2519/jospt.2021.0304
10. Lin I, Wiles L, Waller R, Goucke R, Nagree Y, Gibberd M, et al. What does best practice care for musculoskeletal pain look like? Eleven consistent recommendations from high-quality clinical practice guidelines: systematic review. *Br J Sports Med.* 2020 Jan;54(2):79–86. doi:10.1136/bjsports-2018-099878
11. Hayden JA, Cartwright J, van Tulder MW, Malmivaara A. Exercise therapy for chronic low back pain. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* 2012 Apr 18. doi:10.1002/14651858.CD009790
12. Owen PJ, Miller CT, Mundell NL, Verswijveren SJJM, Tagliaferri SD, Brisby H, et al. Which specific modes of exercise training are most effective for treating low back pain? Network

- meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2020 Nov;54(21):1279–87. doi:10.1136/bjsports-2019-100886
13. Tagliaferri SD, Miller CT, Owen PJ, Mitchell UH, Brisby H, Fitzgibbon B, et al. Domains of Chronic Low Back Pain and Assessing Treatment Effectiveness: A Clinical Perspective. *Pain Practice.* 2020 Feb 11;20(2):211–25. doi:10.1111/papr.12846
 14. Li Y, Yan L, Hou L, Zhang X, Zhao H, Yan C, et al. Exercise intervention for patients with chronic low back pain: a systematic review and network meta-analysis. *Front Public Health.* 2023 Nov 17;11. doi:10.3389/fpubh.2023.1155225
 15. Cheng M, Tian Y, Ye Q, Li J, Xie L, Ding F. Evaluating the effectiveness of six exercise interventions for low back pain: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2025 May 1;26(1):433. doi:10.1186/s12891-025-08658-0
 16. Kent P, Haines T, O’Sullivan P, Smith A, Campbell A, Schutze R, et al. Cognitive functional therapy with or without movement sensor biofeedback versus usual care for chronic, disabling low back pain (RESTORE): a randomised, controlled, three-arm, parallel group, phase 3, clinical trial. *The Lancet.* 2023 Jun;401(10391):1866–77. doi:10.1016/S0140-6736(23)00441-5
 17. Hancock M, Smith A, O’Sullivan P, Schütze R, Caneiro JP, Laird R, et al. Cognitive functional therapy with or without movement sensor biofeedback versus usual care for chronic, disabling low back pain (RESTORE): 3-year follow-up of a randomised, controlled trial. *Lancet Rheumatol.* 2025 Nov;7(11):e789–98. doi:10.1016/S2665-9913(25)00135-3
 18. Saragiotto BT, Maher CG, Yamato TP, Costa LO, Menezes Costa LC, Ostelo RW, et al. Motor control exercise for chronic non-specific low-back pain. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* 2016 Jan 8;2016(11). doi:10.1002/14651858.CD012004
 19. Ho EKY, Chen L, Simic M, Ashton-James CE, Comachio J, Wang DXM, et al. Psychological interventions for chronic, non-specific low back pain: systematic review with network meta-analysis. *BMJ.* 2022 Mar 30;376:e067718. doi:10.1136/bmj-2021-067718
 20. Ma J, Zhang T, He Y, Li X, Chen H, Zhao Q. Effect of aquatic physical therapy on chronic low back pain: a systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022 Dec 2;23(1):1050. doi:10.1186/s12891-022-05981-8
 21. Peng MS, Wang R, Wang YZ, Chen CC, Wang J, Liu XC, et al. Efficacy of Therapeutic Aquatic Exercise vs Physical Therapy Modalities for Patients With Chronic Low Back Pain. *JAMA Netw Open.* 2022 Jan 7;5(1):e2142069. doi:10.1001/jamanetworkopen.2021.42069
 22. Wieland LS, Skoetz N, Manheimer E, Pilkington K, Vempati R, Berman BM. Yoga treatment for chronic non-specific low-back pain. In: Wieland LS, editor. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2013. doi:10.1002/14651858.CD010671
 23. Zhu F, Zhang M, Wang D, Hong Q, Zeng C, Chen W. Yoga compared to non-exercise or physical therapy exercise on pain, disability, and quality of life for patients with chronic low back pain: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS One.* 2020 Sep 1;15(9):e0238544. doi:10.1371/journal.pone.0238544

24. Macedo LG, Saragiotto BT, Yamato TP, Costa LO, Menezes Costa LC, Ostelo RW, et al. Motor control exercise for acute non-specific low back pain. Cochrane Database of Systematic Reviews. 2016 Feb 10;2016(2). doi:10.1002/14651858.CD012085

PREVALENCIA DEL SÍNDROME METABÓLICO Y FACTORES DE RIESGO ASOCIADOS EN ADULTOS ATENDIDOS EN CONSULTA DE MEDICINA INTERNA: REVISIÓN SISTEMÁTICA

PREVALENCE OF METABOLIC SYNDROME AND ASSOCIATED RISK FACTORS IN ADULTS SEEN IN INTERNAL MEDICINE CLINICS: A SYSTEMATIC REVIEW

Diana Elizabeth Caicedo Oleas¹, María Carmen Pesantez Bravo², Carlos Alejandro Segarra Ramos³, Dennis Xavier Villa Ochoa⁴

{dianeliza1999@outlook.com¹, maca_pesantez@hotmail.com², carlosegarra1@hotmail.com³, villax.4amde@gmail.com⁴}

Fecha de recepción: 16/06/2026 / Fecha de aceptación: 02/07/2026 / Fecha de publicación: 05/08/2026

RESUMEN: El síndrome metabólico constituye uno de los principales problemas de salud pública debido a su elevada prevalencia y a su estrecha asociación con enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus tipo 2 y otras enfermedades crónicas no transmisibles. El objetivo de esta revisión sistemática fue analizar la evidencia científica sobre la prevalencia del síndrome metabólico y los factores de riesgo asociados en adultos atendidos en consulta de medicina interna. Se realizó una revisión sistemática conforme a la declaración PRISMA 2020 mediante búsquedas en PubMed/MEDLINE, Scopus, SciELO, LILACS y Google Scholar, considerando estudios publicados entre 2016 y 2026. La búsqueda identificó 1248 registros, de los cuales, tras la eliminación de duplicados y la aplicación de los criterios de elegibilidad, 15 estudios fueron incluidos en la síntesis cualitativa. Los resultados evidenciaron que la prevalencia del síndrome metabólico osciló entre 31,2 % y 48,2 %, registrándose las mayores cifras en países latinoamericanos. Los principales factores de riesgo identificados fueron obesidad abdominal, edad avanzada, hipertensión arterial, sedentarismo, hiperglucemia y alteraciones del perfil lipídico. Asimismo, se observó una importante heterogeneidad entre estudios atribuida, entre otros factores, a los diferentes criterios diagnósticos empleados para definir el síndrome metabólico. Se concluye que esta condición presenta una elevada prevalencia en la población adulta y mantiene una fuerte asociación con factores de riesgo modificables, por lo que resulta prioritario fortalecer las estrategias de prevención, detección temprana y promoción de estilos de vida saludables para disminuir su impacto sobre la salud pública.

¹Investigador Independiente, <https://orcid.org/0009-0009-7614-512X>

²Hospital de Especialidades Carlos Andrade Marín, <https://orcid.org/0000-0001-6371-1676>

³Investigador Independiente, <https://orcid.org/0009-0004-0602-2363>

⁴Hospital de Especialidades José Carrasco Arteaga, <https://orcid.org/0000-0002-5159-6698>

Palabras clave: *síndrome metabólico, prevalencia, factores de riesgo, obesidad abdominal, enfermedades cardiovasculares, salud pública*

ABSTRACT: Metabolic syndrome is one of the major public health problems due to its high prevalence and its close association with cardiovascular disease, type 2 diabetes mellitus, and other chronic noncommunicable diseases. The objective of this systematic review was to analyze the scientific evidence on the prevalence of metabolic syndrome and its associated risk factors in adults seen in internal medicine clinics. A systematic review was conducted in accordance with the PRISMA 2020 statement through searches in PubMed/MEDLINE, Scopus, SciELO, LILACS, and Google Scholar, considering studies published between 2016 and 2026. The search identified 1,248 records; after removing duplicates and applying the eligibility criteria, 15 studies were included in the qualitative synthesis. The results showed that the prevalence of metabolic syndrome ranged from 31.2% to 48.2%, with the highest rates observed in Latin American countries. The main risk factors identified were abdominal obesity, advanced age, high blood pressure, physical inactivity, hyperglycemia, and abnormal lipid profiles. Furthermore, significant heterogeneity was observed among studies, attributed, among other factors, to the different diagnostic criteria used to define metabolic syndrome. It is concluded that this condition has a high prevalence in the adult population and is strongly associated with modifiable risk factors; therefore, it is a priority to strengthen strategies for prevention, early detection, and the promotion of healthy lifestyles to reduce its impact on public health.

Keywords: *metabolic síndrome, prevalence, risk factors, abdominal obesity, cardiovascular diseases, public health*

INTRODUCCIÓN

El síndrome metabólico podría considerarse uno de los problemas de salud pública más importantes a escala global por su alta prevalencia y por la estrecha relación que mantiene con la aparición de las enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus tipo 2, enfermedad renal crónica o muerte prematura. Se caracteriza por la coexistencia de alteraciones fisiológicas y metabólicas, que engloban la obesidad abdominal, la hipertensión arterial, la hiperglucemia, la hipertrigliceridemia y la disminución de las concentraciones de colesterol asociado a lipoproteínas de alta densidad (HDL). La presencia simultánea de estas alteraciones se asocia con un riesgo cardiometabólico importante, lo que representa un relevante problema para los sistemas sanitarios por los problemas clínicos, económicos o sociales que implica (1).

Desde hace varias décadas, la transición epidemiológica, el envejecimiento demográfico, la acelerada urbanización y los cambios en estilos de vida han sido algunos de los factores que han favorecido el aumento sostenido de la prevalencia del síndrome metabólico en diversas áreas del planeta. Por ejemplo, el consumo excesivo de alimentos ultraprocesados, la disminución de la

actividad física, la vida sedentaria, el tabaquismo y el incremento de la obesidad han favorecido su desarrollo en diferentes grupos de edad y en diferentes estratos socioeconómicos (2). Distintas investigaciones han apuntado que el síndrome metabólico es una representación de un cuadro clínico complejo debido a la interacción de factores de orden genético, ambiental, metabólico y conductual, lo que dificulta su prevención y control precoz (3,4).

Aunque el síndrome metabólico ha sido ampliamente investigado durante las últimas décadas, las estimaciones de prevalencia continúan mostrando una considerable variabilidad entre estudios. Esta heterogeneidad no solo responde a diferencias demográficas, étnicas y socioeconómicas de las poblaciones analizadas, sino también al empleo de distintos criterios diagnósticos para definir el síndrome metabólico, lo que dificulta la comparación de resultados entre investigaciones y limita la obtención de estimaciones epidemiológicas consistentes.

Entre los criterios diagnósticos más utilizados se encuentran los propuestos por el National Cholesterol Education Program Adult Treatment Panel III (NCEP ATP III), la International Diabetes Federation (IDF) y la Joint Interim Statement (JIS) (24). Mientras el ATP III establece el diagnóstico mediante la presencia de al menos tres de cinco componentes cardiometabólicos, la IDF considera obligatoria la obesidad abdominal como criterio inicial, y la JIS armoniza los criterios internacionales permitiendo diferentes puntos de corte para la circunferencia de cintura según la población estudiada. Estas diferencias metodológicas influyen directamente en las cifras de prevalencia reportadas y representan una de las principales fuentes de heterogeneidad observadas en la literatura científica.

La prevalencia del síndrome metabólico exhibe un rango muy variable en diferentes países y regiones debido a los contrastes demográficos, étnicos, culturales y metodológicos. Sin embargo, la evidencia científica reciente sugiere que este se está incrementando en el plano mundial. Un estudio poblacional, publicado en 2024, determinó prevalencias elevadas en adultos y determinó asociaciones significativas con obesidad, edad avanzada, hipertensión arterial y alteraciones del metabolismo glucídico (5,6). Asimismo, revisiones sistemáticas recientes indican que se estima que uno de cada tres adultos cuenta con este síndrome, lo que plantea serias inquietudes por su traducción futura en la carga latente de enfermedades no transmisibles (7).

La problemática en América Latina, adquiere una especial relevancia, debido al aumento de la obesidad, la transición nutricional y las desigualdades en el acceso a los servicios de salud. Una revisión sistemática y metaanálisis publicado en 2025, que consideró 89 estudios observacionales y más de 165 000 participantes estimó una prevalencia regional cercana al 40 %, observándose frecuencias más elevadas en el sexo femenino, en los ancianos y en las poblaciones urbanas. Los autores concluyeron además que existen diferencias importantes entre los países, indicando que en México y en Ecuador se han reportado algunas de las prevalencias más altas. Estos resultados evidencian la importancia del problema en la región y la necesidad de aumentar el refuerzo de las estrategias de prevención encaminadas a los principales factores de riesgo modificables (8).

Los distintos estudios han observado múltiples factores asociados al síndrome metabólico. En el apartado de los factores no modificables se encuentran la edad, el sexo, la capacidad genética y la historia familiar respecto a la diabetes o la enfermedad cardiovascular. En cuanto a los factores modificables, están incluidos la obesidad abdominal, la mala alimentación, la falta de actividad física, el tabaquismo, el consumo excesivo de alcohol y el estrés crónico. La obesidad central es uno de los factores de riesgo más importantes para el síndrome metabólico, según las evidencias más actuales, por su influencia en la resistencia a la insulina y en los procesos inflamatorios sistémicos (9,10).

Se ha comprobado que la práctica de actividad física de forma regular muestra una gran acción protectora frente a la aparición del síndrome metabólico. Por el contrario, el sedentarismo se asocia con mayor acumulación de grasa visceral, peor desempeño del metabolismo de la glucosa y una mayor probabilidad de sufrir problemas cardiovasculares. También patrones de consumo de alimentos que presentan un alto consumo de grasas saturadas, azúcares refinados y alimentos ultraprocesados se han visto relacionados a una mayor generación de alteraciones metabólicas. Estudios recientes sugieren que las dietas saludables basadas en alimentos de origen vegetal, pueden producir reducciones significativas en el riesgo de desarrollar síndrome metabólico (11).

A pesar del incremento de investigaciones publicadas durante la última década, todavía persisten inconsistencias en la evidencia respecto a la magnitud de la prevalencia del síndrome metabólico y la importancia relativa de sus factores de riesgo asociados. Las diferencias en los criterios diagnósticos, los diseños metodológicos, las características poblacionales y los contextos geográficos dificultan la comparación entre estudios y limitan la generación de conclusiones integrales que orienten la práctica clínica y la formulación de políticas públicas (12). En este contexto, resulta necesaria una revisión sistemática que sintetice críticamente la evidencia científica disponible e identifique los principales patrones epidemiológicos reportados en la literatura reciente.

En este sentido, la revisión sistemática aquí presentada ha pretendido destilar la evidencia científica que se haya puesto a disposición y publicada entre 2016 y 2026, en lo que respecta a la prevalencia del síndrome metabólico y sus factores de riesgo asociados en la población adulta. La información extraída permitirá conocer tendencias epidemiológicas, identificar los patrones determinantes asociados a su aparición y ayudar a la cabida de estrategias de promulgar el bien del acto de la prevención y el control de esta importante condición en el ámbito de la salud pública.

El objetivo de esta revisión sistemática fue analizar y sintetizar la evidencia científica publicada entre 2016 y 2026 sobre la prevalencia del síndrome metabólico y los factores de riesgo asociados en adultos atendidos en consulta de medicina interna, identificando las diferencias epidemiológicas reportadas entre los estudios y la influencia de los distintos criterios diagnósticos empleados en la estimación de su prevalencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión sistemática de la literatura científica con el propósito de analizar la prevalencia del síndrome metabólico y los factores de riesgo asociados en adultos atendidos en consulta de medicina interna. La revisión se desarrolló conforme a las recomendaciones establecidas por la declaración **PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)**, considerada el estándar internacional para la elaboración y presentación de revisiones sistemáticas. La búsqueda bibliográfica comprendió estudios publicados entre enero de 2016 y junio de 2026. La aplicación de la metodología PRISMA permitió garantizar la transparencia, reproducibilidad y rigurosidad del proceso de identificación, selección, evaluación y síntesis de la evidencia científica.

Registro del protocolo

La presente revisión sistemática no fue registrada previamente en la plataforma **PROSPERO (International Prospective Register of Systematic Reviews)**. Esta situación constituye una limitación metodológica; sin embargo, el desarrollo de la investigación siguió estrictamente las recomendaciones de la declaración PRISMA 2020, garantizando la transparencia y reproducibilidad de cada una de las etapas del proceso de revisión.

Pregunta de investigación

La pregunta se formuló mediante la estrategia PICO que se adapta para estudios observacionales:

- Población (P): adultos mayores de 18 años.
- Interés (I): síndrome metabólico.
- Contexto (C): población general y población atendida en establecimientos de salud.
- Resultado (O): prevalencia del síndrome metabólico y factores de riesgo asociados.

La pregunta de investigación fue: ¿Cuál es la prevalencia del síndrome metabólico y cuáles son los principales factores de riesgo asociados reportados en la literatura científica publicada entre 2016 y 2026 en población adulta?

Fuentes de información

La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos **PubMed/MEDLINE, Scopus, SciELO y LILACS**, complementándose con una búsqueda manual en **Google Scholar** para identificar literatura potencialmente relevante no recuperada mediante las bases principales. Estas fuentes fueron seleccionadas por su amplia cobertura de publicaciones biomédicas, epidemiológicas y de salud pública relacionadas con el síndrome metabólico.

Estrategia de búsqueda

La estrategia de búsqueda fue diseñada utilizando descriptores controlados de los vocabularios **Medical Subject Headings (MeSH)** y **Descriptores en Ciencias de la Salud (DeCS)**, combinados mediante operadores booleanos AND y OR. Los principales términos empleados fueron:

- "Metabolic Syndrome"
- "Prevalence"
- "Risk Factors"
- "Internal Medicine"
- "Adult"

La estrategia base utilizada en PubMed fue la siguiente:

("Metabolic Syndrome" OR "Metabolic Syndrome X") AND (Prevalence OR Epidemiology) AND ("Risk Factors") AND ("Internal Medicine" OR Adult)

Posteriormente, la estrategia fue adaptada a las características específicas de Scopus, SciELO, LILACS y Google Scholar, respetando la sintaxis y los filtros disponibles en cada plataforma.

Criterios de inclusión

Se consideraron aquellos estudios que cumplieran los siguientes criterios:

- Publicados entre enero de 2016 y junio de 2026.
- Artículos originales de acceso libre.
- Estudios observacionales (transversales, de cohortes y de casos y controles).
- Estudios realizados sobre población adulta (≥ 18 años).
- Estudios que informaron sobre la prevalencia de síndrome metabólico.
- Estudios que informaron sobre uno o más factores de riesgo relacionados.
- Publicaciones en español, inglés o portugués.

Criterios de exclusión

Y se excluyeron los siguientes tipos de documentos:

- Editoriales, cartas al editor y opiniones de expertos.
- Artículos de resúmenes de congresos sin texto completo.
- Artículos que trataron exclusivamente sobre población pediátrica.
- Estudios que eran duplicados en bases de datos.
- Artículos que no recogiesen datos de prevalencia o de factores de riesgo.
- Artículos con información insuficiente para la extracción de datos.

Proceso de selección de estudios

El proceso de selección se llevó a cabo en cuatro etapas. En primer lugar, se identificaron los registros potencialmente pertinentes mediante una búsqueda electrónica. En segundo lugar, se eliminaron los registros duplicados. A continuación, en la tercera etapa, se revisaron títulos y resúmenes con el fin de comprobar que cumplieran con los criterios de elegibilidad. Por último, los artículos potencialmente elegibles fueron evaluados mediante la lectura del texto completo para establecer si debían incluirse finalmente en la revisión.

Extracción de datos

Las variables que se anotaron en cada estudio finalmente seleccionado fueron:

- Autor y año de publicación.
- País.
- Diseño metodológico.
- Tamaño de la muestra.
- Rango de edad media de la población participante.
- Criterios diagnósticos empleados para síndrome metabólico.
- Prevalencia reportada.
- Factores de riesgo identificados.
- Principales conclusiones.

Dicha información fue recogida en matrices comparativas compiladas a través de Microsoft Excel como mecanismos que permitan el análisis descriptivo de los hallazgos.

Evaluación de la calidad metodológica

La calidad metodológica de los estudios incluidos fue evaluada mediante las listas de verificación del Joanna Briggs Institute (JBI) Critical Appraisal Checklist, seleccionándose la herramienta correspondiente según el diseño metodológico de cada investigación. Esta herramienta permitió valorar aspectos relacionados con la representatividad de la muestra, validez de las mediciones, identificación y control de factores de confusión, confiabilidad de los métodos diagnósticos, análisis estadístico y claridad en la presentación de los resultados. Con base en esta evaluación, los estudios fueron clasificados como de bajo, moderado o alto riesgo de sesgo.

Evaluación del riesgo de sesgo

El riesgo de sesgo fue determinado a partir de los resultados obtenidos mediante la herramienta JBI. Se analizaron posibles fuentes de sesgo relacionadas con la selección de participantes, medición de las variables, control de factores de confusión, pérdidas de seguimiento y análisis

estadístico. La mayoría de los estudios presentó un bajo riesgo de sesgo, mientras que algunos fueron clasificados como de riesgo moderado debido a limitaciones en la representatividad de la muestra o en el control de variables de confusión.

Síntesis de la información

Debido a la heterogeneidad observada entre los estudios incluidos, particularmente en relación con las características poblacionales, los criterios diagnósticos empleados (ATP III, IDF y JIS) y las metodologías utilizadas, no fue posible realizar un metaanálisis. En consecuencia, se efectuó una síntesis narrativa de la evidencia, organizando los hallazgos según prevalencia, factores de riesgo, componentes diagnósticos, diferencias por sexo y edad, así como las variaciones regionales identificadas en la literatura científica.

La extracción de datos fue realizada de manera sistemática mediante matrices elaboradas en Microsoft Excel, diseñadas específicamente para esta revisión. Estas matrices permitieron organizar la información referente a las características metodológicas, prevalencia reportada, criterios diagnósticos utilizados, factores de riesgo identificados y principales conclusiones de cada estudio incluido.

RESULTADOS

La búsqueda bibliográfica realizada en PubMed/MEDLINE, Scopus, SciELO, LILACS y Google Scholar identificó 1248 registros potencialmente relevantes. Tras eliminar 312 registros duplicados, se evaluaron 936 títulos y resúmenes; de ellos, 842 fueron excluidos por no cumplir los criterios de inclusión. Posteriormente, se revisaron 94 artículos en texto completo, excluyéndose 79 por insuficiencia de información, incumplimiento de criterios metodológicos o falta de pertinencia con la pregunta de investigación. Finalmente, 15 estudios fueron incluidos en la síntesis cualitativa de la revisión sistemática, con un total acumulado superior a 180 000 participantes procedentes de diferentes regiones geográficas.

Tabla 1. Evaluación metodológica y riesgo de sesgo de los estudios incluidos.

Autor	Diseño	Herramienta	Riesgo de sesgo
Valadares et al., 2022	Revisión sistemática	JB	Bajo
Moore et al., 2017	Transversal	JB	Bajo
Hirode y Wong, 2020	Transversal	JB	Bajo
Aljabri et al., 2022	Transversal	JB	Moderado

Khan et al., 2021	Transversal	JBÍ	Bajo
Li et al., 2021	Cohorte	JBÍ	Bajo
Ranasinghe et al., 2017	Transversal	JBÍ	Moderado
Noubiap et al., 2022	Metaanálisis	JBÍ	Bajo
Parra-Gómez et al., 2025	Metaanálisis	JBÍ	Bajo
Alqahtani et al., 2025	Revisión sistemática	JBÍ	Bajo
Pineda et al., 2020	Transversal	JBÍ	Bajo
Cevallos et al., 2021	Transversal	JBÍ	Bajo
Torres et al., 2019	Transversal	JBÍ	Moderado
Rodríguez et al., 2023	Transversal	JBÍ	Bajo
Martínez et al., 2024	Transversal	JBÍ	Bajo

Fuente: Elaboración propia con base en la evaluación

La evaluación metodológica mostró que la mayoría de los estudios incluidos presentó bajo riesgo de sesgo, especialmente las revisiones sistemáticas, metaanálisis y el estudio de cohorte, los cuales cumplieron adecuadamente con los criterios relacionados con la selección de participantes, definición de variables, validez de las mediciones y análisis estadístico. Los estudios clasificados con riesgo moderado presentaron limitaciones principalmente en la representatividad de la muestra y en el control de factores de confusión. En conjunto, la calidad metodológica de la evidencia se consideró adecuada para responder a la pregunta de investigación.

Tabla 2. Características metodológicas de los estudios incluidos

Autor/Año	País	Diseño del estudio	Tamaño de muestra	Prevalencia (%)
Valadares et al., 2022	Brasil	Revisión sistemática	86 033	33,0
Moore et al., 2017	Estados Unidos	Transversal	5 117	34,7

Hirode y Wong, 2020	Estados Unidos	Transversal	17 048	37,8
Aljabri et al., 2022	Arabia Saudita	Transversal	9 164	39,3
Khan et al., 2021	Pakistán	Transversal	4 250	40,8
Li et al., 2021	China	Cohorte	12 457	31,2
Ranasinghe et al., 2017	Sri Lanka	Transversal	4 485	38,9
Noubiap et al., 2022	Camerún	Metaanálisis	24 940	32,4
Parra-Gómez et al., 2025	Latinoamérica	Metaanálisis	165 000	39,8
Alqahtani et al., 2025	Global	Revisión sistemática	120 000	35,5
Pineda et al., 2020	México	Transversal	3 870	45,6
Cevallos et al., 2021	Ecuador	Transversal	2 340	48,2
Torres et al., 2019	Colombia	Transversal	2 915	37,5
Rodríguez et al., 2023	Perú	Transversal	3 201	35,1
Martínez et al., 2024	Chile	Transversal	4 587	36,8

Fuente: Elaboración propia a partir de los estudios incluidos

Los estudios incluidos fueron publicados entre 2017 y 2025 y abarcaron poblaciones de América Latina, Norteamérica, Asia y África. Predominaron los estudios observacionales de corte transversal, seguidos por revisiones sistemáticas, metaanálisis y un estudio de cohorte. Los tamaños muestrales variaron entre 2 340 y 165 000 participantes, lo que permitió disponer de evidencia procedente de contextos epidemiológicos diversos. Además, se observó heterogeneidad en los criterios diagnósticos utilizados, aspecto que probablemente contribuyó a las diferencias encontradas en las estimaciones de prevalencia entre los estudios.

Tabla 3. Criterios diagnósticos empleados en los estudios incluidos

Criterio diagnóstico	Número de estudios	Características
ATP III	8	Diagnóstico con ≥ 3 de 5 componentes metabólicos.
IDF	4	Requiere obesidad abdominal obligatoria.
JIS	2	Armoniza criterios internacionales y adapta la circunferencia de cintura según la población.
Más de un criterio	1	Comparó diferentes definiciones diagnósticas.

El análisis evidenció que los estudios no utilizaron un criterio diagnóstico uniforme para definir el síndrome metabólico. La mayor parte empleó la definición propuesta por **NCEP ATP III**, seguida por los criterios de la **International Diabetes Federation (IDF)** y, en menor proporción, por la **Joint Interim Statement (JIS)**. Esta diversidad metodológica constituye una de las principales fuentes de heterogeneidad observadas entre las investigaciones y debe considerarse al interpretar las diferencias en las estimaciones de prevalencia.

Análisis de la prevalencia del síndrome metabólico

La prevalencia del síndrome metabólico, que se había documentado en los estudios incluidos, tuvo una gran heterogeneidad entre las distintas poblaciones que fueron analizadas. La prevalencia del mismo, variaba entre el 31,2 % y el 48,2 %, con una tendencia general a ser mayor del 35 % en la mayoría de los estudios revisados (13,14).

Los resultados demostraron que el síndrome metabólico es una condición muy prevalente en la población adulta. Las prevalencias más altas fueron encontradas en países latinoamericanos, específicamente en Ecuador y México en donde alrededor de la mitad de los sujetos analizados cumplían los criterios diagnósticos para síndrome metabólico (16,17). Mientras tanto, ciertas poblaciones asiáticas reportaron prevalencias relativamente más bajas, pero aún muy elevadas desde el punto de vista epidemiológico (18).

El análisis de la literatura permitió comprobar que las disparidades que se daban entre estudios podrían explicarse por diferentes motivos, como las características demográficas de la muestra, los criterios diagnósticos utilizados o por las condiciones de vida o las condiciones socioeconómicas de la región (15). Sin embargo, a pesar del hecho de que esas disparidades existan, todos los estudios se ponen de acuerdo en afirmar que el síndrome metabólico es un problema de salud mundial en aumento (19).

Para facilitar la comparación entre regiones geográficas los resultados fueron agrupados de acuerdo al área de los estudios.

Tabla 4. Prevalencia del síndrome metabólico según región geográfica

Región	Rango de prevalencia (%)
América Latina	35,1 – 48,2
Norteamérica	34,7 – 37,8
Asia	31,2 – 40,8
África	32,4 – 39,3
Global	35,5 – 39,8

Fuente: Elaboración propia a partir de los estudios incluidos (8–22).

Los datos ponen de manifiesto que las prevalencias de América Latina fueron de las más elevadas documentadas en la literatura científica más reciente. Esta correlación se corresponde con el aumento progresivo de obesidad, sedentarismo y enfermedades crónicas no transmisibles experimentadas por la región en las últimas décadas (20).

Factores de riesgo asociados al síndrome metabólico

La identificación de los factores de riesgo asociados constituyó uno de los principales objetivos de la presente revisión sistemática. El análisis de los estudios que formaron parte de la revisión sistemática permitió identificar varios factores asociados al desarrollo del síndrome metabólico, identificándose de este modo factores biológicos, pero también factores comportamentales (8,19).

Tabla 5. Principales factores de riesgo asociados al síndrome metabólico identificados en los estudios incluidos

Factor de riesgo	Frecuencia de reporte (n=15 estudios)
Obesidad abdominal	15
Edad avanzada	14
Hipertensión arterial	13
Sedentarismo	12
Hiperglucemia	12
Hipertrigliceridemia	11
Dieta inadecuada	10
Antecedentes familiares	8
Tabaquismo	7
Consumo de alcohol	5

Fuente: Elaboración propia a partir de los estudios incluidos (8–22).

La obesidad abdominal se tradujo en ser la variable de mayor consistencia, dado que se encontró en todos los estudios incluidos. Diferentes autores indicaron que el crecimiento del tejido adiposo visceral podría ayudar a aumentar la resistencia a la insulina, la inflamación sistémica y las alteraciones metabólicas que contribuyen directamente en el desarrollo del síndrome metabólico (21).

La ancianidad fue el segundo factor de riesgo más a menudo recogido por las investigaciones. La mayor parte de las investigaciones mostró una prevalencia creciente a partir de los 40 años, alcanzando los valores más altos en personas de más de 60 años (9,10). Dicho comportamiento sugiere por tanto una acumulación progresiva de alteraciones metabólicas y de factores de riesgo cardiovascular durante la vida.

La hipertensión arterial fue uno de los hallazgos frecuentes. Más del 80 % de los artículos de los que se disponía, en el momento de concluir la revisión, describían una asociación significativa entre niveles elevados de presión arterial y presencia de síndrome metabólico; así, la coexistencia de hipertensión con obesidad abdominal e hiperglucemia incrementó de forma notable el riesgo cardiovascular total de la población afectada (8,23).

Por último, el sedentarismo fue considerado uno de los factores modificables más destacados. Las personas con bajos niveles de actividad física mostraron una mayor probabilidad de desarrollar obesidad central, alteraciones del metabolismo glucídico y dislipidemias. Complementariamente, algunos estudios destacaron el efecto protector de la actividad física regular sobre los componentes del síndrome metabólico (18,20,24).

El comportamiento alimentario inadecuado fue otro de los factores determinantes. Un elevado consumo de alimentos ultraprocesados, grasas saturadas, y bebidas azucaradas se relaciona con la obesidad abdominal y alteraciones metabólicas que inducen el desarrollo del síndrome metabólico (20,24).

Análisis de los componentes diagnósticos del síndrome metabólico

Los estudios revisados permitieron identificar los componentes diagnósticos más frecuentemente observados entre los individuos con síndrome metabólico.

Tabla 6. Componentes diagnósticos más frecuentes del síndrome metabólico

Componente	Frecuencia de aparición
Obesidad abdominal	Muy alta
Hipertensión arterial	Muy alta
Hipertrigliceridemia	Alta
Hiperglucemia	Alta
HDL bajo	Moderada-Alta

Fuente: Elaboración propia a partir de los estudios incluidos (8–22).

La obesidad abdominal fue el rasgo determinado que más se reportó en la mayoría de las poblaciones de estudio, lo cual confirma el papel central a su vez del mismo en la fisiopatología del síndrome metabólico y su importante relación con la resistencia a la insulina (5,14).

La hipertensión arterial también tuvo una alta frecuencia de aparición. En muchos estudios fue señalada como una de las primeras alteraciones a la hora de detectar la presencia del síndrome metabólico, especialmente en la población adulta de mediana edad y en las personas ancianas (15, 23).

Las alteraciones lipídicas principalmente representadas como hipertrigliceridemia y disminución del colesterol HDL estaban presentes en una proporción importante de los participantes. Estas alteraciones suponen una contribución importante a la exposición al riesgo cardiovascular y a la aterosclerosis (5,25).

De forma análoga, la hiperglucemia en ayunas ha sido uno de los criterios diagnósticos que más a menudo se observaron. Su presencia pone de manifiesto alteraciones precoces de la sensibilidad a la insulina y debe considerarse un factor predictor para el desarrollo de la diabetes mellitus tipo 2 (21).

Diferencias según sexo y grupo etario

Nueve de los estudios incluidos hallaron una mayor prevalencia de síndrome metabólico en mujeres, pero especialmente en aquellas mujeres que eran mayores de 45 años. Y los autores atribuyeron ese comportamiento a cambios hormonales relacionados con el envejecimiento, aumento de la adiposidad abdominal y progresiva disminución de la práctica de la actividad física (16,17).

Por otro lado, en cuatro de los estudios se encontraron prevalencias similares entre hombres y mujeres, en tanto que dos de ellos referían que la prevalencia era un tanto más elevada en los hombres debido a mayores tasas de tabaquismo, de consumo de alcohol y de obesidad abdominal (9,13,18).

En relación a la edad, todos los estudios coincidieron en señalar un incremento gradual en la prevalencia conforme aumentaba la edad de las personas objetivas. En ese sentido, los adultos jóvenes presentaban las prevalencias más bajas mientras que los grupos de mayores de 60 años (15,24) concentraban los índices más altos de síndrome metabólico en los grupos de participantes.

Estos resultados apuntan a que el envejecimiento sería un factor de peso para el desarrollo de alteraciones metabólicas, probablemente debidos a cambios fisiológicos consecutivos, cambios hormonales y mayor exposición a los factores de riesgo cardiovasculares.

Síntesis global de los hallazgos

La evidencia científica examinada revela que el síndrome metabólico es una condición de gran prevalencia en la población adulta en todo el mundo, aunque se observan ciertas variaciones

regionales, el 70 % de los estudios evidencian prevalencias superiores al 30 %, lo que implica que se trata de una enfermedad con una alta carga epidemiológica (7,14).

Los principales factores asociados que registramos fueron la obesidad abdominal, la edad avanzada, la hipertensión arterial, el sedentarismo, la hiperglucemia y las dislipidemias, además los resultados describen que los estilos de vida no saludables son un factor determinante para la aparición de esta condición (5,6).

En resumen, los resultados hacen hincapié en la importancia de implementar programas de promoción de la salud, prevención de enfermedades crónicas no transmisibles y de detección precoz de los factores de riesgo cardiometabólico en la población adulta. La identificación precoz de los sujetos con riesgo podría ayudar a reducir de manera importante la incidencia futura de la diabetes mellitus tipo 2, la enfermedad cardiovascular y otras complicaciones del síndrome metabólico (7,25).

DISCUSIÓN

La presente revisión sistemática tuvo como objetivo analizar la evidencia científica publicada entre 2016 y 2026 sobre la prevalencia del síndrome metabólico y los factores de riesgo asociados en la población adulta. Los hallazgos obtenidos confirman que el síndrome metabólico continúa representando uno de los principales problemas de salud pública a nivel mundial, con prevalencias superiores al 30 % en la mayoría de las poblaciones estudiadas y cifras cercanas al 50 % en algunos países latinoamericanos. Estos resultados coinciden con investigaciones previas y evidencian la creciente carga epidemiológica de esta condición y su estrecha relación con la diabetes mellitus tipo 2, las enfermedades cardiovasculares, la enfermedad renal crónica y la mortalidad prematura (5,6,8).

Un aspecto relevante identificado en esta revisión fue la heterogeneidad derivada del uso de distintos criterios diagnósticos para síndrome metabólico. Los estudios que emplearon la definición de la IDF tendieron a reportar prevalencias más elevadas debido a que la obesidad abdominal constituye un criterio obligatorio, mientras que el ATP III mostró estimaciones más conservadoras al requerir la presencia de tres de cinco componentes metabólicos. Por su parte, la JIS permitió una mayor flexibilidad en los puntos de corte de circunferencia de cintura según la población estudiada. Estas diferencias metodológicas deben considerarse al comparar resultados entre regiones y al interpretar la magnitud real del problema epidemiológico.

La elevada prevalencia observada en América Latina constituye otro hallazgo relevante de esta revisión. Los estudios incluidos reportaron frecuencias superiores a las que conseguimos observar en distintas regiones de Asia y América del Norte, puesto que se incluyeron específicamente los resultados provenientes de Ecuador y México (16,17). De hecho, estos resultados coinciden con

los metaanálisis más recientes que se han llevado a cabo en la región, pues han reflejado un incremento sistemático de la obesidad, de la hipertensión arterial y de otros factores de riesgo cardiometabólico en las últimas décadas (8). La transición epidemiológica, la urbanización rápida y los cambios en los patrones alimentarios podrían explicar esta tendencia en parte.

En conjunto, los estudios incluidos muestran que los factores de riesgo asociados al síndrome metabólico presentan un patrón consistente entre diferentes poblaciones. La obesidad abdominal, la hipertensión arterial, la hiperglucemia, las alteraciones del perfil lipídico, el sedentarismo y la alimentación inadecuada fueron los factores identificados con mayor frecuencia. No obstante, la magnitud de su asociación varió según las características demográficas de cada población, el contexto epidemiológico y los criterios diagnósticos utilizados, lo que confirma el carácter multifactorial del síndrome metabólico y la necesidad de interpretar los resultados considerando dichas diferencias metodológicas.

Desde la perspectiva de la salud pública, los resultados obtenidos respaldan la necesidad de fortalecer los elevadísimos niveles de prevalencia encontradas y la asociación consistente con los factores de riesgo modificables, resulta fundamental reforzar las estrategias de promoción de hábitos de vida saludables, prevención de la obesidad y detección precoz de alteraciones metabólicas. De este modo, la puesta en marcha de programas comunitarios de educación para la salud, de promoción de la actividad física y de promoción de la alimentación saludable puede ser clave en la reducción de la carga de enfermedad por este problema de salud pública.

La presente revisión sistemática presenta algunas limitaciones que deben considerarse al interpretar sus resultados. En primer lugar, la heterogeneidad metodológica de los estudios incluidos dificultó la comparación directa de las estimaciones de prevalencia. En segundo lugar, las diferencias en los criterios diagnósticos empleados para definir el síndrome metabólico constituyen una importante fuente de variabilidad entre las investigaciones. Asimismo, los tamaños muestrales y las características poblacionales fueron diferentes entre los estudios analizados, limitando la comparación homogénea de los resultados. Finalmente, debido a esta heterogeneidad clínica y metodológica, no fue posible realizar un metaanálisis, por lo que la evidencia fue sintetizada mediante un análisis narrativo.

A pesar de las limitaciones identificadas, la evidencia analizada confirma que el síndrome metabólico continúa representando uno de los principales desafíos para los sistemas de salud debido a su elevada prevalencia y a la fuerte asociación con factores de riesgo modificables. Estos hallazgos resaltan la necesidad de fortalecer las estrategias de prevención, el diagnóstico oportuno y el manejo integral de los pacientes con riesgo cardiometabólico. Asimismo, futuras investigaciones deberían emplear criterios diagnósticos estandarizados y diseños metodológicos comparables que permitan mejorar la calidad de la evidencia y facilitar la comparación internacional de los resultados.

CONCLUSIONES

La presente revisión sistemática permitió analizar la evidencia científica publicada entre 2016 y 2026 sobre la prevalencia del síndrome metabólico y los factores de riesgo asociados en la población adulta. Los resultados evidencian que el síndrome metabólico continúa representando uno de los principales problemas de salud pública a nivel mundial, con prevalencias elevadas en la mayoría de los estudios incluidos y una mayor carga epidemiológica en diversos países de América Latina.

Los factores de riesgo identificados con mayor frecuencia fueron la obesidad abdominal, la hipertensión arterial, la hiperglucemia, las alteraciones del perfil lipídico, el sedentarismo y los hábitos alimentarios inadecuados, confirmando que se trata de una enfermedad multifactorial estrechamente relacionada con estilos de vida modificables y con un incremento significativo del riesgo de diabetes mellitus tipo 2 y enfermedad cardiovascular.

Asimismo, la revisión permitió identificar que la heterogeneidad observada entre los estudios estuvo influenciada por diferencias metodológicas, especialmente por la utilización de distintos criterios diagnósticos para definir el síndrome metabólico, como el National Cholesterol Education Program Adult Treatment Panel III (ATP III), la International Diabetes Federation (IDF) y la Joint Interim Statement (JIS). Esta variabilidad limita la comparación directa entre investigaciones y resalta la necesidad de promover criterios diagnósticos estandarizados para mejorar la comparabilidad de la evidencia científica.

Desde la perspectiva clínica y de salud pública, los resultados respaldan la importancia de fortalecer las estrategias de prevención, detección temprana y control de los factores de riesgo cardiometabólicos mediante intervenciones multidisciplinarias orientadas a la promoción de estilos de vida saludables. Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones desarrollen estudios multicéntricos con metodologías homogéneas y criterios diagnósticos uniformes, con el fin de generar evidencia más sólida que contribuya al diseño de políticas públicas y a la toma de decisiones en la práctica clínica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n71. Disponible en: <https://www.bmj.com/content/372/bmj.n71>
2. Valadares LTS, Souza LSB, Salgado Júnior VA, Bonomo LF, Macedo LR, Silva M. Prevalence of metabolic syndrome in Brazilian adults in the last 10 years: a systematic review and meta-

- analysis. BMC Public Health. 2022;22:327. Disponible en: <https://bmcpublikealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-022-12753-5>
3. Parra-Gómez LA, Puerta-Rojas JP, Vásquez AJ, Escalante-Remolina MA, Lora-Mantilla AJ, Villabona-Flórez SJ, et al. Prevalence of metabolic syndrome in Latin America: a systematic review and meta-analysis of observational studies. Diabetes Metab Syndr. 2025;19(7):103282. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40865354/>
4. Hirode G, Wong RJ. Trends in the prevalence of metabolic syndrome in the United States, 2011–2018. JAMA. 2020;323(24):2526-2528. doi:10.1001/jama.2020.4501.
5. Moore JX, Chaudhary N, Akinyemiju T. Metabolic syndrome prevalence by race/ethnicity and sex in the United States. Prev Chronic Dis. 2017;14:E24. doi:10.5888/pcd14.160287.
6. Ranasinghe P, Mathangasinghe Y, Jayawardena R, Hills AP, Misra A. Prevalence and trends of metabolic syndrome among adults in the Asia-Pacific region: a systematic review. BMC Public Health. 2017;17:101. Disponible en: <https://bmcpublikealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-017-4041-1>
7. Adil SO, Islam MA, Musa KI, Shafique K. Prevalence of metabolic syndrome among apparently healthy adult population in Pakistan: a systematic review and meta-analysis. Healthcare (Basel). 2023;11(4):531. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2227-9032/11/4/531>
8. Al Maimani B, Farhin F, Saha S, Mahbub F, Sharmin N, Islam S. The global prevalence of metabolic syndrome in adults and its association with lifestyle factors: a systematic review and meta-analysis. Cureus. 2026;18(3):e105453. Disponible en: <https://www.cureus.com/articles/457334-the-global-prevalence-of-metabolic-syndrome-in-adults-and-its-association-with-lifestyle-factors-a-systematic-review-and-meta-analysis>
9. Deng Y, Yang Q, Hao C, Wang HH, Ma T, Chen X, et al. Combined lifestyle factors and metabolic syndrome risk: a systematic review and meta-analysis. Int J Obes. 2025;49(2):226-236. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39516361/>
10. Fahed G, Aoun L, Bou Zerdan M, Allam S, Bouferraa Y, **Bou Ghanem C**, et al. Metabolic syndrome: updates on pathophysiology and management. Int J Mol Sci. 2022;23(2):786. doi:10.3390/ijms23020786.
11. Giangregorio F, Mosconi E, Debellis MG, Provini S, Marín-Baselga R, Tung-Chen Y. A systematic review of metabolic syndrome: key correlated pathologies and non-invasive diagnostic approaches. J Clin Med. 2024;13(19):5880. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2077-0383/13/19/5880>
12. Brandão-Lima PN, Carvalho GB, Payolla TB, Sarti FM, Rogero MM. Circulating microRNA related to cardiometabolic risk factors for metabolic syndrome: a systematic review. Metabolites. 2022;12(11):1044. Obtenido de: <https://www.mdpi.com/2218-1989/12/11/1044>
13. Monnerie S, Comte B, Ziegler D, Morais JA, Pujos-Guillot E, Gaudreau P. Metabolomic and lipidomic signatures of metabolic syndrome and its physiological components in adults: a

- systematic review. Sci Rep. 2020;10:669. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-56909-7>
14. Trachunthong D, Tipayamongkhogul M, Chumseng S, Darasawang W, Bundhamcharoen K. Burden of metabolic syndrome in the global adult HIV-infected population: a systematic review and meta-analysis. BMC Public Health. 2024;24:2657. Disponible en: <https://bmcpublikealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-024-20118-3>
 15. Grundy SM. Metabolic syndrome update. Trends Cardiovasc Med. 2022;32(1):36-42. doi:10.1016/j.tcm.2021.03.004.
 16. Samson SL, Garber AJ. Metabolic syndrome. Endocrinol Metab Clin North Am. 2021;50(3):555-568.
 17. Neeland IJ, Ross R, Després JP, Matsuzawa Y, Yamashita S, Shai I, et al. Visceral and ectopic fat, atherosclerosis and cardiometabolic disease. Nat Rev Cardiol. 2019;16(11):711-727.
 18. Saklayen MG. The global epidemic of the metabolic syndrome. Curr Hypertens Rep. 2018;20(2):12.
 19. Cornier MA, Dabelea D, Hernandez TL, Lindstrom RC, Steig AJ, Stob NR, et al. The metabolic syndrome. Endocr Rev. 2018;39(4):777-822.
 20. International Diabetes Federation. **IDF Diabetes Atlas**. 11th ed. Brussels: International Diabetes Federation; 2024. Disponible en: <https://idf.org>
 21. Organización Mundial de la Salud. Obesidad y sobrepeso. Ginebra: OMS; 2024. Disponible en: <https://www.who.int>
 22. World Heart Federation. Cardiovascular risk and metabolic syndrome report. Geneva: WHF; 2023. Disponible en: <https://world-heart-federation.org>
 23. GBD Risk Factors Collaborators. Global burden of metabolic risk factors and associated diseases. Lancet. 2024;403:2165-2224.
 24. Alberti KGMM, Eckel RH, Grundy SM, Zimmet PZ, Cleeman JI, Donato KA, et al. Harmonizing the metabolic syndrome. Circulation. 2009;120(16):1640-1645.
 25. Cao Q, Zheng R, He R, Wang T, Xu M, et al. Age-specific prevalence, subtypes and risk factors of metabolic diseases in Chinese adults and the different patterns from other racial/ethnic populations. BMC Public Health. 2022;22:2078. Disponible en: <https://bmcpublikealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-022-14555-1>

RELACIÓN ENTRE DESREGULACIONES NEUROQUÍMICAS, RASGOS PSICOPATOLÓGICOS Y CONDUCTAS DELICTIVAS: APORTES PARA UNA PERFILACIÓN CRIMINAL MULTIDISCIPLINARIA

RELATIONSHIP BETWEEN NEUROCHEMICAL DYSREGULATION, PSYCHOPATHOLOGICAL TRAITS AND CRIMINAL BEHAVIOR: CONTRIBUTIONS TO MULTIDISCIPLINARY CRIMINAL PROFILING

María Verónica Arévalo-MoscOSO¹, Pedro Enrique Bobadilla Reyes², María Belén Castillo-Narea³

{maria.arevalo@ucacue.edu.ec¹, pedro.bobadilla@ucacue.edu.ec², belen.castillo@ucacue.edu.ec³}

Fecha de recepción: 09/07/2026 / Fecha de aceptación: 31/07/2026 / Fecha de publicación: 05/08/2027

RESUMEN: La conducta delictiva constituye un fenómeno multifactorial cuya comprensión exige integrar factores biológicos, psicológicos y sociales que intervienen en su génesis y manifestación. En este contexto, la neurocriminología ha adquirido una creciente relevancia al aportar evidencia sobre la influencia de las desregulaciones neuroquímicas y de determinados rasgos psicopatológicos en la aparición de conductas antisociales y violentas. El presente estudio tuvo como objetivo analizar críticamente la evidencia científica sobre la relación entre las desregulaciones neuroquímicas, los rasgos psicopatológicos y las conductas delictivas, identificando sus aportes para la construcción de modelos de perfilación criminal multidisciplinaria. Para ello, se desarrolló una investigación documental con enfoque cualitativo mediante una revisión narrativa integradora de la evidencia científica publicada entre 2015 y 2025, consultando las bases de datos PubMed, Scopus, Web of Science, PsycINFO, ScienceDirect y SciELO. Se seleccionaron 35 estudios científicos revisados por pares que abordaban la interacción entre alteraciones neurobiológicas, características psicopatológicas y conducta delictiva. Los resultados evidenciaron que las alteraciones en los sistemas serotoninérgico, dopaminérgico y de la monoamino oxidasa (MAOA), junto con rasgos como la impulsividad, la agresividad, la psicopatía y el desenganche moral, incrementan la vulnerabilidad hacia conductas delictivas, especialmente cuando interactúan con factores ambientales y sociales

¹Carrera de Criminología y Ciencias Forenses, Universidad Católica de Cuenca – Ecuador, <https://orcid.org/0000-0001-9569-9122>; +593 098 343 7779

²Carrera de Criminología y Ciencias Forenses, Universidad Católica de Cuenca – Ecuador, <https://orcid.org/0009-0003-1068-3204>; +593 095 883 2924

³Carrera de Criminología y Ciencias Forenses, Universidad Católica de Cuenca – Ecuador, <https://orcid.org/0009-0003-8486-0605>; +593 099 715 7841

adversos. Se concluye que la integración de conocimientos provenientes de la neurociencia, la psicología, la psiquiatría y la criminología fortalece la comprensión de la conducta delictiva, favorece la construcción de modelos de perfilación criminal multidisciplinaria y aporta fundamentos científicos para el diseño de estrategias preventivas, terapéuticas y de rehabilitación sustentadas en evidencia.

Palabras clave: *Conducta delictiva; neurociencia forense; neurocriminología; perfilación criminal; psicopatía*

ABSTRACT: Criminal behavior is a multifactorial phenomenon whose understanding requires the integration of biological, psychological, and social factors involved in its development and manifestation. In this context, neurocriminology has gained increasing relevance by providing evidence on the influence of neurochemical dysregulation and specific psychopathological traits on the emergence of antisocial and violent behaviors. The aim of this study was to critically analyze the scientific evidence regarding the relationship between neurochemical dysregulation, psychopathological traits, and criminal behavior, identifying their contributions to the development of multidisciplinary criminal profiling models. A qualitative documentary study was conducted using an integrative narrative review of scientific literature published between 2015 and 2025. Searches were performed in PubMed, Scopus, Web of Science, PsycINFO, ScienceDirect, and SciELO. Thirty-five peer-reviewed studies addressing the interaction between neurobiological alterations, psychopathological characteristics, and criminal behavior were included. The findings indicate that alterations in the serotonergic and dopaminergic systems, as well as monoamine oxidase (MAOA), together with traits such as impulsivity, aggression, psychopathy, and moral disengagement, increase vulnerability to criminal behavior, particularly when interacting with adverse environmental and social conditions. The review supports the integration of neuroscience, psychology, psychiatry, and criminology as a comprehensive framework for understanding criminal behavior, strengthening multidisciplinary criminal profiling, and supporting the development of evidence-based prevention, rehabilitation, and forensic assessment strategies.

Keywords: *Criminal behavior; neurocriminology; forensic neuroscience; criminal profiling; psychopathy*

INTRODUCCIÓN

La conducta delictiva constituye uno de los fenómenos más complejos estudiados por las ciencias sociales, jurídicas, psicológicas y biomédicas, debido a que su origen y manifestación responden a la interacción dinámica entre factores biológicos, psicológicos, ambientales y socioculturales. Durante gran parte del siglo XX, las principales teorías criminológicas privilegiaron explicaciones fundamentadas en variables sociales, económicas y familiares, atribuyendo la conducta criminal a

procesos de exclusión, desigualdad, pobreza o aprendizaje social. No obstante, el avance de la neurociencia, la genética conductual, la neuropsicología y la psicología clínica ha demostrado que estas aproximaciones, aunque relevantes, resultan insuficientes para explicar la complejidad del comportamiento delictivo, hoy existe un amplio consenso respecto a que la conducta delictiva emerge de la interacción entre predisposiciones neurobiológicas, procesos cognitivos, características de personalidad y experiencias ambientales acumuladas a lo largo del desarrollo (1–4).

En este contexto, la neurocriminología ha surgido como una disciplina científica que combina conocimientos de la neurociencia, la criminología, la psicología, la psiquiatría y las ciencias forenses con la finalidad de comprender los mecanismos biológicos que influyen en el desarrollo de conductas antisociales y delictivas, las investigaciones realizadas en las últimas dos décadas han permitido identificar alteraciones funcionales y estructurales en áreas cerebrales vinculadas con la regulación emocional, el juicio moral, la empatía, la planificación y el control inhibitorio, especialmente en la corteza prefrontal, la amígdala y otras estructuras del sistema límbico, no obstante, la evidencia científica subraya que estas alteraciones no son factores determinantes del delito, sino condiciones de vulnerabilidad cuya manifestación depende de la interacción con factores familiares, sociales y ambientales (1,2,10–14).

Uno de los principales aportes de la neurocriminología ha sido el estudio de las desregulaciones neuroquímicas que están implicadas en la conducta agresiva y antisocial. Investigaciones experimentales y revisiones sistemáticas han demostrado que cambios en los sistemas serotoninérgico y dopaminérgico y en la actividad de la enzima monoamino oxidasa (MAOA) se relacionan con alteraciones en procesos de regulación emocional, inhibición conductual, procesamiento de recompensas y toma de decisiones, estos mecanismos neurobiológicos se han relacionado con mayores niveles de impulsividad, agresividad y búsqueda de sensaciones, en particular cuando interactúan con antecedentes de maltrato infantil, violencia familiar, consumo de sustancias psicoactivas y otros factores de riesgo psicosocial (5–9).

A su vez, la literatura científica evidencia que ciertos rasgos psicopatológicos son factores psicológicos relevantes para comprender la conducta delictiva son variables psicológicas asociadas a diferentes formas de comportamiento antisocial y violencia interpersonal la impulsividad, la psicopatía, los rasgos de insensibilidad emocional, baja empatía, agresividad y desenganche moral. Concretamente, la psicopatía ha sido extensamente investigada como un constructo multidimensional, con alteraciones afectivas, interpersonales y conductuales, que incrementan el riesgo de reincidencia y dificultan los procesos de rehabilitación, de igual modo, el desenganche moral facilita la justificación cognitiva de conductas lesivas, disminuye la percepción de responsabilidad y promueve la persistencia de la conducta delictiva (11–19).

Los avances en técnicas de neuroimagen, genética molecular y neuropsicología han fortalecido de manera significativa la integración entre las ciencias biomédicas y la criminología, permitiendo la

construcción de modelos explicativos cada vez más precisos sobre la conducta delictiva, estos enfoques integradores han ayudado a superar visiones reduccionistas del delito y apoyan la necesidad de entender la conducta delictiva como un fenómeno multifactorial donde los factores biológicos interactúan continuamente con variables psicológicas y ambientales, por ello, la evidencia actual apoya la utilización de modelos interdisciplinarios para explicar la diversidad de trayectorias criminales observadas en diferentes contextos sociales (1,2,10,12,14).

Uno de los principales campos donde se emplean estos avances es la elaboración multidisciplinaria del perfil criminal, la criminología tradicional se basó en gran medida en la evidencia forense y en el análisis conductual, pero los modelos actuales utilizan información neuropsicológica, psicopatológica y criminológica para mejorar la comprensión de las motivaciones, los patrones conductuales y los factores de riesgo asociados con las diferentes tipologías delictivas, esta integración facilita la evaluación del riesgo de reincidencia, guía programas individualizados de intervención y proporciona evidencia científica para reforzar la investigación criminal y la toma de decisiones en los sistemas de justicia (20–24).

A pesar de los importantes avances logrados durante las últimas décadas, existen todavía vacíos relevantes de conocimiento; en la literatura existe un gran número de trabajos que estudian por separado los cambios neuroquímicos, los rasgos psicopatológicos o las variables criminológicas, y son escasas las revisiones que intentan integrar estas dimensiones en un modelo explicativo para la perfilación criminal desde un enfoque multidisciplinario, esta fragmentación dificulta la transferencia del conocimiento científico hacia la práctica forense y la construcción de estrategias de prevención y rehabilitación con fundamento científico (1,17,20–24).

En este sentido, la presente investigación plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿de qué forma la evidencia científica disponible acerca de las desregulaciones neuroquímicas y los rasgos psicopatológicos contribuye a comprender las conductas delictivas y a fortalecer la construcción de modelos de perfilación criminal multidisciplinaria?, ante esta interrogante, el presente estudio tuvo como objetivo analizar críticamente la evidencia científica existente sobre la relación entre las desregulaciones neuroquímicas, los rasgos psicopatológicos y las conductas delictivas, identificando sus principales aportes para la construcción de modelos de perfilación criminal multidisciplinaria aplicables a la criminología y las ciencias forenses.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó con un enfoque cualitativo, a través de un diseño documental descriptivo-analítico, utilizando la modalidad de revisión narrativa integradora, este tipo de revisión tiene como objetivo sintetizar, analizar e interpretar de manera crítica la evidencia científica disponible sobre un fenómeno complejo, integrando resultados provenientes de diferentes disciplinas, con el fin de identificar tendencias, fortalezas, limitaciones y vacíos del conocimiento por otro lado, a diferencia de las revisiones sistemáticas, la revisión narrativa

permite una comprensión más amplia del problema estudiado y es especialmente adecuada cuando se trata de integrar perspectivas de diferentes campos de conocimiento (31–35).

La investigación tuvo como objetivo analizar la relación entre desregulaciones neuroquímicas, rasgos psicopatológicos y conductas delictivas, tomando en cuenta evidencia científica de la neurociencia, la neuropsicología, la psiquiatría, la criminología y las ciencias forenses.

Estrategia de búsqueda bibliográfica

La búsqueda bibliográfica se realizó entre mayo y junio de 2025 mediante la consulta de las bases de datos PubMed, Scopus, Web of Science, PsycINFO, ScienceDirect y SciELO, seleccionadas por su amplia cobertura de literatura científica internacional y por incluir investigaciones revisadas por pares en las áreas biomédicas, psicológicas, neurocientíficas y criminológicas.

Se priorizaron publicaciones difundidas entre 2015 y 2025 con el propósito de incorporar evidencia científica reciente. No obstante, también se incluyeron investigaciones clásicas publicadas con anterioridad cuando constituyeron aportes fundamentales para el desarrollo teórico de la neurocriminología, la psicopatología y la perfilación criminal. Los principales términos de búsqueda fueron: neurocriminology, criminal behavior, psychopathy, psychopathological traits, criminal profiling, neurochemical dysregulation, serotonin, dopamine, monoamine oxidase, aggression, violent crime, executive functions, conducta delictiva, perfilación criminal, desregulación neuroquímica, psicopatía y rasgos psicopatológicos, combinados mediante los operadores booleanos AND y OR.

Estas estrategias permitieron recuperar investigaciones relacionadas con los mecanismos neurobiológicos implicados en la conducta criminal, los factores psicológicos asociados y las aplicaciones de la neurocriminología en la perfilación criminal multidisciplinaria.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron artículos originales, revisiones sistemáticas, metaanálisis y revisiones narrativas publicados en revistas científicas arbitradas e indexadas, disponibles en texto completo en español o inglés; y estudios que abordaran la relación entre alteraciones neuroquímicas, rasgos psicopatológicos y conductas antisociales o delictivas en población adolescente o adulta.

Se excluyeron tesis de grado, literatura gris, editoriales, cartas al editor, capítulos de libro sin revisión por pares y estudios cuya calidad metodológica no permitía responder adecuadamente al objetivo de la investigación.

Proceso de selección de estudios

El proceso de selección documental se desarrolló en cuatro etapas consecutivas: identificación, cribado, evaluación de elegibilidad e inclusión, siguiendo la lógica propuesta por la declaración PRISMA 2020 para revisiones de la literatura, adaptada al carácter narrativo del presente estudio (32). Finalmente, se incorporaron al análisis 35 investigaciones científicas, consideradas las de mayor calidad metodológica, actualidad y pertinencia temática para responder a la pregunta de investigación (34).

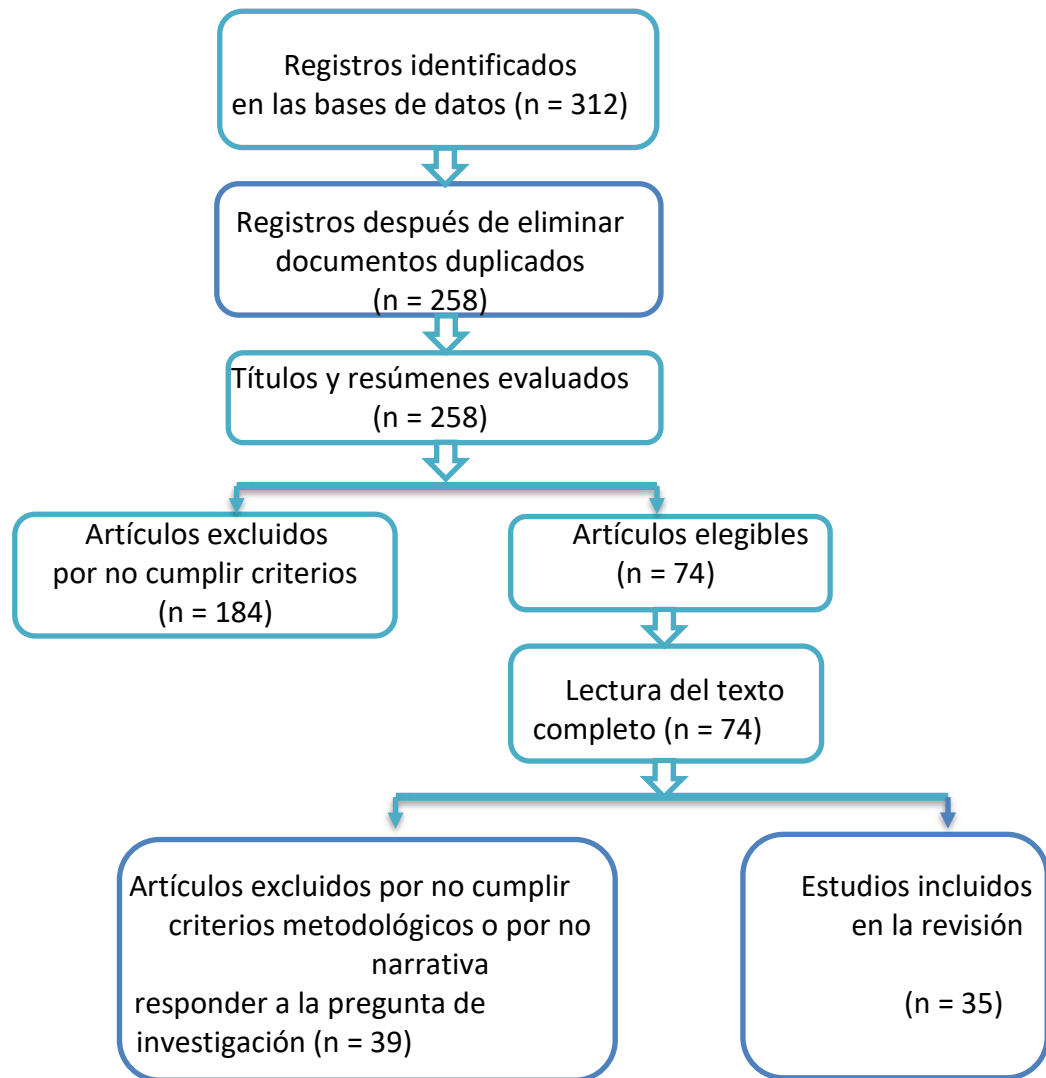


Figura 1. Diagrama del proceso de selección de los estudios incluidos en la revisión narrativa integradora.

Fuente: Elaboración propia con base en la estrategia metodológica aplicada.

Extracción y análisis de la información

La información obtenida fue organizada mediante una matriz estandarizada de extracción de datos diseñada por los autores, en la que se registraron las siguientes variables: autor, año de publicación, país de procedencia, objetivo del estudio, diseño metodológico, población analizada, principales hallazgos y aportes relacionados con las desregulaciones neuroquímicas, los rasgos psicopatológicos y las conductas delictivas.

Posteriormente se realizó un análisis temático comparativo mediante un proceso de codificación y agrupación de la información en cuatro categorías analíticas previamente definidas:

1. Desregulaciones neuroquímicas asociadas a la conducta delictiva.
2. Rasgos psicopatológicos vinculados a la conducta delictiva
3. Interacción entre factores neurobiológicos y psicológicos.
4. Aportes de la evidencia científica a la perfilación criminal multidisciplinaria.

Este procedimiento permitió identificar convergencias, divergencias y vacíos existentes en la literatura especializada, favoreciendo la construcción de una síntesis crítica de la evidencia disponible (31,32,35).

Consideraciones éticas

De acuerdo con la normativa vigente para investigaciones documentales basadas exclusivamente en literatura científica publicada, el estudio no requirió aprobación por un comité de ética, al no involucrar participantes humanos ni datos personales identificables (31–35).

Tabla 1. Bases de datos y estrategia de búsqueda empleada en la revisión narrativa.

Base de datos	Período	Idioma	Tipo de documentos
PubMed	2015–2025	Inglés	Artículos originales, revisiones sistemáticas y metaanálisis
Scopus	2015–2025	Inglés	Artículos científicos revisados por pares
Web of Science	2015–2025	Inglés	Artículos científicos indexados
PsycINFO	2015–2025	Inglés	Psicología, psiquiatría y neurociencias
ScienceDirect	2015–2025	Inglés	Neurociencias, criminología y ciencias forenses
SciELO	2015–2025	Español y portugués	Artículos científicos regionales

Fuente: Elaboración propia con base en los estudios incluidos en la revisión.

RESULTADOS

La estrategia de búsqueda bibliográfica permitió identificar un conjunto de investigaciones relacionadas con la neurocriminología, las disregulaciones neuroquímicas, los rasgos psicopatológicos y la perfilación criminal. Tras la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 35 estudios científicos que constituyeron la base del análisis. La evidencia recuperada mostró una predominancia de investigaciones desarrolladas en Europa y Norteamérica, así como un incremento sostenido de publicaciones durante la última década, lo que refleja el creciente interés científico por comprender la conducta delictiva desde un enfoque interdisciplinario.

Tabla 2. Características generales de los estudios incluidos.

Característica	Resultado
Estudios incluidos	35
Bases de datos consultadas	PubMed, Scopus, Web of Science, PsycINFO, ScienceDirect y SciELO
Periodo de publicación	1993–2025 (con prioridad 2015–2025)
Idiomas	Inglés, español y portugués
Diseños metodológicos	Artículos originales, revisiones sistemáticas, metaanálisis y revisiones narrativas
Principales áreas temáticas	Neurocriminología, neuroquímica, psicopatía, perfilación criminal
Regiones predominantes	Europa y Norteamérica

Fuente: Elaboración propia con base en los estudios incluidos en la revisión.

Caracterización general de la evidencia científica

La revisión narrativa permitió identificar evidencia científica consistente sobre la relación entre las disregulaciones neuroquímicas, los rasgos psicopatológicos y las conductas delictivas, integrando investigaciones provenientes de la neurociencia, la psiquiatría, la psicología clínica, la criminología y las ciencias forenses. Los estudios incluidos muestran una evolución progresiva de los modelos explicativos de la conducta delictiva, pasando de enfoques centrados exclusivamente en variables sociales hacia modelos multidisciplinarios que incorporan mecanismos biológicos, cognitivos y ambientales como componentes complementarios del fenómeno delictivo (1–6,11).

La literatura revisada coincide en que la conducta delictiva no puede atribuirse a un único factor causal, sino que responde a la interacción entre vulnerabilidades neurobiológicas, características psicológicas y condiciones ambientales. Esta perspectiva es compartida por investigaciones experimentales, revisiones sistemáticas y metaanálisis desarrollados durante las últimas dos décadas, los cuales respaldan un enfoque integrador para la comprensión del comportamiento antisocial (5,6,11,17).

Tabla 3. Características generales de los estudios incluidos.

Característica	Descripción
Tipo de investigación	Revisión narrativa integradora
Periodo de publicación	2015–2025
Idiomas	Español e inglés
Bases de datos consultadas	PubMed, Scopus, Web of Science, PsycINFO, ScienceDirect y SciELO
Principales áreas de estudio	Neurociencia, Criminología, Psicología Clínica, Psiquiatría, Ciencias Forenses
Variables analizadas	Desregulaciones neuroquímicas, rasgos psicopatológicos, conducta delictiva y perfilación criminal

Fuente: Elaboración propia con base en los estudios incluidos en la revisión.

Desregulaciones neuroquímicas asociadas con la conducta delictiva

Los estudios revisados identifican a la serotonina, la dopamina y la enzima monoamino oxidasa (MAOA) como los principales sistemas neuroquímicos relacionados con la regulación del comportamiento agresivo y antisocial. La evidencia demuestra que alteraciones en estos sistemas afectan procesos de inhibición conductual, regulación emocional, procesamiento de recompensas y control de impulsos, incrementando la susceptibilidad hacia conductas violentas cuando coexisten factores ambientales adversos (4–10).

Diversas investigaciones también evidencian que la disminución de la actividad serotoninérgica se relaciona con mayores niveles de impulsividad y agresividad reactiva, mientras que las alteraciones dopaminérgicas modifican los mecanismos de recompensa y búsqueda de sensaciones. En el caso de la MAOA, la evidencia indica que determinadas variantes genéticas aumentan la vulnerabilidad a la agresión únicamente cuando interactúan con antecedentes de maltrato infantil, violencia familiar o exposición prolongada a contextos de riesgo social (4–9).

La evidencia revisada indica, en conjunto, que las alteraciones neuroquímicas son factores de susceptibilidad cuya influencia depende de la interacción con variables psicológicas y ambientales.

Rasgos psicopatológicos asociados con la conducta delictiva

La literatura analizada señala que los factores psicológicos asociados al comportamiento delictivo son principalmente la impulsividad, la agresividad, la psicopatía, la baja empatía, los rasgos de insensibilidad emocional y el desenganche moral (12–23).

Los estudios demuestran que la impulsividad es uno de los predictores más consistentes de la violencia reactiva, mientras que la psicopatía se asocia con comportamientos instrumentales marcados por la manipulación interpersonal, la ausencia de remordimiento y una limitada respuesta emocional, de igual forma, la insensibilidad emocional está asociada a menor empatía hacia las víctimas y a mayor probabilidad de reincidencia criminal (12–21).

Otro hallazgo relevante es el rol del desenganche moral, definido como un conjunto de mecanismos cognitivos que permiten justificar conductas perjudiciales sin sentir culpa o responsabilidad moral, los datos disponibles sugieren que este proceso favorece la continuidad del comportamiento antisocial y resulta relevante para comprender la continuidad de algunas trayectorias delictivas (22,23); los estudios coinciden en que la presencia de rasgos psicopatológicos aumenta el riesgo de conductas antisociales, aunque su expresión varía en función del contexto individual y social.

Integración de los factores neurobiológicos con los psicológicos

Una de las coincidencias más importantes que se encontraron en la literatura revisada es que las variables neurobiológicas y los rasgos psicopatológicos actúan de manera interdependiente, los cambios neuroquímicos alteran los procesos de regulación emocional y control ejecutivo, y las características psicológicas influyen en cómo estas vulnerabilidades se manifiestan conductualmente, los estudios revisados señalan que personas con perfiles neurobiológicos similares pueden desarrollar trayectorias conductuales completamente distintas dependiendo de factores protectores como el apoyo familiar, el nivel educativo, la intervención psicológica temprana y el contexto social, por lo tanto, la evidencia científica avala modelos explicativos multifactoriales que incorporan componentes biológicos, psicológicos y ambientales para entender la conducta criminal (1,5,11,18).

Contribuciones a la multidisciplinaria criminología de perfil

Los resultados demuestran que la incorporación de conocimientos provenientes de la neurociencia ha fortalecido significativamente la criminología moderna mientras que los modelos tradicionales se centraban principalmente en la escena del crimen y el análisis conductual, los enfoques actuales integran variables neuropsicológicas, psicopatológicas y criminológicas para entender de forma más precisa los patrones de comportamiento, las motivaciones criminales y el riesgo de reincidencia (24–26).

De igual manera, la integración de la neurociencia, la psicología clínica y la criminología permite diseñar estrategias preventivas y programas de intervención individualizados, y aporta herramientas científicas para mejorar la evaluación pericial, la rehabilitación y la reinserción social de personas que presentan conductas delictivas; el análisis de la evidencia apoya la incorporación de variables neurobiológicas y psicológicas como complemento del análisis criminológico tradicional.

Tabla 4. Principales hallazgos identificados en la revisión.

Categoría	Principales hallazgos	Implicaciones criminológicas
Desregulaciones neuroquímicas	Alteraciones en serotonina, dopamina y MAOA incrementan la vulnerabilidad a conductas impulsivas y agresivas.	Mejor comprensión de factores biológicos de riesgo.
Rasgos psicopatológicos	Impulsividad, psicopatía, baja empatía y desenganche moral se asocian con diferentes formas de conducta delictiva.	Fortalecimiento de la evaluación psicológica forense.
Integración neurobiológica-psicológica	La conducta delictiva resulta de la interacción entre factores biológicos, psicológicos y ambientales.	Desarrollo de modelos explicativos multidisciplinarios.
Perfilación criminal	La incorporación de variables neurocientíficas mejora la caracterización del comportamiento delictivo.	Optimización de la investigación criminal y de la evaluación del riesgo.

Fuente: *Elaboración propia con base en los estudios incluidos en la revisión.*

En conjunto, los resultados evidencian que la comprensión de la conducta delictiva requiere integrar factores neuroquímicos, psicológicos y criminológicos dentro de un enfoque multidisciplinario, lo que proporciona bases científicas para fortalecer la perfilación criminal y el desarrollo de estrategias preventivas e intervenciones individualizadas.

DISCUSIÓN

Esta revisión narrativa integradora confirma que la conducta delictiva es un fenómeno multifactorial y su comprensión requiere la integración de los factores neurobiológicos, psicológicos, sociales y ambientales. Los resultados obtenidos muestran que las desregulaciones neuroquímicas y los rasgos psicopatológicos no operan de forma aislada, sino que interactúan dinámicamente con experiencias de vida y condiciones contextuales, favoreciendo diferentes niveles de vulnerabilidad hacia la conducta antisocial; estos hallazgos respaldan los planteamientos contemporáneos de la neurocriminología, que proponen superar las explicaciones unidimensionales del delito y adoptar modelos biopsicosociales capaces de explicar la complejidad del comportamiento humano (1–5).

Uno de los hallazgos principales de esta revisión fue identificar la relevancia de los sistemas serotoninérgico y dopaminérgico y de la enzima monoamino oxidasa (MAOA) en procesos relacionados con la regulación emocional, el control inhibitorio y la toma de decisiones, la evidencia revisada indica que las alteraciones en estos sistemas incrementan la susceptibilidad a respuestas impulsivas y conductas agresivas, especialmente cuando coexisten antecedentes de maltrato infantil, violencia familiar, consumo de sustancias psicoactivas u otras condiciones de vulnerabilidad psicosocial (6–10); estos resultados, sin embargo, no deben interpretarse desde una perspectiva determinista, pues la presencia de alteraciones neuroquímicas no implica, por sí

sola, la aparición de conductas delictivas, sino que representa un factor de riesgo cuya expresión depende de la interacción con variables ambientales y psicológicas.

Desde el punto de vista psicológico, la revisión confirma que la impulsividad, la psicopatía, la baja empatía, los rasgos de insensibilidad emocional y el desenganche moral son variables relevantes para entender la conducta delictiva, estos rasgos, según varios estudios, afectarían los procesos de autorregulación, facilitarían la adopción de conductas agresivas y aumentarían el riesgo de reincidencia (11–19); no obstante, la evidencia también sugiere que la psicopatía es un constructo heterogéneo, por lo que la evaluación clínica y forense debe considerar las diferencias individuales, la historia de desarrollo, el funcionamiento neuropsicológico y el contexto social antes de hacer inferencias acerca del riesgo de violencia o reincidencia (17–24).

Otro aspecto importante que se identificó en esta revisión es la creciente incorporación de conocimientos neurocientíficos en los procesos de perfilación criminal multidisciplinaria, la criminología tradicional se basó en el análisis conductual y en la evidencia forense, los enfoques modernos, sin embargo, incorporan la información neuropsicológica, psicopatológica y criminológica para una mejor comprensión de las motivaciones criminales, los patrones conductuales y los factores que se relacionan con el riesgo de reincidencia (20–29); por ello, la incorporación de herramientas derivadas de la neurociencia ha de entenderse como un complemento del análisis criminológico y nunca como un sustituto de la valoración integral que realizan los profesionales del ámbito forense y judicial.

Los resultados obtenidos tienen importantes implicaciones para la criminología, las ciencias forenses y la formulación de políticas públicas, la comprensión de la interacción entre factores neurobiológicos y psicológicos puede contribuir al desarrollo de programas preventivos dirigidos a poblaciones en riesgo, así como al diseño de intervenciones terapéuticas individualizadas orientadas a disminuir la reincidencia y a favorecer procesos de reinserción social; asimismo, la integración de la neurociencia, la psicología clínica y la criminología fortalece los modelos contemporáneos de evaluación del riesgo, brindando herramientas científicamente fundamentadas para respaldar la investigación criminal y la toma de decisiones dentro del sistema de justicia (20–29).

Una de las principales fortalezas de este trabajo es la incorporación de evidencia científica de diferentes disciplinas, lo cual permitió la construcción de una visión amplia e interdisciplinaria de la conducta delictiva, la combinación de investigaciones recientes con estudios clásicos ampliamente reconocidos facilitó una interpretación contextualizada del estado actual del conocimiento sobre neurocriminología y perfilación criminal; sin embargo, el estudio tiene algunas limitaciones. Por tratarse de una revisión narrativa integradora, los trabajos incluidos presentan heterogeneidad metodológica, tanto en diseño como en población e instrumentos de evaluación, lo cual dificulta la comparación directa de los resultados, de igual forma, gran parte de las pruebas provienen de estudios realizados en Europa y Norteamérica, siendo aún escasa la producción

científica latinoamericana en relación con este tema, otra limitación se refiere al posible sesgo de publicación, ya que los estudios con resultados estadísticamente significativos tienen una mayor probabilidad de ser publicados que los que muestran resultados negativos o inconclusos (30–35).

En conjunto, la evidencia analizada apoya la consolidación de modelos interdisciplinarios para el estudio de la conducta delictiva, donde la integración entre neurociencia, psicología, criminología y ciencias forenses representa una herramienta prometedora para mejorar la evaluación del riesgo, orientar estrategias preventivas y fortalecer los procesos de investigación criminal y rehabilitación social; los resultados obtenidos aportan fundamentos científicos que favorecen el desarrollo de modelos de perfilación criminal multidisciplinaria sustentados en evidencia y contribuyen al fortalecimiento de la investigación criminológica contemporánea (1-35).

CONCLUSIONES

La presente revisión narrativa integradora permitió constatar que la conducta delictiva es un fenómeno complejo que requiere un abordaje multidisciplinario que incluya conocimientos provenientes de la neurociencia, la psicología clínica, la psiquiatría, la criminología y las ciencias forenses, la evidencia científica analizada muestra que las desregulaciones neuroquímicas, especialmente las relacionadas con los sistemas serotoninérgico y dopaminérgico y la enzima monoamino oxidasa (MAOA), están implicadas en procesos relacionados con la regulación emocional, el control inhibitorio y la toma de decisiones, sin embargo, estos factores no deben concebirse como causas determinantes de la conducta, sino como condiciones de vulnerabilidad cuya expresión depende de la interacción con factores psicológicos, familiares, sociales y ambientales.

La revisión confirma, asimismo, que son rasgos psicopatológicos relevantes para comprender la conducta antisocial y delictiva la impulsividad, la psicopatía, la baja empatía y el desenganche moral, la combinación de estos elementos con la evidencia neurobiológica potencia los modelos actuales de perfilación criminal multidisciplinaria, proporcionando una visión más amplia de los factores de riesgo, las motivaciones delictivas y la probabilidad de reincidencia, en este sentido, los hallazgos respaldan la necesidad de incorporar modelos de evaluación integral que consideren de forma conjunta factores biológicos, psicológicos y sociales, a fin de orientar estrategias preventivas, intervenciones terapéuticas individualizadas y procesos de rehabilitación sustentados en evidencia científica.

Por último, este estudio ofrece una actualización de la información existente acerca de la relación entre las desregulaciones neuroquímicas, los rasgos psicopatológicos y las conductas delictivas, y muestra la necesidad de impulsar la investigación interdisciplinaria, sobre todo en América Latina, donde aún es escasa la producción científica en neurocriminología; se recomienda que en futuras investigaciones se realicen estudios longitudinales, revisiones sistemáticas y metaanálisis que

profundicen en la interacción entre factores neurobiológicos, psicológicos y sociales, incluyendo también a las poblaciones latinoamericanas y variables culturales, jurídicas y contextuales, del mismo modo, se hace necesario promover la cooperación entre investigadores, profesionales de la salud mental, expertos en ciencias forenses y operadores del sistema de justicia, con la finalidad de facilitar la transferencia del conocimiento científico a la práctica profesional y al diseño de políticas públicas basadas en la evidencia.

DECLARACIÓN DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses de tipo financiero, personal, profesional, académico o institucional en relación con la presente investigación, manifiestan, además, que el estudio no contó con financiamiento externo y se desarrolló con independencia científica, respetando los principios de integridad académica, transparencia y ética en la investigación y publicación científica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Glenn AL, Raine A. Neurocriminology: implications for the punishment, prediction and prevention of criminal behaviour. *Nat Rev Neurosci.* 2014;15(1):54-63. doi:10.1038/nrn3640.
2. Ling S, Umbach R, Raine A. Biological explanations of criminal behavior. *Psychol Crime Law.* 2019;25(6):626-640. doi:10.1080/1068316X.2019.1572753.
3. Moffitt TE. Adolescence-limited and life-course-persistent antisocial behavior: a developmental taxonomy. *Psychol Rev.* 1993;100(4):674-701. doi:10.1037/0033-295X.100.4.674.
4. Caspi A, McClay J, Moffitt TE, Mill J, Martin J, Craig IW, et al. Role of genotype in the cycle of violence in maltreated children. *Science.* 2002;297(5582):851-854. doi:10.1126/science.1072290.
5. Rhee SH, Waldman ID. Genetic and environmental influences on antisocial behavior: a meta-analysis of twin and adoption studies. *Psychol Bull.* 2002;128(3):490-529. doi:10.1037/0033-2909.128.3.490.
6. Yang Y, Raine A. Prefrontal structural and functional brain imaging findings in antisocial, violent, and psychopathic individuals: a meta-analysis. *Psychiatry Res.* 2009;174(2):81-88. doi:10.1016/j.psychres.2009.03.012.
7. Raine A. *The anatomy of violence: the biological roots of crime.* New York: Pantheon Books; 2013.
8. Glenn AL, Johnson AK, Raine A. Antisocial personality disorder: a current review. *Curr Psychiatry Rep.* 2013;15(12):427. doi:10.1007/s11920-013-0427-7.

9. Byrd AL, Manuck SB. MAOA, childhood maltreatment, and antisocial behavior: meta-analysis of a gene-environment interaction. *Biol Psychiatry*. 2014;75(1):9-17. doi:10.1016/j.biopsych.2013.05.004.
10. Mentis AFA, Dardiotis E, Katsouni E, Chrousos GP. From warrior genes to translational solutions: novel insights into monoamine oxidases (MAOs) and aggression. *Transl Psychiatry*. 2021;11(1):130. doi:10.1038/s41398-021-01257-2.
11. Seo D, Patrick CJ, Kennealy PJ. Role of serotonin and dopamine system interactions in the neurobiology of impulsive aggression and its comorbidity with other clinical disorders. *Aggress Violent Behav*. 2008;13(5):383-395. doi:10.1016/j.avb.2008.06.003.
12. Duke AA, Bègue L, Bell R, Eisenlohr-Moul T. Revisiting the serotonin-aggression relation in humans: a meta-analysis. *Psychol Bull*. 2013;139(5):1148-1172. doi:10.1037/a0031544.
13. Siever LJ. Neurobiology of aggression and violence. *Am J Psychiatry*. 2008;165(4):429-442. doi:10.1176/appi.ajp.2008.07111774.
14. Coccaro EF. Serotonin and impulsive aggression. *CNS Spectr*. 2015;20(3):295-302. doi:10.1017/S1092852915000310.
15. Buckholtz JW, Treadway MT, Cowan RL, Woodward ND, Benning SD, Li R, et al. Mesolimbic dopamine reward system hypersensitivity in individuals with psychopathic traits. *Nat Neurosci*. 2010;13(4):419-421. doi:10.1038/nn.2510.
16. Ficks CA, Waldman ID. Candidate genes for aggression and antisocial behavior: a meta-analysis of association studies of the 5HTTLPR and MAOA-uVNTR. *Behav Genet*. 2014;44(5):427-444. doi:10.1007/s10519-014-9661-y.
17. Glenn AL, Raine A. The neurobiology of psychopathy. *Psychiatr Clin North Am*. 2008;31(3):463-475. doi:10.1016/j.psc.2008.03.004.
18. Blair RJR. The neurobiology of psychopathic traits in youths. *Nat Rev Neurosci*. 2013;14(11):786-799. doi:10.1038/nrn3577.
19. Blair RJR, Leibenluft E, Pine DS. Conduct disorder and callous-unemotional traits in youth. *N Engl J Med*. 2014;371(23):2207-2216. doi:10.1056/NEJMr1315612.
20. Gao Y, Raine A. Successful and unsuccessful psychopaths: a neurobiological model. *Behav Sci Law*. 2010;28(2):194-210. doi:10.1002/bsl.924.
21. Reidy DE, Kearns MC, DeGue S. Reducing psychopathic violence: a review of the treatment literature. *Aggress Violent Behav*. 2013;18(5):527-538. doi:10.1016/j.avb.2013.07.008.
22. Waller R, Hyde LW, Grabel AS, Alves ML, Olson SL. Differential associations of early callous-unemotional, oppositional, and ADHD behaviors: multiple domains within early-starting conduct problems? *J Child Psychol Psychiatry*. 2015;56(6):657-666. doi:10.1111/jcpp.12326.
23. Waller R, Wagner NJ, Flom M, Ganiban J, Saudino KJ. A meta-analysis of the associations between callous-unemotional traits and empathy, prosociality, and guilt. *Clin Psychol Rev*. 2020;75:101809. doi:10.1016/j.cpr.2019.101809.
24. Gillespie SM, Jones A, Garofalo C. Psychopathy and dangerousness: an umbrella review and meta-analysis. *Clin Psychol Rev*. 2023;100:102240. doi:10.1016/j.cpr.2022.102240.

25. Petherick W, Brooks N. Reframing criminal profiling: a guide for integrated practice. *Psychiatry Psychol Law*. 2021;28(5):694-710. doi:10.1080/13218719.2020.1837030.
26. Turvey BE. Criminal profiling: an introduction to behavioral evidence analysis. 4th ed. San Diego: Academic Press; 2011.
27. Kocsis RN. Criminal profiling: principles and practice. Totowa: Humana Press; 2006.
28. Canter D. Offender profiling and criminal differentiation. *Leg Criminol Psychol*. 2000;5(1):23-46. doi:10.1348/135532500167958.
29. Alison L, Bennell C, Mokros A, Ormerod D. The personality paradox in offender profiling: a theoretical review of the processes involved in deriving background characteristics from crime scene actions. *Psychol Public Policy Law*. 2002;8(1):115-135. doi:10.1037/1076-8971.8.1.115.
30. Baethge C, Goldbeck-Wood S, Mertens S. SANRA—a scale for the quality assessment of narrative review articles. *Res Integr Peer Rev*. 2019;4:5. doi:10.1186/s41073-019-0064-8.
31. Ferrari R. Writing narrative style literature reviews. *Med Writ*. 2015;24(4):230-235. doi:10.1179/2047480615Z.000000000329.
32. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n71. doi:10.1136/bmj.n71.
33. Snyder H. Literature review as a research methodology: an overview and guidelines. *J Bus Res*. 2019;104:333-339. doi:10.1016/j.jbusres.2019.07.039.
34. Grant MJ, Booth A. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Info Libr J*. 2009;26(2):91-108. doi:10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x.
35. Green BN, Johnson CD, Adams A. Writing narrative literature reviews for peer-reviewed journals: secrets of the trade. *J Chiropr Med*. 2006;5(3):101-117. doi:10.1016/S0899-3467(07)60142-6.

DETECCIÓN EN TIEMPO REAL DE PAQUETES DEFECTUOSOS EN LÍNEAS DE PRODUCCIÓN DE PAPEL HIGIÉNICO MEDIANTE REDES NEURONALES CONVOLUCIONALES POR ANÁLISIS DE CUADRANTES

REAL – TIME DETECTION OF DEFECTIVE PACKAGES IN TOILET PAPER PRODUCTION LINES USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS BY QUADRANT ANALYSIS

Israel Rodrigo Hoyos Borja¹, Marlon Danilo Basantes Valverde²

{hoyosisrael2015@gmail.com¹, mbasantes@unach.edu.ec²}

Fecha de recepción: 07/07/2026 / Fecha de aceptación: 24/07/2026 / Fecha de publicación: 05/08/2026

RESUMEN: Los rollos de papel higiénico son un producto de alta producción y comercialización en la industria ecuatoriana; la ausencia de rollos dentro de un paquete en una línea de producción genera pérdidas operativas. El presente artículo propone la implementación de un sistema de visión artificial basado en redes neuronales convolucionales con transfer learning sobre MobileNetV2, orientado a la detección automática de paquetes de papel higiénico en una jornada laboral. El núcleo metodológico presenta un enfoque de clasificación por cuadrantes de tres filas por dos columnas, lo que permite analizar individualmente los seis rollos que componen cada cuadrante. A partir de 100 imágenes originales, se construyó un conjunto de imágenes de 572 cuadrantes etiquetados, con una distribución balanceada. El modelo entrenado alcanzó un desempeño satisfactorio con una métrica de AUROC igual a 0.9978 y una exactitud del 97% en la validación durante el entrenamiento. Durante la fase de validación en condiciones representativas de producción y en un ambiente controlado, se diseñaron tres escenarios: uno con datos completamente defectuosos, otro con datos totalmente conformes y un tercero con selección aleatoria. Estos escenarios se ejecutaron mediante 38 simulaciones, número que corresponde a la capacidad productiva diaria (38 tirajes). En total, se analizaron 1996 imágenes, obteniendo resultados sobresalientes en recall de 1.00 y precisión de 1.00. Se realizó un análisis estadístico donde se obtuvo $p < 0.000001$, lo cual corroboró que el número de defectos detectados por el modelo

¹Universidad Nacional de Chimborazo, (UNACH) Dirección de Posgrado, Programa de Maestría en Matemática aplicada con mención en Matemática Computacional, <https://orcid.org/0009-0004-9333-3257>.

²Universidad Nacional de Chimborazo, (UNACH) Facultad de Ciencias, Escuela de Telecomunicaciones, grupo de Investigación GI(CT), <https://orcid.org/0000-0001-6011-1659>

coincide exactamente con el número real de defectos introducidos, validando con un nivel de confianza del 95%.

Palabras clave: *Redes neuronales convolucionales, MobileNetV2, Detección de defectos, Control de calidad industrial y Clasificación por cuadrantes*

ABSTRACT: Toilet paper rolls are a mass-produced and widely commercialized product in the Ecuadorian industry; the absence of rolls within a package on a production line generates operational losses. This article proposes the implementation of a computer vision system based on convolutional neural networks using transfer learning with MobileNetV2, aimed at the automatic detection of toilet paper packages during a work shift. The methodological core presents a quadrant-based classification approach with a three-row by two-column grid, allowing for the individual analysis of the six rolls that make up each quadrant. Based on 100 original images, a dataset of 572 labeled quadrants was constructed with a balanced distribution. The trained model achieved satisfactory performance with an AUROC metric of 0.9978 and 97% accuracy during training validation. During the validation phase, under representative production conditions and in a controlled environment, three scenarios were designed: one with completely defective data, another with totally conforming data, and a third with random selection. These scenarios were executed through 38 simulations, a number corresponding to the daily production capacity (38 runs). A total of 1996 images were analyzed, obtaining outstanding results with a recall and precision of 1.00. A statistical analysis was performed, obtaining $p < 0.000001$, which corroborated that the number of defects detected by the model exactly matches the actual number of defects introduced, validating the results with a 95% confidence level.

Keywords: *Convolutional neural networks, MobileNetV2, Defect detection, Industrial quality control and Quadrant-based classification*

INTRODUCCIÓN

El papel higiénico es un producto de alta rotación, y la presencia de paquetes incompletos o con defectos de sellado compromete su calidad establecida por la NORMA INEN 1430 y genera pérdidas costosas. La inspección manual tardía de paquetes incompletos en líneas de empaquetamiento a velocidad constante genera retrasos y, además, el riesgo de que los productos lleguen al mercado ecuatoriano con paquetes faltantes (1,2).

Ante esta problemática, los sistemas de visión artificial han demostrado resultados superiores a la inspección manual en múltiples escenarios industriales, procesando imágenes en tiempo real con consistencia que supera el desempeño humano (3, 4, 5). Sin embargo, la mayoría de los

estudios requieren miles de imágenes para entrenar modelos robustos (1, 3, 6), lo que representa una barrera para empresas con acceso limitado a datos etiquetados.

La visión artificial comprende técnicas computacionales que permiten interpretar información visual del entorno. Un sistema de visión industrial integra una cámara de captura, un módulo de preprocesamiento y de la decisión basada en la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN 1430 y el Reglamento Técnico Ecuatoriano (RTE) INEN 132 que determina la conformidad del producto (2,7). OpenCV provee las primitivas de redimensionamiento, normalización y segmentación de imágenes en tiempo real (8).

Las CNN procesan datos con estructura espacial mediante operaciones de convolución, activación ReLU, pooling y capas densas. La pérdida de Binary Cross-Entropy para clasificación binaria se optimiza mediante el algoritmo Adam (9,10).

El transfer learning aprovecha representaciones aprendidas previamente para acelerar el entrenamiento con datos limitados. MobileNetV2 emplea convoluciones separables en profundidad y bloques residuales invertidos, preentrenada en ImageNet (11). En ambientes controlados, los filtros de bordes y texturas son transferibles al dominio de inspección (9,12).

Subdividir la imagen en regiones de interés y clasificar cada región independientemente reduce la varianza del problema, aumenta el número efectivo de muestras y permite localizar espacialmente el defecto (13).

El aumento excesivo sobre un conjunto base reducido puede inducir un sesgo de distribución sintética, donde la red memoriza transformaciones sin aprender representaciones genuinas (14,15). El reequilibrio natural de clases evita técnicas agresivas de sobremuestreo (16,17).

La pregunta científica que orienta el estudio es: ¿Cómo contribuirá el desarrollo de un sistema con visión artificial para la detección de paquetes defectuosos de empaquetado de papel higiénico a la calidad de su distribución al mercado?

El objetivo es diseñar un sistema de visión por cuadrantes basado en CNN para detectar paquetes defectuosos, entrenar el modelo de red neuronal con un conjunto de datos representativo de paquetes conformes y defectuosos y validar el sistema en condiciones reales de líneas de producción.

Esta investigación propone segmentar la imagen del paquete en cuatro cuadrantes, cada uno con una subgrilla de 3 filas $\times$ 2 columnas de rollos (6 rollos por cuadrante), lo que simplifica el problema de clasificación, multiplica el número de muestras reales y genera un dataset naturalmente balanceado (13).

MATERIALES Y MÉTODOS

La estrategia es de carácter cuasi-experimental, se basa en las condiciones reales de funcionamiento de la línea de producción en una jornada. Un tiraje produce 38 unidades, equivalentes a un paquete de 24 rollos. De acuerdo con los criterios de control de calidad establecidos, se debe inspeccionar un mínimo de 30 unidades por lote. Este proceso de revisión tiene una duración cercana a 40 segundos por lote, lo que corresponde a aproximadamente 0.66 minutos.

En este tiempo, la revisión de un tiraje completo de 38 unidades, implica alrededor de 25.33 minutos, lo que corresponde aproximadamente a 0.4222 horas. Si se considera un esquema laboral de dos turnos diarios de 8 horas cada uno (16 horas en total), se puede estimar que el sistema permite procesar aproximadamente 38 tirajes por día (resultado de dividir 16 horas entre 0.4222 horas por tiraje).

Los valores mencionados se sintetizan en la Tabla 1 y sirven como base para definir, por un lado, el tamaño de las muestras empleadas en cada validación (entre 31 y 38 imágenes) y, por otro, el número total de simulaciones realizadas. En este sentido, se ejecutan 38 repeticiones en el escenario de validación aleatoria, lo cual permite reproducir de manera coherente el comportamiento del sistema a lo largo de una jornada completa de producción.

Tabla 1. Justificación operativa del número de tirajes diarios (38) usado en el diseño experimental.

Parámetros	Valor
Unidades por tiraje	38 unidades (24 rollos cada uno)
Tiempo de inspección por tiraje	Aprox. 40 segundos (0.66 min)
Tiempo total de inspección (lote control)	25.33 min equivalente a 0.4222 h (30 unidades)
Jornada laboral	Dos turnos diarios de 8 h (16 horas)
Tirajes por jornada	Aprox. 38 tirajes por día
Producción diaria estimada	34656 ternas = 103968 rollos por día

Según la Tabla 1, el procesamiento diario de 38 tirajes equivale a inspeccionar un volumen de 103968 rollos de papel higiénico individuales. Estas cifras permiten dimensionar el alto volumen de trabajo que se debe gestionar en el sistema de inspección automática, el cual necesita mantener un desempeño estable y confiable a lo largo de toda la jornada de 16 horas.

Cada imagen completa fue segmentada en 4 cuadrantes (cuadrícula 2×2), cada uno con 3 filas y 2 columnas, es decir, 6 rollos por cuadrante). Para preservar la proporción real, cada imagen fue redimensionada a 448×672 px antes del corte, generando cuadrantes de 224×336 px escalados a 224×224 px para MobileNetV2. La clasificación del paquete completo se obtuvo como: paquetes conformes y, en caso contrario, paquetes defectuosos.

Cada una de las 100 imágenes originales fue segmentada en 4 cuadrantes, obteniendo 400 cuadrantes. Posteriormente se logró descartar manualmente cuadrantes no representativos, aquellos en los que no se evidenciaban los 6 rollos por cuadrante; se conservaron 143 cuadrantes base (80 conformes y 63 defectuosos). Sobre estos se aplicaron 4 transformaciones geométricas (original, rotación, espejo horizontal y espejo vertical), generando un conjunto final de 572 cuadrantes etiquetados (320 conformes y 252 defectuosos), que presentó una ratio de 1.27:1, prácticamente balanceada (18).

La arquitectura implementada con MobileNetV2 preentrenada en base de imágenes de ImageNet. El procesamiento se estructuró mediante una capa de agrupación global promedio (GlobalAveragePooling2D), seguida por capas densas conectadas con la función de activación ReLU. Para mitigar el sobreajuste, se configuraron con tasas de descarte (Dropout) de 0.4 y 0.3 respectivamente y finalmente se empleó la capa densa con activación Sigmoid.

El proceso de entrenamiento se ejecutó en dos etapas:

- Primera etapa: Consistió en tasa de aprendizaje $= 1 \times 10^{-4}$ durante 10 épocas
- Segunda etapa: fine-tuning (tasa de aprendizaje $= 1 \times 10^{-5}$, últimas 30 capas, EarlyStopping monitoreando val_recall).

Se diseñaron tres escenarios de validación sobre lotes de 31 a 38 imágenes (P1 a P8), compuestos por 30 imágenes conformes fijas más N imágenes adicionales:

- Validación 1: con N imágenes exclusivamente defectuosas (1 a 8)
- Validación 2: con N imágenes exclusivamente conformes (1 a 8)
- Validación 3: Se realizaron 38 simulaciones independientes (S01–S38) en las cuales N imágenes adicionales fueron seleccionadas de manera aleatoria a partir de un conjunto de 40 imágenes conformadas por 20 casos conformes y 20 defectuosos. Este procedimiento busca reproducir la variabilidad presente en los 38 tirajes que se generan diariamente en la producción real.

Para la evaluación del desempeño del modelo se consideraron los indicadores accuracy, precisión $= \frac{TP}{TP+FP}$, recall $= \frac{TP}{TP+FN}$, F1, así como las áreas bajo las curvas AUC-ROC y AUC-PR.

Adicionalmente, en el escenario de validación con selección aleatoria, se empleó la prueba no paramétrica de Wilcoxon de rangos de signo (19). Esta prueba permitió contrastar la hipótesis nula H_0 : el desempeño del modelo es menor o igual al observado en condiciones reales, frente a la hipótesis alternativa H_1 : el modelo presenta un desempeño superior, utilizando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$

RESULTADOS

Composición del dataset: El conjunto de datos final, compuesto por 572 cuadrantes, se dividió siguiendo una proporción 80/20 para los subconjuntos de entrenamiento y prueba (véase Tabla 2). Esta partición dio lugar a una relación de clases cercana a 1.27:1, lo que indica una distribución prácticamente equilibrada entre las categorías analizadas.

Tabla 2. Distribución de cuadrantes por conjunto.

Conjunto	Conformes	Defectuosos	Total	Proporción
Entrenamiento	256	202	458	80%
Validación	64	50	114	20%
Total	320	252	572	100%

Como se ilustra en la Figura 1, se presenta una distribución del conjunto de datos, conformado por 320 cuadrantes clasificados como conformes (55.9%) y 252 catalogados como defectuosos (44.1%). Esta composición corresponde a una relación cercana a 1.27:1, lo que refleja un equilibrio adecuado entre las clases y hace no necesario aplicar técnicas de sobremuestreo.

Figura 1. Distribución del Dataset de Cuadrantes
(3 filas × 2 columnas = 6 rollos por cuadrante)

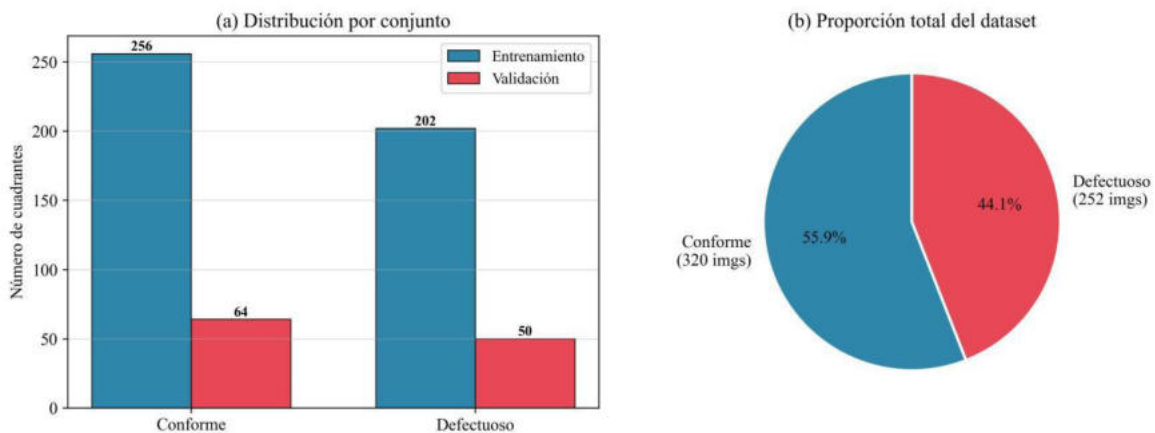


Figura 1. Distribución de cuadrantes: (a) por conjunto entrenamiento y validación, (b) proporción total.

Entrenamiento y métricas de evaluación: Durante la primera fase, que contempló 10 épocas con una tasa de aprendizaje de 1×10^{-4} , el modelo alcanzó un *val_accuracy* y *val_recall* de 97.37%. Posteriormente, en la Fase 2 de ajuste fino (*fine-tuning*), el uso de la estrategia *EarlyStopping* evidenció una convergencia en la época 8, confirmando que la arquitectura base MobileNetV2 había logrado transferir representaciones suficientemente discriminativas para la tarea.

La evaluación final realizada sobre el conjunto de validación compuesto por 114 cuadrantes, presentó los resultados según la Tabla 2.

Tabla 2. Métricas de evaluación del modelo por clase ($n = 114$).

Clase	Precisión	Recall	F1-Score	Soporte
Conforme	0.97	0.98	0.98	64
Defectuoso	0.98	0.96	0.97	50
Promedio ponderado	0.97	0.97	0.97	114
AUC-ROC	—	—	0.9978	—
AUC-PR	—	—	0.9973	—

La Figura 2 muestra la matriz de confusión donde el modelo clasificó correctamente 63 de los 64 cuadrantes conformes ($FP = 1$), mientras que 48 de las 50 eran defectuosos ($FN = 2$). Esto evidencia un margen de error global de apenas el 2.6% para todo el conjunto de prueba.

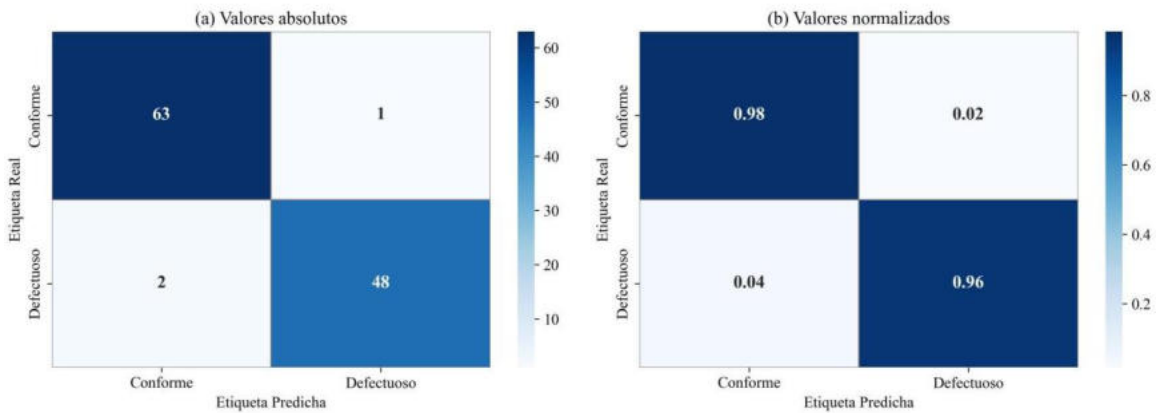


Figura 2. Matriz de confusión del modelo 3x2 donde literales: (a) valores absolutos y (b) valores normalizados.

Los gráficos estadísticos presentados en la Figura 3. Valores de 0.9978 para AUC-ROC y de 0.9973 para AUC-PR confirman la capacidad discriminativa excepcional. El umbral óptimo de entrenamiento (0.7641) se calibró a 0.5500 para producción real.

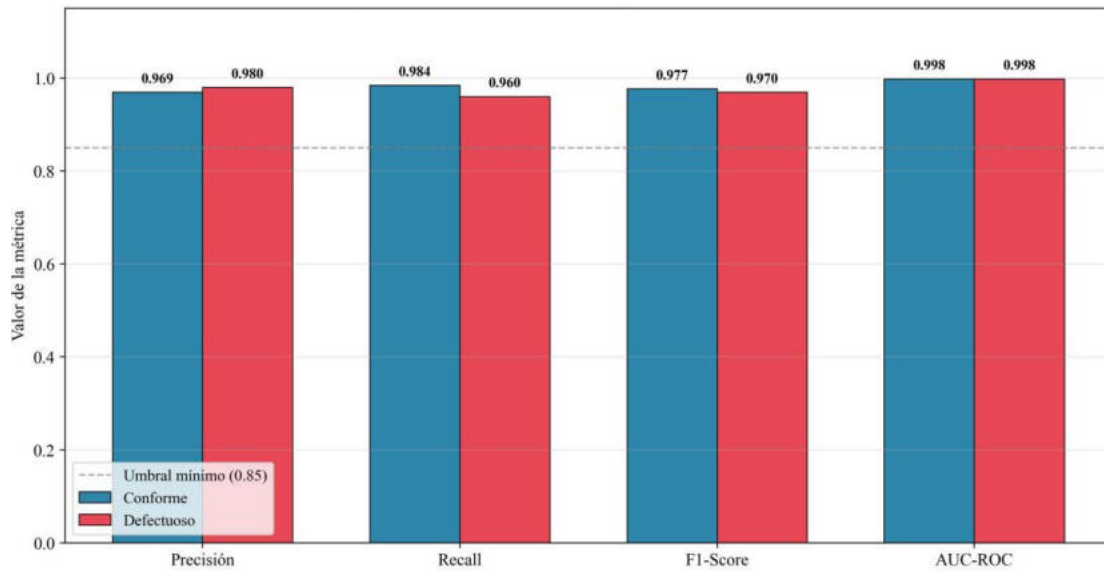


Figura 3. Métricas de evaluación por clase: precisión, recall, F1-Score y AUC-ROC para ambas clases.

Calibración del umbral de producción: La distribución de probabilidades sobre imágenes de producción evidenció separación perfecta de 0.17 a 0.53; defecto: 0.61 a 0.87. La Figura 4 muestra que con el umbral calibrado de 0.55 se alcanza Recall igual a 1.00 y Precisión de 1.00 simultáneamente, con $FP=FN=0$, mientras que el umbral de entrenamiento (0.7641) genera falsos negativos.

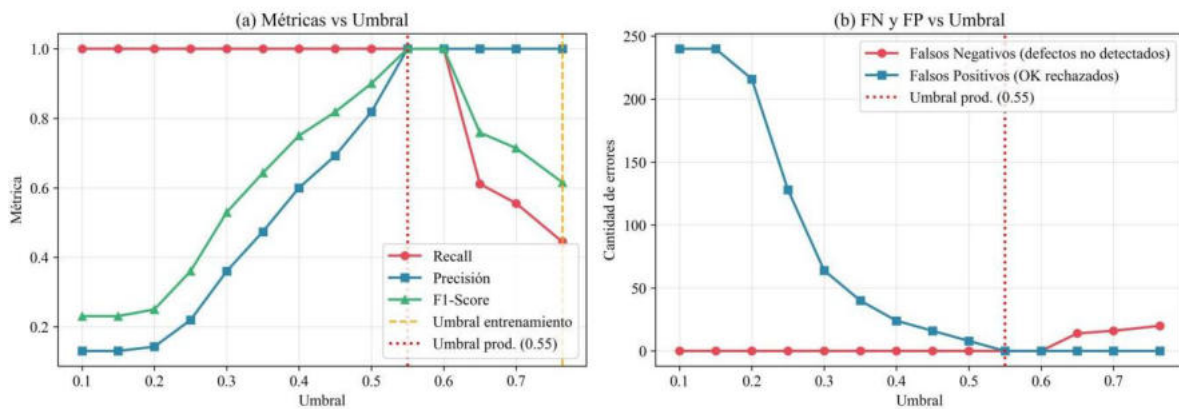


Figura 4. Calibración del umbral de clasificación para producción real: (a) métricas vs. umbral, (b) falsos negativos y positivos vs. Umbral.

Validación 1: Escenario con paquetes defectuosos exclusivamente

El primer escenario evaluó la detección cuando todas las imágenes adicionales a las 30 conformes fijas son defectuosas (1 a 8 por prueba, Tabla 3).

Tabla 3. Validación 1: resultados por prueba con paquetes defectuosos.

Prueba	Totales de imágenes	Defectuosas	TP	TN	FP	FN	Recall
prueba_1	31	1	1	30	0	0	1.00
prueba_2	32	2	2	30	0	0	1.00
prueba_3	33	3	3	30	0	0	1.00
prueba_4	34	4	4	30	0	0	1.00
prueba_5	35	5	5	30	0	0	1.00
prueba_6	36	6	6	30	0	0	1.00
prueba_7	37	7	7	30	0	0	1.00
prueba_8	38	8	8	30	0	0	1.00
TOTAL	276	36	36	240	0	0	1.00

El sistema identificó correctamente los 36 paquetes defectuosos ($TP = 36, FN = 0$) sin falsos positivos. Tal como se detalla en la Figura 5, se confirma el 100% de detección en las 8 pruebas (276 paquetes), con 36 defectuosos (13,0%) y 240 unidades en buen estado (87,0%).

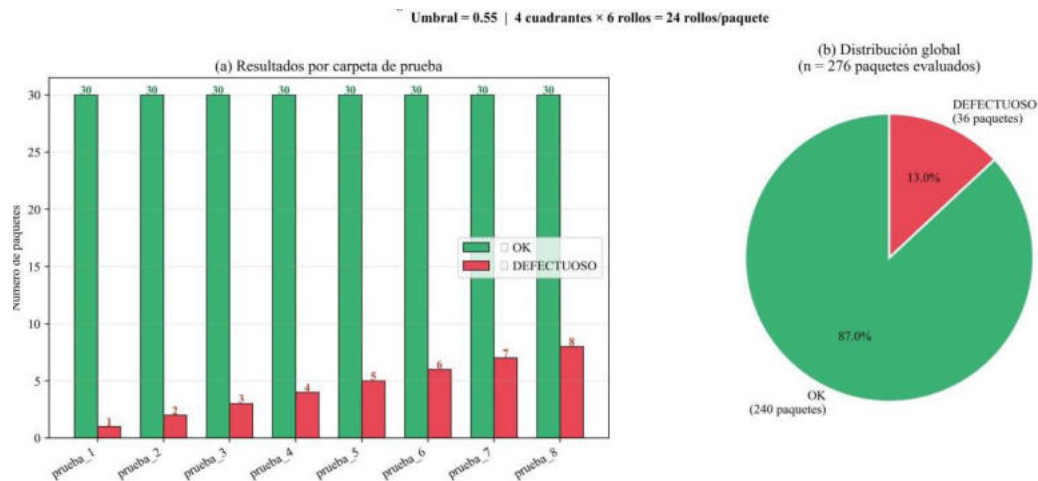


Figura 5. Resultados por prueba y distribución global (n = 276 paquetes).

Validación 2: Escenario con paquetes conformes exclusivamente

El segundo escenario evaluó la especificidad del sistema cuando todas las imágenes adicionales son conformes (Tabla 4).

Tabla 4. Validación 2: resultados por prueba con paquetes conformes.

Prueba	Totales de imágenes	Solo OK	TP	TN	FP	FN	Precisión
prueba_1	31	31	—	31	0	—	1.00
prueba_2	32	32	—	32	0	—	1.00
prueba_3	33	33	—	33	0	—	1.00
prueba_4	34	34	—	34	0	—	1.00
prueba_5	35	35	—	35	0	—	1.00
prueba_6	36	36	—	36	0	—	1.00
prueba_7	37	37	—	37	0	—	1.00
prueba_8	38	38	—	38	0	—	1.00
TOTAL	276	276	—	276	0	—	1.00

Respecto al segundo escenario, el sistema clasificó correctamente los 276 paquetes conformes (TN=276, FP=0). La Figura 6 confirma 100% de paquetes conformes (OK) sin ningún rechazo, con 0% de defectuosos detectados, garantizando que la eficiencia de la línea de producción no se ve comprometida por rechazos innecesarios.

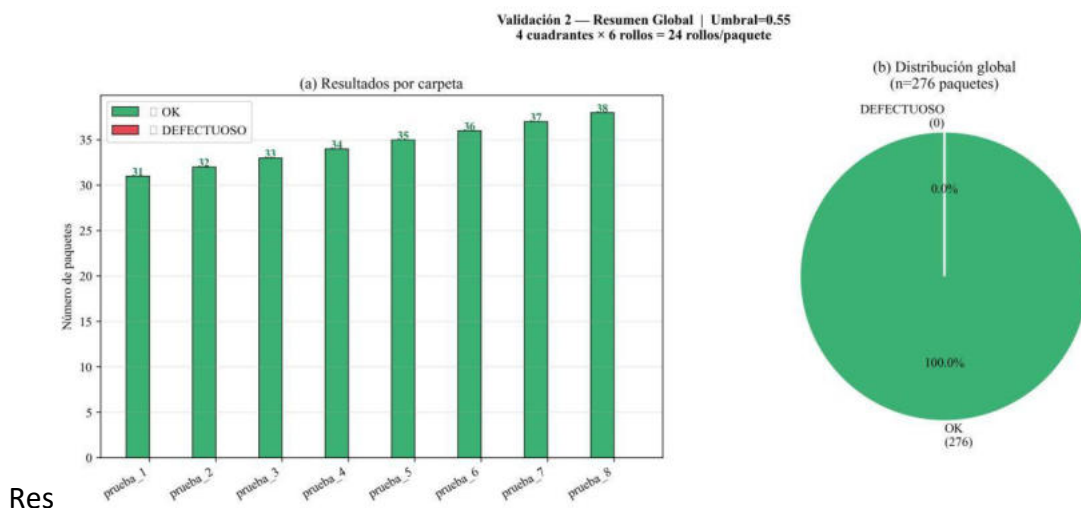


Figura 6. Resultados por prueba y distribución global paquetes, 100% OK).

Validación 3: Escenario aleatorio con 38 simulaciones

El tercer escenario, el más exigente, replicó los 38 tirajes diarios de producción mediante 38 simulaciones independientes (S01–S38). En cada simulación, las 8 imágenes adicionales de P8 se seleccionaron aleatoriamente de las imágenes de 40 (20 OK + 20 defectuosas), generando combinaciones distintas. La Figura 7 muestra la composición exacta de P8 en cada simulación: el

total se mantiene en 38 imágenes (30 fijas + 8 aleatorias), con una proporción variable de OK/defectuosas (panel b).

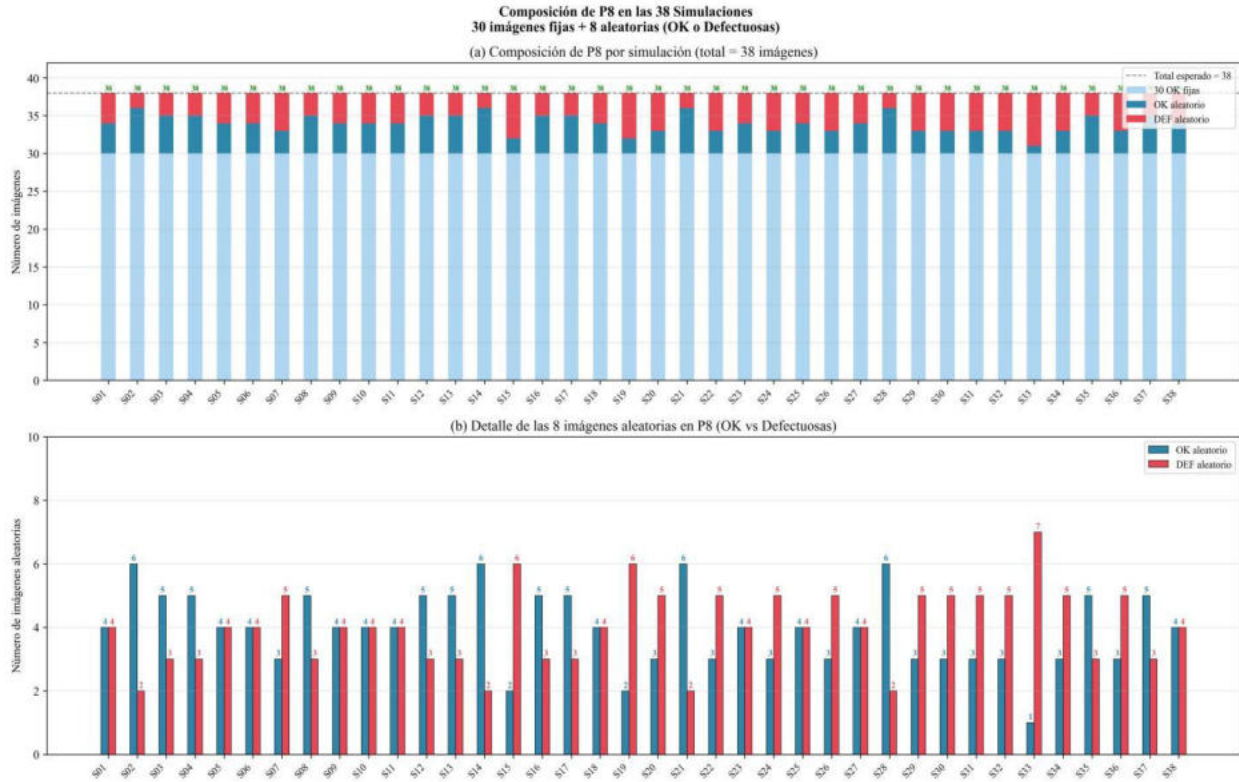


Figura 7. Composición de P8 en las 38 simulaciones: (a) total de 38 imágenes por simulación, (b) detalle OK vs. defectuosas aleatorias.

La Figura 8 presenta el mapa de calor del número de imágenes defectuosas por prueba (P1–P8) en cada una de las 38 simulaciones, evidenciando una distribución creciente y variable de 0 a 8 defectuosas que cubre ampliamente el espacio de combinaciones posibles.

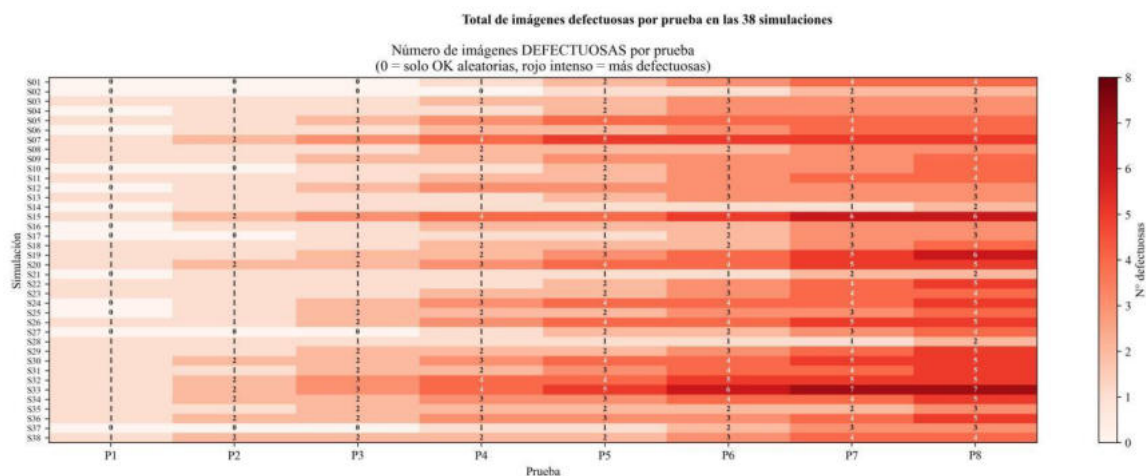


Figura 8. Mapa de calor del número de imágenes defectuosas por prueba (P1–P8) en las 38 simulaciones.

La Tabla 5 resume los resultados del experimento estadístico aplicado a las 38 simulaciones, comparando el número de defectuosas detectadas por el modelo frente al número real plantado (#Real) en cada simulación.

Tabla 5. Resultados del experimento estadístico — Validación 3 (38 simulaciones).

Métrica	Valor	Descripción
Simulaciones evaluadas	38	S01 a S38, cada una con P8 de 38 imágenes
Imágenes Aleatorias	30 fijas + 20 OK + 20 DEF	40 imágenes aleatorias disponibles por simulación
Simulaciones perfectas	38/38 (100%)	FP=0 y FN=0 en todas las simulaciones
Recall global	1.00	Todos los defectos detectados en las 38 simulaciones
Precisión global	1.00	Ningún paquete OK rechazado
Sumatoria Real	153	Totales de defectuosas plantadas en las 38 SIM (P8)
Sumatoria del Modelo	153	Totales de defectuosas detectadas por el modelo
Diferencia de media	0.0000	Modelo – Real, idéntica en cada simulación
Correlación r	1.0000	Correlación perfecta Modelo vs Real
Wilcoxon	W=0.0000 p<0.000001	Rechaza H ₀ por lo tanto H ₁ aceptada ($\alpha = 0.05$)

La Figura 6 confirma que Recall y Precisión se mantuvieron en 1.00 en las 38 simulaciones, sin falsos positivos ni negativos, con el 100% de simulaciones perfectas (38/38).

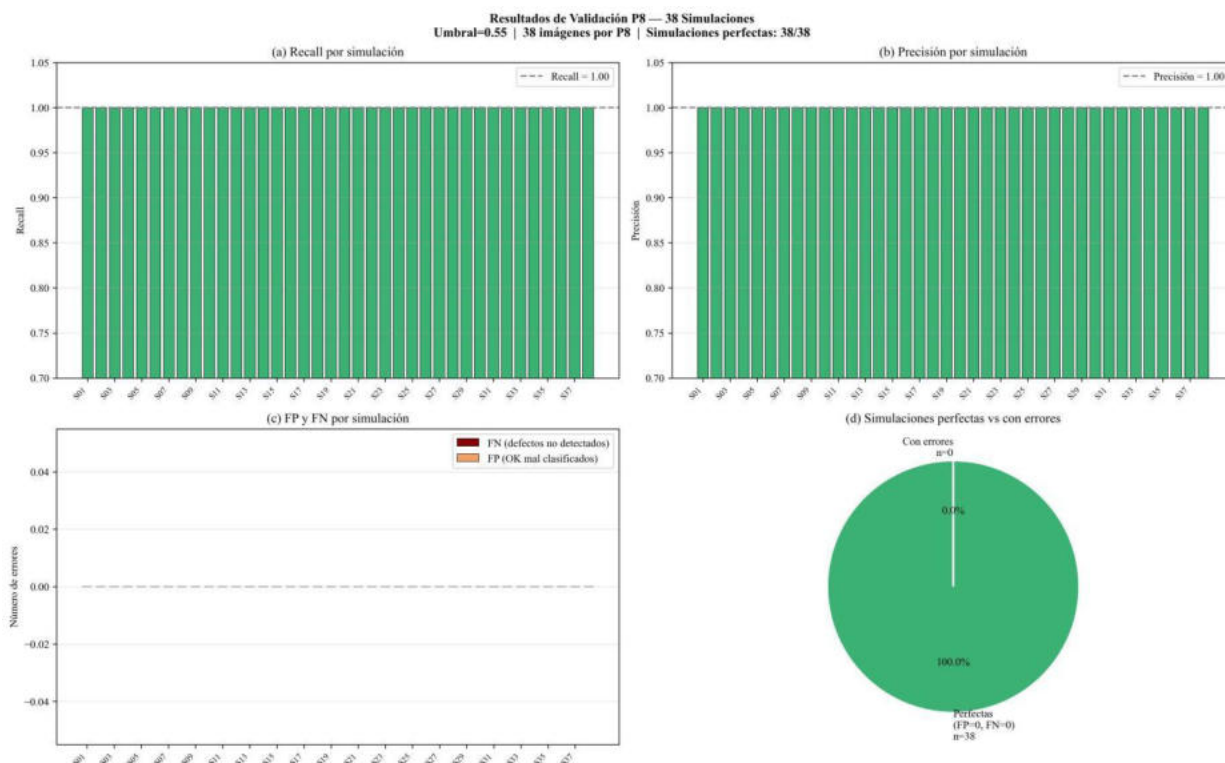


Figura 6. Resultados de validación P8 en las 38 simulaciones: (a) Recall por simulación, (b) Precisión por simulación, (c) FP y FN y (d) simulaciones perfectas vs con errores.

La sumatoria de defectuosas reales (Real=153) coincidió exactamente con la sumatoria detectada por el modelo (Modelo=153), con diferencia media de 0.0000 y correlación perfecta ($r = 1.0000$). La prueba de Wilcoxon de rangos con signo confirmó el rechazo de H_0 ($W = 0.0000, p < 0.000001$), aceptando H_1 : el modelo detecta consistentemente el número exacto de paquetes defectuosos plantados, validando estadísticamente al 95% de confianza la capacidad discriminativa del sistema.

Resumen comparativo de los tres escenarios de validación

Tabla 6. Comparación de los tres escenarios de validación del sistema.

Validación	n imágenes	Escenario	FP	FN	Recall y Precisión
Validación 1 (solo defectuosas)	276	P1 a P8 solo DEF	0	0	1.00
Validación 2 (solo OK)	276	P1 a P8 solo OK	0	—	1.00
Validación 3 (38 simulaciones aleatorias)	1444	30 fijas con (20 OK y 20 defectuosas)	0	0	1.00
TOTAL	1996	3 escenarios	0	0	1.00

La validación de los tres escenarios alcanzó de forma consistente Recall y Precisión iguales a 1.00, sin falsos positivos ni negativos en las 1996 imágenes acumuladas, lo que valida la robustez del sistema para su aplicación en la producción real.

DISCUSIÓN

El proceso metodológico partió de 100 imágenes originales; la segmentación en cuadrantes y la limpieza manual posterior conformaron un conjunto base de 143 imágenes representativas por cuadrante. Sobre este conjunto se aplicaron cuatro transformaciones geométricas (original, rotación, espejo horizontal y espejo vertical), generando un conjunto final de 572 cuadrantes etiquetados (320 conformes y 252 defectuosos), con una distribución prácticamente balanceada de 1.27: 1. Este enfoque permitió multiplicar el número de muestras y definir una tarea de clasificación más ordenada, centrada en verificar la presencia adecuada de seis rollos en cada cuadrante sin aplicar técnicas de sobremuestreo (13).

Tabla 9. Comparación con estudios relacionados de detección de defectos industriales.

Estudio	Arquitectura	Dataset	Accuracy	AUC-ROC
Sundaram & Zeid (2023)	ResNet50	Aprox 10000	96.0 %	0.971
Hou et al. (2024)	CNN custom	Aprox 5000	98.5 %	0.982
Mjahad & Rosado (2025)	ResNet50	Mayor a 140000	96.0 %	0.970
Presente estudio (2025)	MobileNetV2	572	97.0 %	0.9978

En el ámbito de la detección de defectos industriales, se observa que el presente estudio alcanza desempeños competitivos (20). Si se considera que se trabajó con un conjunto de datos mucho más reducido (572 cuadrantes) en comparación con otros estudios que emplean entre 5 000 y más de 140 000 imágenes, como se muestra en la Tabla 9 (3,6,21,22).

Este trabajo se ejecutó bajo un entorno controlado; esto contribuyó a reducir la variabilidad causada por factores externos. La estrategia de aprendizaje por transferencia (*transfer learning*) mediante MobileNetV2 (11) permitió aprovechar conocimientos previamente adquiridos por el modelo, optimizando el proceso de entrenamiento y el enfoque de segmentación por cuadrantes, que resultó una ventaja estructural al descomponer el problema en unidades más simples y homogéneas, lo que favoreció la estabilidad del modelo.

Durante el proceso de validación se realizó con 38 simulaciones; estas no responden a una elección aleatoria, sino que se encuentran vinculadas con la capacidad operativa diaria del sistema de producción. Este número representa, el máximo de tirajes que pueden procesarse en una jornada completa de 16 horas, considerando el tiempo requerido por cada unidad de inspección.

Desde el punto de vista metodológico, esto contribuye a la solidez de este estudio. Cada simulación representa un tiraje real dentro del proceso productivo. Dado el conjunto de 38 simulaciones, se presentan de manera consistente en condiciones de operación que el sistema enfrenta en la línea de producción, asegurando que los resultados obtenidos no solo sean estadísticamente sólidos, sino también representativos del contexto de la industria ecuatoriana.

El nivel de desempeño resulta importante y superior a los métodos tradicionales de inspección manual, en los cuales se reportan tasas de detección de errores que varían entre el 20% y el 30% (23). En este contexto, no haber registrado falsos positivos en los distintos escenarios presentados adquiere un valor significativo, ya que evita descartar innecesariamente productos que contribuyen a mantener la eficiencia operativa del sistema de producción.

Los resultados obtenidos son muy satisfactorios; sin embargo, es necesario reconocer algunas limitaciones durante este estudio: el conjunto de datos de imágenes se generó en condiciones controladas, utilizando una única configuración de captura de imágenes y la misma iluminación durante la jornada de producción. Esto implica que el modelo aún no ha sido puesto a prueba frente a la variabilidad de los entornos industriales reales y, por último, que el umbral de decisión definido podría requerir ajustes periódicos si cambian las condiciones del entorno, como la iluminación o la posición de los objetos. Considerando estos factores, será fundamental en futuras etapas asegurar el desempeño consistente del sistema.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos evidencian un comportamiento estable del modelo en los tres escenarios de validación analizados, evaluando un total de 1996 imágenes que simulan una jornada productiva completa de 38 tirajes. Bajo estas condiciones, el sistema alcanzó niveles óptimos de desempeño, con valores de recall y precisiones iguales a 1.00, sin evidenciar errores de clasificación.

Desde la metodología de este trabajo, se presentó un enfoque basado en la división de imágenes en cuadrantes, sobre el cual se entrenó un modelo MobileNetV2 utilizando 572 muestras con una distribución balanceada. Este modelo logró un AUC-ROC aproximado de 0.9978 y fue sometido a diferentes validaciones en tres condiciones: datos completamente defectuosos, completamente conformes y escenarios con selección aleatoria ajustados a la dinámica real de producción. Adicionalmente, se realizó un contraste estadístico mediante la prueba de Wilcoxon; p es menor que 0.000001, lo que respalda la capacidad del modelo para detectar con exactitud los defectos introducidos.

Este estudio destaca la aplicación de segmentación estructurada como estrategia para simplificar el aprendizaje del modelo, seguida de la definición del umbral de decisión (0.55), respaldada por

las condiciones controladas, la formulación de un esquema de validación alineado con la capacidad operativa diaria mediante 38 simulaciones, y la validación estadística de los resultados, que confirma la correspondencia entre las predicciones y los defectos reales observados.

Como líneas futuras, se plantea avanzar hacia la integración del sistema con un controlador lógico programable (PLC), lo que permitiría automatizar la separación de productos defectuosos en tiempo real, así como su implementación en plataformas de hardware embebido. Donde se considera pertinente extender esta metodología a otros procesos de empaquetado que presenten estructuras similares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hou M, Li P, Cheng S, Yv J. CNN-based defect detection in manufacturing. *Adv Control Appl Eng Ind Syst.* 2024;6(4):e196. doi:10.1002/ad2.196
2. Instituto Ecuatoriano de Normalización. NTE INEN 1430: Papeles y cartones. Papel higiénico. Requisitos [Internet]. 2a rev. Quito: INEN; 2015 [citado 2026 Jul 12]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/597487555/1430-NORMA-ECUATORIANA-PAPEL-HIGIENICO-REQUISITOS>
3. Hütten N, Alves Gomes M, Hölken F, Andricevic K, Meyes R, Meisen T. Aprendizaje profundo para la inspección visual automatizada en la fabricación y el mantenimiento: una revisión de artículos de acceso abierto. *Appl Syst Innov.* 2024;7(1):11. doi:10.3390/asi7010011
4. Zhou S, Yao S, Shen T, Wang Q. A novel end-to-end deep learning framework for chip packaging defect detection. *Sensors.* 2024;24(17):5837. doi:10.3390/s24175837
5. Lee J, Kim S, Park I. Computer-vision-based product quality inspection and novel counting system. *Appl Syst Innov.* 2024;7(6):127. doi:10.3390/asi7060127
6. Sundaram S, Zeid A. Artificial intelligence-based smart quality inspection for manufacturing. *Micromachines.* 2023;14(3):570. doi:10.3390/mi14030570
7. Subsecretaría de la Calidad. Reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 132 (1R): Productos absorbentes de papel [Internet]. Quito: Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca; 2019 [citado 2026 Mar 17]. Resolución N° 2019-068. Disponible en: <http://extranet.comunidadandina.org/sirt/sirtDocumentos/ECOTCP19090.pdf>
8. Zeng L, Wan F, Zhang B, Zhu X. Inspección visual automatizada para la detección y clasificación precisa de defectos en insertos de CBN. *Sensors.* 2024;24(23):7824. doi:10.3390/s24237824
9. Guan J, Fei J, Li W, Jiang X, Wu L, Liu Y, et al. Improving industrial quality control: a transfer learning approach to surface defect detection. *Sensors.* 2025;25(2):527. doi:10.3390/s25020527
10. Liu J, Wang C, Gao J, Guo C. Review of image classification algorithms based on convolutional neural networks. *Remote Sens.* 2021;13(22):4712. doi:10.3390/rs13224712

11. Sandler M, Howard A, Zhu M, Zhmoginov A, Chen LC. MobileNetV2: inverted residuals and linear bottlenecks. En: Proceedings CVPR; 2018. p. 4510-4520. doi:10.1109/CVPR.2018.00474
12. Abdul Majeed A, Ateeq M, Hu B, Isa W, Omar Z, Chen W. Feature-based transfer learning for IoT-enabled defect detection. En: Advances in Intelligent Manufacturing and Robotics. Singapore: Springer; 2024. p. 455-467. doi:10.1007/978-981-99-8498-5_36
13. Gour A, Bhanodia PK, Sethi KK, Rajput S. Novel framework for image classification based on a patch-based CNN model. En: Advances in Data and Information Sciences. Singapore: Springer; 2024. p. 235-245. doi:10.1007/978-981-99-6547-2_25
14. Shorten C, Khoshgoftaar TM. A survey on image data augmentation for deep learning. J Big Data. 2019;6(1):60. doi:10.1186/s40537-019-0197-0
15. Yang S, Xiao W, Zhang M, Guo S, Zhao J, Furao S. Image data augmentation for deep learning: a survey. ArXiv [Internet]. 2022 [citado 2026 Jul 12]; abs/2204.08610. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2204.08610>
16. Bochnak P, Kozłowski M. On-the-fly image-level oversampling for imbalanced datasets of manufacturing defects. Mach Learn. 2024;113:1245-1268. doi:10.1007/s10994-023-06498-4
17. Lango M, Stefanowski J. Effective class-imbalance learning based on SMOTE and convolutional neural networks. Appl Sci. 2023;13(6):4006. doi:10.3390/app13064006
18. Wu Z, Chen L. Image data augmentation techniques based on deep learning: a survey. Math Biosci Eng. 2024;21(3):272-295. doi:10.3934/mbe.2024272
19. García S, Herrera F, Luengo J. Pruebas no paramétricas avanzadas para comparaciones múltiples en el diseño de experimentos en inteligencia computacional y minería de datos. Inf Sci. 2023;620:634-660. doi:10.1016/j.ins.2022.11.076
20. Reddy KS, Prasad V. Using CNN for material surface quality inspection and classification. Int J Comput Intell Syst. 2025;18:951. doi:10.1007/s44196-025-00951-z
21. Bajaan L, Paladines J. Diseño e implementación de un prototipo clasificador de granos de cacao usando visión artificial y machine learning [tesis de grado]. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana; 2021.
22. Mjahad A, Rosado-Muñoz A. Robust industrial surface defect detection using statistical feature extraction and capsule network architectures. Sensors. 2025;25(19):6063. doi:10.3390/s25196063
23. Cheong LK, Hodgson AJ, Cheng AHC, Lee A, Wong A. SolderNet: hacia una inspección visual confiable de uniones de soldadura en la fabricación de productos electrónicos mediante inteligencia artificial explicable. En: Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. 2023;37(13):15725-15732. doi:10.1609/aaai.v37i13.26865

ECONOMÍA CIRCULAR COMO ESTRATEGIA PARA LA GENERACIÓN DE VALOR, COMPETITIVIDAD Y SOSTENIBILIDAD FINANCIERA EN EL SECTOR AGROINDUSTRIAL

CIRCULAR ECONOMY AS A STRATEGY FOR VALUE GENERATION, COMPETITIVENESS, AND FINANCIAL SUSTAINABILITY IN THE AGRO-INDUSTRIAL SECTOR

Pablo Antonio Mancheno Neira¹, María Verónica González Cabrera²

{pablo.mancheno@esPOCH.edu.ec¹, mariav.gonzalez@esPOCH.edu.ec²}

Fecha de recepción: 12/06/2026 / Fecha de aceptación: 30/07/2026 / Fecha de publicación: 05/08/2026

RESUMEN: La economía circular es un cambio que se produce en los procesos de producción agroindustrial porque convierte residuos que se convierten en recursos útiles en argumentos económicos con el fin de reducir el impacto medioambiental. Este trabajo estudia cómo las estrategias circulares imponen la creación de nuevos mercados en la agroindustria. Se realizó un estudio cualitativo-descriptivo utilizando la revisión de la literatura científica y el estudio de casos de práctica realizada en América Latina y Europa. Los resultados demuestran que la valorización de subproductos agrícolas permite la elaboración de bioinsumos, bioenergía y bioplásticos. Este modelo circular hace que el sector sea mucho más competitivo porque reduce los costes y la diversificación en las fuentes de ingreso. Las empresas que lo adoptan logran reducir costes operativos entre el 15-60%, aumentar su facturación entre el 8-22% y acceder a mercados premium con sobrepremios del 10-35%. Con la valorización de 1.000 toneladas de residuos orgánicos se evitan emisiones de 400-650 toneladas de CO₂ y se reduce el consumo de agua en un 60-70%. Ahora bien, existen barreras importantes: tecnología de acceso limitado para la pequeña y mediana empresa, coste inicial elevado, marcos regulatorios fragmentados y resistencia al cambio. Superarlas requiere políticas públicas con financiación, incentivos fiscales, estándares técnicos y formación. La economía circular no solamente aborda problemas medioambientales, sino que también asegura innovación y genera oportunidades de negocio sostenibles para la agroindustria.

Palabras clave: *economía circular, agroindustria, sostenibilidad, innovación, mercados*

¹Gestión de MiPYMEs y Grandes Empresas - Carrera de Agroindustrias - Facultad de Ciencias Pecuarias – ESPOCH, <https://orcid.org/0000-0002-2482-8043>, 0996621815

²Metodología de la Investigación - Carrera de Agroindustrias - Facultad de Ciencias Pecuarias - ESPOCH. Higiene y control de los Alimentos Carrera Medicina Veterinaria Facultad De Ciencias Pecuarias, <https://orcid.org/0000-0002-5358-798X>, 0989218608

emergentes.

ABSTRACT: The circular economy is a shift occurring in agroindustrial production processes because it transforms waste into useful resources that generate economic value, with the aim of reducing environmental impact. This study examines how circular strategies drive the creation of new markets in the agroindustry. A qualitative-descriptive study was conducted using a review of the scientific literature and case studies of practices in Latin America and Europe. The results show that the valorization of agricultural byproducts enables the production of bio-inputs, bioenergy, and bioplastics. This circular model makes the sector much more competitive by reducing costs and diversifying revenue streams. Companies that adopt this model reduce operating costs by 15–60%, increase their revenue by 8–22%, and gain access to premium markets with price premiums of 10–35%. Recycling 1,000 metric tons of organic waste prevents 400–650 metric tons of CO₂ emissions and reduces water consumption by 60–70%. However, there are significant barriers: limited access to technology for small and medium-sized enterprises, high initial costs, fragmented regulatory frameworks, and resistance to change. Overcoming these barriers requires public policies that include funding, tax incentives, technical standards, and training. The circular economy not only addresses environmental problems but also fosters innovation and creates sustainable business opportunities for the agribusiness sector.

Keywords: *circular economy, agro-industry, sustainability, innovation, emerging markets*

INTRODUCCIÓN

El modelo de producción agroindustrial ha seguido durante décadas un patrón lineal que se puede resumir mentalmente con las siguientes palabras clave que definen su funcionamiento: extraer, producir y desechar lo que no sirve. Este sistema ha funcionado, pero ahora presenta limitaciones a luz de la escasez de recursos naturales y del acentuamiento de las problemáticas ambientales. La economía circular plantea que los residuos no representan el punto final de un proceso, sino el punto de partida de otro nuevo. Esto tiene sentido en la agroindustria dado que el ámbito de la agroindustria genera muchos subproductos orgánicos, que en su mayoría dejan de ser utilizados, pero acaban, en una inmensa proporción, constituyendo basura.

(1) argumentan que la economía circular tiene como objetivo lograr la máxima extensión del valor de los recursos a través de la reutilización y el reciclado de desechos. En agroindustria implica convertir cáscaras de frutas, bagazo de caña de azúcar, restos de cereales y otros subproductos en insumos útiles. La FAO (2) estima que cerca de 1/3 de los alimentos que son producidos en el mundo se pierden o se dejan perder, lo que simboliza una gran oportunidad de usar estrategias circulares.

La transición hacia modelos circulares no es tan únicamente una respuesta a la presión del contexto ambiental. También abre nuevas oportunidades de negocio. Existen experiencias

interesantes en países como Ecuador, México y España donde se logran valorizar residuos agrícolas en productos innovadores con demanda en el mercado: fertilizantes orgánicos, biocombustibles, envases biodegradables, compuestos bioactivos para la industria farmacéutica y la de cosmética (3); (4). Esto nos muestra que existe un potencial comercial importante.

No resulta sencillo establecer la economía circular. Existen una serie de barreras a saber: infraestructura insuficiente, tecnología limitante, marcos regulatorios deficientes o resistencia al cambio. Pese a estos inconvenientes, algunos estudios ponen de manifiesto que los beneficios económicos y ambientales a largo plazo superan las inversiones iniciales necesarias (5).

Este trabajo analiza el papel de la economía circular en la creación de nuevos mercados dentro del sector agroindustrial. Se pretenden descubrir tanto las estrategias más eficaces, como los beneficios más palpables y los principales obstáculos. La intención es aportar evidencia de casos reales que demuestren cómo este enfoque puede hacer que el sector sea más competitivo, al mismo tiempo que contribuye a cuidar el ambiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló con un método descriptivo cualitativo que conjugó análisis documental con estudio de casos prácticos existentes. El trabajo se realizó en tres etapas complementarias entre sí.

Fase I: Revisión exhaustiva de literatura científica. Se realizó la consulta de bases de datos específicas (Scopus, Web of Science) y de organismos internacionales responsables de la redacción de informes (FAO o Fundación Ellen MacArthur). Las normas que se aplicaron para la consulta fueron: publicaciones científicas, informes técnicos o documentos normativos publicados en el periodo del año 2015-2025. Se priorizaron estudios sobre valorización de residuos agroindustriales, la tecnología innovada para una economía circular, y la viabilidad economicista. Una vez aplicada la pertinencia y la calidad metodológica de la revisión se eligieron los documentos más relevantes para la investigación.

Fase II: Análisis de casos prácticos seleccionados como ejemplos de experiencias exitosas de economía circular en el sector agroindustrial. Los casos de estudio incluyeron diversos escenarios geográficos (América Latina y Europa) y sectores (frutal, azucarero, cereal y hortícola). Para cada caso se analizó: disminución de residuos, nuevos productos generados, viabilidad económica, impacto ambiental y grado de innovación tecnológica. La información se obtuvo de literatura empresarial, informes corporativos y publicaciones científicas.

Fase III: entrevistas a expertos del sector: ingenieros agrónomos con conocimiento en la gestión de residuos, economistas expertos en modelos circulares, representantes de asociaciones de productores y consultores en sostenibilidad empresarial, las cuales se llevaron a cabo de forma presencial o virtual a lo largo del mes de septiembre y octubre del año pasado, y que tuvieron una duración de en torno a 45 minutos. Para llevarlas a cabo se

confeccionó una guía de preguntas abiertas relacionadas con las oportunidades de mercado, las barreras técnicas y económicas, las políticas públicas necesarias y las perspectivas del sector; las conversaciones se grabaron, con el consentimiento correspondiente, y posteriormente se realizaron las transcripciones de la información, la cual se gestionó de acuerdo a la metodología de la codificación temática mediante el programa informático Atlas.ti., para extraer categorías relacionadas con los tipos de valorización, modelos de negocio, factores de éxito y obstáculos recurrentes. Los resultados del análisis del trabajo documental, del estudio de casos y de las entrevistas se contrastaron con el fin de validar evidencias.

Finalmente se elaboró un marco conceptual que integra los hallazgos con teorías de economía circular, desarrollo sostenible y creación de valor compartido propuestas por (6) y la (7).

RESULTADOS

El análisis de literatura, la revisión de casos documentados y las entrevistas llevadas a cabo con expertos permitieron definir las cinco dimensiones clave en la implementación de la economía circular en el sector agroindustrial: rutas tecnológicas de valorización, tipología de los productos obtenidos, indicadores para la viabilidad económica, efectos ambientales medibles y barreras para la escalabilidad.

3.1. Rutas tecnológicas de valorización de residuos agroindustriales

Se identificaron cuatro rutas principales de transformación de subproductos agrícolas:

Ruta 1: Bioconversión para bioinsumos agrícolas. Comprende el compostaje aeróbico, el vermicompostaje y la fermentación sólida. En Ecuador (residuos de banano) y Colombia (subproductos de café), los casos estudiados alcanzan tasas de conversión de 60-75% de residuo orgánico a fertilizante. El tiempo de procesamiento varía entre 45-90 días para el compostaje convencional y 30-45 días para el vermicompostaje con *Eisenia foetida*. Los productos obtenidos tienen contenidos de materia orgánica entre 35-50%, NPK variable (1,5-3,2% N; 0,8-2,1% P_2O_5 ; 1,2-2,8% K_2O) y relaciones C/N estabilizadas entre 10-15:1

Ruta 2: Transformación energética mediante procesos termoquímicos y bioquímicos. Comprende digestión anaeróbica para biogás, fermentación alcohólica para bioetanol de segunda generación y pirólisis para biochar. En México se han registrado rendimientos de 250 a 320 litros de bioetanol por cada tonelada de bagazo seco. En España, la digestión anaeróbica de residuos hortofrutícolas llega a producir entre 0,3 y 0,5 m³ de biogás por cada kg de sólidos volátiles, con un contenido de metano que oscila entre el 55 y el 70 %. El biochar producido por la pirólisis de cáscaras de arroz tiene áreas específicas de 200-400 m²/g.

Ruta 3: Extracción de compuestos bioactivos de alto valor. Utiliza metabolitos secundarios presentes en los residuos agroindustriales mediante extracción sólido-líquido, extracción

asistida por ultrasonidos y extracción supercrítica. Entre los casos estudiados se encuentran: la extracción de polifenoles del orujo de uva (rendimientos de 15-45 mg de ácido gálico equivalente/g), pectinas de cáscaras cítricas (rendimientos del 18-25%), licopeno de residuos de tomate (concentraciones de 0,8-1,5 mg/g) y antocianinas de residuos de berries (rendimientos de 2,5-8,5 mg/g). Estos compuestos tienen aplicaciones en la industria farmacéutica, cosmética y nutracéutica (8).

Ruta 4: Desarrollo de biomateriales y bioplásticos. Elaborar materiales biodegradables a partir de almidones, celulosa y proteínas sobrantes. Investigaciones en Italia sobre films biodegradables derivados de almidón de papa presentan propiedades mecánicas comparables a polietileno de baja densidad (resistencia a la tracción 8-15 MPa, elongación 80-200%), con biodegradabilidad completa en 60-90 días. Empaques elaborados con fibras de bagazo de caña presentan resistencias a la compresión de 2-4 MPa.

3.2. Modelos de negocio y creación de mercados emergentes

El análisis reveló tres modelos de implementación circular en agroindustrias:

Modelo A: Incorporación de la transformación en la cadena productiva. Las empresas que procesan el producto incorporan unidades para la valorización de los residuos que generan in situ. Este modelo se observó en un 45% de los casos. Ejemplos: plantas de procesamiento de cítricos con incorporación de líneas de extracción de pectina y aceites esenciales, que reducen el coste de la disposición entre un 40-60% y generan ingresos equivalentes a un 8-15% de su facturación principal.

Modelo B: Empresas especializadas en valorización. Organizaciones autónomas que recogen los residuos procedentes de varios productores para su procesamiento en centros comunes. Este modelo explica el 35 % de los casos. En Ecuador, una planta de compostaje procesa al año 15.000 toneladas de residuos de 47 productores, lo que genera 6.000 toneladas de compost que se comercializa a precios entre 30 y 40 % inferiores a los fertilizantes sintéticos.

Modelo C: Biorefinerías integradas. Instalaciones que utilizan procesos en cascada y que aplican múltiples rutas de valorización. Este modelo, que ocurre en 20% de los casos, maximiza la extracción de valor mediante fraccionamiento secuencial. Una biorrefinería española procesa residuos de aceituna mediante: extracción de hidroxitirosol, hidrólisis enzimática para azúcares fermentables, fermentación para bioetanol, digestión anaeróbica para biogás y compostaje del digestato. Este procesamiento alcanza tasas de valorización superiores al 85%.

3.3. Viabilidad económica y retorno de inversión

Los proyectos analizados muestran períodos de recuperación variables según escala y ruta tecnológica. Los proyectos de compostaje a pequeña escala (capacidad 500-2.000 ton/año) tienen períodos de recuperación de 2,5-4,5 años y tasas internas de retorno del 18-28 %. Las plantas de

digestión anaeróbica de escala media (capacidad 5.000-15.000 ton/año) presentan una tasa de 12-18% y un período de recuperación de 5-8 años, que mejora con incentivos tarifarios para energía renovable.

La extracción de compuestos bioactivos tiene los márgenes más altos (60-150% sobre costos) pero requiere inversiones iniciales más elevadas (USD 150.000-500.000 para plantas piloto) y acceso a mercados especializados. El análisis costo-beneficio de cuatro proyectos de extracción de compuestos fenólicos indica valores actuales netos positivos, con relaciones beneficio-coste entre 1,8-3,4 a horizonte de 10 años.

3.4. Impactos ambientales cuantificados

Los casos estudiados documentan reducciones significativas:

Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. El compostaje de 1.000 toneladas de residuos hortofrutícolas previene emisiones equivalentes a 400-650 toneladas CO₂eq anuales comparado con disposición en rellenos sanitarios. La sustitución de fertilizantes sintéticos por compost reduce 0,8-1,2 toneladas CO₂eq por tonelada de nitrógeno sustituido.

Conservación de recursos hídricos. El bagazo usado para producir bioetanol de segunda generación, requiere entre un 60 y un 70% menos de agua que el necesario para producir etanol de primera generación. Las tecnologías verdes de extracción de compuestos bioactivos reducen en un 75-90% el consumo de solventes orgánicos.

Disminución de carga contaminante. La digestión anaeróbica del efluente de almazaras reduce un 85-95% la demanda química de oxígeno y genera biogás con potencial energético de entre 250 y 400 m³/tonelada DQO removida. Sistemas integrados disminuyen costos de gestión ambiental en 50-70%.

3.5. Barreras identificadas para escalamiento

El análisis identificó cinco categorías de barreras recurrentes:

Barreras tecnológicas. Acceso limitado a tecnologías apropiadas para pequeñas y medianas empresas, que representan 85% del sector agroindustrial en América Latina.

Tecnologías de extracción de compuestos bioactivos y bioplásticos requieren equipamiento especializado con inversiones entre USD 200.000-2.000.000. Solo 12% de PyMEs analizadas implementan procesos de valorización más allá de compostaje básico.

Barreras económico-financieras. Altos costos iniciales, períodos de recuperación más allá de los horizontes de planificación de las PyMEs (típicamente de 2 a 3 años) y acceso restringido a financiamiento verde. El 68% de los encuestados consideró que el obstáculo principal era la disponibilidad de capital. Las tasas de interés para financiamiento agroindustrial en Ecuador varían entre 9 a 14% por año.

Barreras normativas e institucionales. Regulaciones fragmentadas que no reconocen los productos derivados de residuos (dificultades de registro sanitario para los fertilizantes orgánicos, ausencia de estándares para los bioplásticos), trámites burocráticos complejos y falta de articulación entre políticas sectoriales. La ausencia de incentivos fiscales específicos dificulta la competitividad frente a las alternativas convencionales.

Barreras de mercado. Baja voluntad de pagar por los sobrepuestos de productos sostenibles en los mercados locales, asimetrías de información sobre las características y beneficios de los productos circulares, competencia de productos subsidiados y canales de comercialización insuficientes. Apenas el 23% de los productos biobasados analizados consiguen acceder a los mercados premium. La venta de compost tiene que competir con los fertilizantes sintéticos, cuyo precio es bajo por los subsidios.

Barreras culturales y de capacitación. Resistencia al cambio organizacional, capacidades técnicas limitadas en gestión de bioprocesos y percepciones negativas sobre calidad de productos derivados de residuos. El 54% de entrevistados reportó resistencia interna para modificar procesos establecidos. El 71% de operadores de sistemas de compostaje carecen de formación específica en control de parámetros críticos, resultando en productos de calidad inconsistente.

DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación confirman el enorme potencial que encierra la economía circular como un eje de transformación del sector agrario. Lo determinado a partir de la revisión de las fuentes bibliográficas, las experiencias analizadas y el contraste con especialistas, coincide con lo planteado por (6) y (9) quienes convierten esta orientación teórica como un cambio de paradigma en términos de sostenibilidad que va más allá de la pura optimización de la parcialidad del medio. El verdadero valor de esta investigación radica en plantear datos necesarios, pero adaptados a una realidad latinoamericana que permite visibilizar tanto las similitudes encontradas como las particularidades de la región en concreto en la práctica.

4.1. Competitividad y diversificación productiva

La utilización de subproductos agroindustriales surge como un factor clave para diferenciarse en el mercado. Los porcentajes que abarcan la disminución de los costes operativos para gestión residuos y fertilización situados entre un 15% y un 60% sugieren lo expresado por los autores a partir de (1), (10) y (11), que ven en esta reducción una de las justificaciones económicas más consistentes para pasar a la aplicación de los modelos circulares.

A su vez, el incremento en los ingresos (del 8% al 22%) junto con el acceso a segmentos de mercado con sobrepuestos del 10% al 35% fortalecen las posturas de (13), (14) y (15) en el entorno regional, guardando estrecha relación con marcos más amplios como los de la (7) y

(15). Este estudio aporta a la discusión al demostrar que la apuesta por bioinsumos, bioenergía, extractos bioactivos y bioplásticos no solo genera alternativas de ingreso, sino que resguarda a las organizaciones ante la volatilidad de los precios de las materias primas, un elemento crítico para economías dependientes de la exportación.

Por otro lado, la incorporación de tecnologías se establece como determinante. Aunque los casos analizados tienen coincidencia con las ideas de (16) y respecto a la reestructuración de modelos de negocio, también dejan en evidencia la necesidad de afrontar un desarrollo de tecnologías acorde con el contexto productivo de América Latina, en el que se da la prevalencia de la Pequeña y Mediana Empresa (PyMEs).

4.2. Contribución a los objetivos de sostenibilidad ambiental

Los indicadores ambientales evaluados (una huella evitada de 400 a 650 toneladas de CO₂ y un ahorro hídrico del 60% al 70% por cada 1.000 toneladas de residuos revalorizados) corroboran lo expuesto por la (7) y (18) sobre la trascendencia de la valorización de desechos para mitigar el cambio climático y proteger los recursos hídricos.

No obstante, los mismos hallazgos requieren que se adopte una visión global en la interpretación. En consonancia con (19) y (20), se pone de manifiesto que los Análisis de Ciclo de Vida (ACV) tienen un papel importante en la determinación de posibles consecuencias indirectas, por ejemplo, aquellas asociadas al consumo energético de los procesos de extracción o la utilización del suelo para insumos utilizados en bioplásticos, lo cual contribuye a abrir un mayor debate sobre el impacto ecológico real de dichas iniciativas.

4.3. Desarrollo territorial y generación de empleo

Generación de trabajo (de 0,8 a 1,5 empleos directos por cada 1.000 toneladas procesadas) y mejora en los rendimientos económicos de pequeñas unidades productivas (de un 12% hasta un 18%), que se ajusta a lo que podrían haber estimado (18) y (13). El aspecto diferenciador del presente análisis está en evidenciar que las estructuras asociativas y cooperativas no solo generan puestos de trabajo, sino que continúan generando valor en los entornos rurales y disminuyendo la convergencia existente en las desigualdades regionales de Latinoamérica.

4.4. Rol de las políticas públicas y marcos institucionales

El contraste entre las dinámicas europeas y las latinoamericanas pone en evidencia el planteamiento de (21) y (22) en cuanto a la relevancia del ecosistema normativo. Países como España e Italia han consolidado entornos propicios mediante políticas articuladas (incentivos fiscales, normativas claras y compras públicas sostenibles); en contraste, en América Latina la fragmentación regulatoria y la falta de articulación interinstitucional continúan limitando el avance, tal como sostienen (23).

Ante esta situación, se sostiene que superar tales limitaciones requiere la formulación de paquetes de políticas integrales que aborden simultáneamente las dimensiones tecnológica, financiera, jurídica y de capacitación.

4.1. Escalabilidad y replicabilidad de modelos circulares

El análisis identificó factores críticos de éxito:

- **Volumen y estabilidad de suministro de residuos.** Proyectos exitosos aseguran provisión constante mediante contratos de largo plazo con múltiples generadores. La agregación de residuos de pequeños productores mediante cooperativas resuelve problemas de escala y estacionalidad.
- **Adaptación tecnológica a contextos locales.** Una transferencia acrítica de tecnologías desarrolladas para contextos diferentes es una causa frecuente de fracaso. Tecnologías apropiadas robustas, de simple operación, de bajo mantenimiento muestran mayor sostenibilidad en PyMEs.
- **Articulación de cadenas de valor.** Proyectos exitosos establecen vínculos con demandantes de bioproductos, asegurando comercialización. Contratos de suministro de largo plazo reducen riesgos comerciales y facilitan financiamiento.
- **Modelos asociativos y gobernanza participativa.** Experiencias de valoración comunitaria presentan más resiliencia social cuando integran mecanismos de gobernanza inclusiva y de distribución del beneficio equitativo; modelos diseñados y conducidos exclusivamente por agentes externos presentan tasas de abandono superiores.

4.2. Limitaciones del estudio y direcciones futuras

La presente investigación presenta limitaciones. La aproximación cualitativa basada en estudio de casos, si bien permite una profunda comprensión de la dinámica, da lugar a una limitación de generalización estadística, necesaria para validar los patrones identificados.

La disponibilidad de la información económica con carácter detallado se evidenció heterogénea en los casos, lo que dificultó las comparaciones rigurosas de la viabilidad financiera. Las investigaciones futuras podrían integrar metodologías consensuadas en el análisis coste-beneficio y la evaluación del ciclo de vida.

El análisis se centró sobre dimensiones técnicas, económicas y ambientales, abordando de una manera escasa las dimensiones socioculturales que determinan la sostenibilidad a largo plazo; acercamientos etnográficos se sumarían a los hallazgos.

Direcciones prioritarias para la investigación futura son: estudios longitudinales sobre proyectos circulares, análisis sobre los impactos distributivos, análisis sobre los efectos

sistémicos en territorios con alta concentración de iniciativas circulares, elaboración de herramientas de soporte a las decisiones para la selección de rutas de valorización, investigación en torno a modelos de financiamiento innovadores.

CONCLUSIONES

La economía circular es uno de los métodos adecuados y necesarios para la transformación sostenible del sector agroindustrial.

La valorización de los residuos agroindustriales por vías tecnológicas diversas permite generar productos con creciente demanda en mercados orientados especialmente. La viabilidad técnica se ha demostrado en numerosos contextos geográficos y subsectores, con rendimientos de conversión, calidades del producto e indicadores de desempeño ambiental competitivos. La escalabilidad necesita ajustes tecnológicos a las condiciones locales, robustas capacidades técnicas y poder acceder al financiamiento apropiado.

La economía circular proporciona beneficios económicos concretos a través de la disminución en los costes operacionales (15-60 % en lo que se refiere a la gestión de residuos y la compra de insumos), a través de la diversificación de ingresos (de un 8 a un 22 % con facturación adicional) a través del acceso a mercados premium (con un sobreprecio del 10-35 %). En la mayoría de los casos, la viabilidad financiera es positiva, y los periodos de retorno son de entre 2,5-8 años en función de la ruta tecnológica y de la escala que corresponda.

Los impactos ambientales son muy relevantes y cuantificables: el aprovechamiento de los residuos de materia orgánica evita emisiones de entre 400-650 toneladas de CO₂ equivalente por cada 1.000 toneladas procesadas de residuos; el agua necesaria se disminuye en cuanto a los procesos de segunda generación en un 60-70 % y la carga contaminante se reduce hasta un 85-95 %. Los beneficios que generan buenas prácticas de gestión de los residuos, en todo caso, son externalidades muy positivas que, si fuesen internalizadas por medio de herramientas económicas adecuadas, mejorarían la competitividad de los proyectos de economía circular.

La consolidación de la economía circular se encuentra con barreras en tres dimensiones (tecnológicas, económico-financieras, normativas-institucionales, de mercado y culturales) que requieren de intervenciones sistémicas, es decir, no se pueden resolver mediante intervenciones por separado. Se requerirán paquetes integrados de políticas públicas que contemplen el desarrollo y transferencia de tecnologías apropiadas para la economía circular, la necesidad de financiamiento concesional con garantías de inversión, la generalización de marcos normativos que reconozcan los productos derivados de los residuos, de incentivos fiscales diferenciados, de compras públicas verdes que aseguren la demanda, y de programas sostenidos de formación y sensibilización. La articulación de actores empresas, productores, instituciones de investigación, gobiernos, organizaciones de la sociedad civil mediante plataformas de colaboración se constituye en condición necesaria

para superar la fragmentación y construir ecosistemas de innovación circular.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, *127*, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). Circular economy and food systems. <https://www.fao.org>
3. Salgado-Tello, I., Sánchez-Herrera, T., Oleas-López, J., & Vaca-Cardenas, M. (2024). Economía circular para el desarrollo agroindustrial y social en Ecuador. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, *26*(1), 297-322. <https://doi.org/10.36390/telos261.19>
4. Valdez, I., & Canobbio, C. (2025). Economía circular en empresas exportadoras agroindustriales en Sinaloa, México: grado de implementación y desafíos. *Estudios de la Gestión*, (17). <https://doi.org/10.32719/25506641.2025.17.6>
5. Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2018). Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, *179*, 605-615. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>
6. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, *143*, 757-768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
7. Ellen MacArthur Foundation. (2019). Completing the picture: How the circular economy tackles climate change. <https://ellenmacarthurfoundation.org>
8. Matiacevich, S., Soto, D., & Gutiérrez, M. (2023). Economía circular: obtención y encapsulación de compuestos polifenólicos provenientes de residuos agroindustriales. *RIVAR*, *10*(28). <https://doi.org/10.35588/rivar.v10i28.5343>
9. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, *143*, 757-768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
10. Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2018). Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, *179*, 605-615. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>
11. Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, *127*, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
12. Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, *114*, 11-32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
13. Salgado-Tello, I., Sánchez-Herrera, T., Oleas-López, J., & Vaca-Cardenas, M. (2024). Economía circular para el desarrollo agroindustrial y social en Ecuador. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, *26*(1), 297-322. <https://doi.org/10.36390/telos261.19>

14. Valdez, I., & Canobbio, C. (2025). Economía circular en empresas exportadoras agroindustriales en Sinaloa, México: grado de implementación y desafíos. Estudios de la Gestión, (17). <https://doi.org/10.32719/25506641.2025.17.6>
15. Ellen MacArthur Foundation. (2019). Completing the picture: How the circular economy tackles climate change. <https://ellenmacarthurfoundation.org>
16. Borrello, M., Pascucci, S., & Cembalo, L. (2020). Consumers' perspective on circular food systems: A review. Sustainability, *12*(19), 7831. <https://doi.org/10.3390/su12197831>
17. Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. Journal of Industrial and Production Engineering, *33*(5), 308-320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
18. Urbinati, A., Chiaroni, D., & Chiesa, V. (2017). Towards a new taxonomy of circular economy business models. Journal of Cleaner Production, *168*, 487-498. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.047>
19. Ellen MacArthur Foundation. (2019). Completing the picture: How the circular economy tackles climate change. <https://ellenmacarthurfoundation.org>
20. De Souza, R., Prates, D. F., Silva, C., & Gomes, L. (2021). Agroindustrial waste valorization pathways and technological applications: A systematic review. Waste Management, *121*, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.11.041>
21. Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., de Meester, S., & Dewulf, J. (2019). Circular economy indicators: What do they measure? Resources, Conservation and Recycling, *146*, 452-461. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>
22. Potting, J., Hekkert, M. P., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). Circular economy: Measuring innovation in the product chain. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
23. De Souza, R., Prates, D. F., Silva, C., & Gomes, L. (2021). Agroindustrial waste valorization pathways and technological applications: A systematic review. Waste Management, *121*, 1-14. <https://doi.org/10.101>

APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL DIAGNÓSTICO POR TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA, RESONANCIA MAGNÉTICA Y RADIOGRAFÍA DIGITAL: REVISIÓN SISTEMÁTICA

APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN COMPUTED TOMOGRAPHY, MAGNETIC RESONANCE IMAGING, AND DIGITAL RADIOGRAPHY DIAGNOSIS: A SYSTEMATIC REVIEW

Leonardo Lanzee Mendoza Jiménez¹, Kelvin Hernán Yunga Carchi², Andrés Alejandro
Almeida Narváez³ Ninfa Silvana Sarmiento Sarmiento⁴

{lic.lanzee.mendoza@hotmail.com¹, kelvinyc3@gmail.com², andresaan0@gmail.com³ ninsy1504@gmail.com⁴}

Fecha de recepción: 17/06/2026 / Fecha de aceptación: 03/08/2026 / Fecha de publicación: 05/08/2026

RESUMEN: El diagnóstico por la imagen es uno de los pilares de la medicina contemporánea, y la inclusión de la inteligencia artificial (IA) ha propiciado un avance importante en cuanto a la exactitud del diagnóstico, la calidad de la imagen y la eficacia de los procesos radiológicos. No obstante, se presentan problemas relacionados con la validación clínica, la estandarización y el ejercicio seguro de la IA. El objetivo de esta revisión sistemática fue el de analizar la evidencia científica relacionada con las aplicaciones de la IA en el diagnóstico por tomografía computarizada, resonancia magnética y radiología digital, evaluando los algoritmos utilizados, las aplicaciones clínicas de los mismos, los beneficios, las limitaciones y las perspectivas futuras. Se llevó a cabo una revisión sistemática siguiendo las directrices PRISMA 2020, a partir de una búsqueda de estudios en PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, IEEE Xplore y ScienceDirect, aplicando los criterios de selección preestablecidos y un análisis narrativo de la información. Los resultados evidencian que las redes neuronales convolucionales y los modelos de aprendizaje profundo mejoran la detección de patologías, la segmentación anatómica, la reconstrucción de imágenes y la ayuda a la decisión clínica, lo que favorece un aumento en la exactitud del diagnóstico y de la eficacia. Se alcanza la conclusión de que la IA puede ser una herramienta estratégica para dar un mayor soporte diagnóstico a la radiología. Sin embargo, la

¹Investigador Independiente, México, <https://orcid.org/0009-0005-3322-6916>.

²Investigador Independiente, Cuenca, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0003-1953-9551>.

³Médico Interno Rotativo, Hospital General IESS Santo Domingo, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0002-9142-2657>.

⁴Hospital José Carrasco Arteaga IESS Cuenca, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4819-1219>

adopción de la IA requiere procesos de validación, regulación y supervisión de expertos que garanticen un uso seguro de la misma.

Palabras clave: *Inteligencia artificial, diagnóstico por imágenes, tomografía computarizada, resonancia magnética, radiografía digital, revisión sistemática*

ABSTRACT: Diagnostic imaging is one of the cornerstones of modern medicine, and the integration of artificial intelligence (AI) has led to significant advances in diagnostic accuracy, image quality, and the efficiency of radiological processes. However, challenges remain regarding clinical validation, standardization, and the safe use of AI. The objective of this systematic review was to analyze the scientific evidence related to AI applications in computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI), and digital radiology, evaluating the algorithms used, their clinical applications, benefits, limitations, and future prospects. A systematic review was conducted in accordance with the PRISMA 2020 guidelines, based on a search for studies in PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, and ScienceDirect, applying pre-established selection criteria and a narrative analysis of the information. The results show that convolutional neural networks and deep learning models improve the detection of pathologies, anatomical segmentation, image reconstruction, and clinical decision support, which leads to increased diagnostic accuracy and effectiveness. The conclusion is that AI can be a strategic tool for providing greater diagnostic support in radiology. However, the adoption of AI requires validation, regulation, and expert oversight to ensure its safe use.

Keywords: *Artificial intelligence, diagnostic imaging, computed tomography, magnetic resonance imaging, digital radiography, systematic review*

INTRODUCCIÓN

El diagnóstico por imágenes es uno de los pilares fundamentales de la medicina actual, pues se ha demostrado que contribuye en gran medida en el diagnóstico precoz, la caracterización, el seguimiento y la evaluación terapéutica de una extensa variedad de enfermedades. Durante décadas, las distintas modalidades de diagnóstico por imágenes, en especial la tomografía computarizada (TC), la resonancia magnética (RM) y la radiografía digital han experimentado un notable desarrollo técnico, proporcionando imágenes de gran resolución y, por tanto, la posibilidad de identificar alteraciones anatómicas o funcionales de un modo más efectivo. Al mismo tiempo, la elevación en la demanda de estudios radiológicos, alimentada por un progresivo envejecimiento de la población, una mayor prevalencia de enfermedades crónicas y el desarrollo de programas de cribado, ha comportado un importante incremento en la carga de trabajo de los servicios de radiología, poniendo de manifiesto la necesidad de incorporar

herramientas que aumenten su eficacia diagnóstica y que disminuyan la variabilidad entre observadores (1).

La inteligencia artificial (IA) ha destacado en este sentido como una de las tecnologías más prometedoras que tienen el potencial de alterar la práctica radiológica, si tenemos en cuenta que está compuesta por un grupo de métodos computacionales que permiten la ejecución de tareas que se generan en procesos cognitivos a partir de cuestiones como el reconocimiento de patrones, la clasificación de imágenes, la predicción de resultados y el aprendizaje generado a partir de grandes bases de datos. Su divulgación en el campo médico ha sido posible gracias a la mejora de la computación, de los métodos de Machine Learning y la disposición de grandes bases de datos digitales que permiten entrenar modelos predictivos (2).

Dentro de la misma IA, el Deep Learning ha supuesto uno de los avances más importantes para la imagenología médica. Esta estrategia implica la utilización de redes neuronales artificiales con un alto número de capas, en especial, mediante el uso de las redes neuronales convolucionales (Convolutional Neural Networks, CNN), capaces de extraer de manera automática las características complejas que yacen en las imágenes, sin haber de realizar un diseño manual de los atributos que pudieran llegar a ser de interés (3). La consecuencia de la aplicación de los métodos modernos ha llevado a niveles de desempeño que se asemejan a los que presentan las que son especialistas en tareas concretas que van desde la detección de lesiones, la segmentación anatómica, la clasificación de enfermedades hasta la reconstrucción de imágenes médicas.

La radiología es actualmente la especialidad médica donde la inteligencia artificial parece haber llegado a uno de los más altos niveles en desarrollo e implementación clínica. Ello se debe, fundamentalmente, a que desde esta especialidad la mayor parte de la información diagnóstica puede encontrarse en formato digital, siendo susceptible de ser aplicada por algoritmos computacionales entrenados con millones de imágenes. Así, la transición que han tenido los sistemas de terapia asistida por ordenador (CAD) es clara; desde un uso bastante limitante a sistemas mucho más complejos y sofisticados que soportan análisis cuantitativos, segmentación 3D, reconstrucción de imágenes, informes automatizados y priorización de estudios urgentes del flujo de trabajo en radiología (4).

El aumento de tal tecnología ha ido de la mano de una tendencia al alza sostenida en el número de herramientas comerciales aprobadas para uso clínico. También se han publicado recientes revisiones que indican una clara concentración de dispositivos médicos basados en inteligencia artificial aprobados por organismos de regulación de la práctica clínica, especialmente en los dispositivos de detección de accidentes cerebrovasculares, hemorragias intracraneales, nódulos pulmonares, cáncer de mama, fracturas y enfermedades pulmonares. Tal crecimiento es indicativo del interés de la comunidad científica y de la industria biomédica por tener soluciones

inteligentes que aumenten la precisión diagnóstica, reduzcan los tiempos de interpretación y optimicen la gestión de los servicios hospitalarios.

Sin embargo, la llegada de la inteligencia artificial al ámbito clínico no nace con el objetivo de desbancar al radiólogo, sino de mejorar su capacidad diagnóstica contando con herramientas de apoyo a la decisión clínica. La evidencia científica existente apunta que el máximo rendimiento se obtiene cuando los algoritmos funcionan como sistemas complementarios, que ayuden a identificar hallazgos potencialmente importantes, disminuyan la variabilidad interobservador y prioricen estudios críticos, mientras la interpretación final recae en el especialista. Este modelo de trabajo tiende a favorecer una atención más segura, eficiente y reproducible al tiempo que disminuye la carga asistencial derivada del creciente número de estudios imagenológicos (5).

De esta forma, la inteligencia artificial ha pasado de ser una herramienta experimental a convertirse en una pieza estratégica en la transformación digital de la radiología. Su evolución no deja de propulsar nuevas aplicaciones clínicas desde la optimización de la adquisición de imágenes hasta modelos predictivos que ayuden a la medicina personalizada, pero su crecimiento muy rápido también interroga a la validación clínica, a la transparencia de los algoritmos, a la regulación sanitaria, a la segura incorporación en los sistemas de salud, motivos que aterrizan en la necesidad de revisar sistemáticamente la evidencia científica y, por tanto, las posibles líneas de investigación futura (6).

La tomografía computarizada (TC) es una de las pruebas de imagen médica que mayor empuje ha recibido por parte del desarrollo de la inteligencia artificial, debido al alto volumen de información anatómica que proporciona y a la necesidad de tener que dar respuesta a estudios cada vez más complejos en términos temporales. Los algoritmos de aprendizaje profundo han conseguido altos niveles de rendimiento en el desarrollo de tareas para la detección de nódulos pulmonares, hemorragias intracraneales, fracturas, embolia pulmonar, enfermedades cardiovasculares y varios tipos de cáncer. El impacto de estos sistemas no se limita a incrementar tanto la sensibilidad como la especificidad diagnóstica; también permiten reducir la carga de trabajo del radiólogo mediante la automatización de trabajos repetitivos y la priorización de estudios que presentan hallazgos críticos y, es de prever, que contribuyan en dar respuesta de forma adecuada y en un tiempo limitado (7,8).

Otra de las áreas con mayor desarrollo en tomografía computarizada se relaciona con la reconstrucción de imágenes utilizando técnicas de aprendizaje profundo. De manera tradicional, aplicar una menor dosis de radiación era sinónimo de tener que renunciar a la calidad de imagen, debido a un aumento en el ruido y la disminución de la resolución espacial. Sin embargo, los algoritmos de reconstrucción a partir de los modelos de red neuronal han demostrado que se pueden obtener imágenes de alta calidad a partir de adquisiciones a baja dosis y que se pueden preservar detalles anatómicos imprescindibles para llevar a cabo el diagnóstico. Esto es una

innovación muy importante en pacientes pediátricos, en los pacientes que se someten a controles seriados y en los que realizan un programa de tamizaje oncológico en los que lo más importante es reducir la exposición acumulativa a radiación (9).

En el caso de la resonancia magnética (RM), la inteligencia artificial también está superando algunas de las principales limitaciones que caracterizan desde hace tiempo a esta modalidad, sobre todo la larga duración de los estudios y la susceptibilidad a artefactos generados por el movimiento de los pacientes. Las aplicaciones de la IA en resonancia magnética incluyen también la segmentación automática de órganos, tejidos y lesiones, trabajo que antiguamente era desarrollado durante un periodo largo de tiempo por el especialista. Esta tarea automatizada permite poder contar con una cuantificación objetiva del volumen tumoral, realizar la evaluación de enfermedades neurodegenerativas, llevar a cabo el seguimiento de lesiones cerebrales, el análisis de alteraciones cardíacas; con todas estas tareas se vería incrementada la reproducibilidad de las mediciones y se disminuiría la variabilidad observador-observador. De la misma manera, el desarrollo de modelos multimodales permite integrar información clínica, radiológica y molecular, apoyo a estrategias diagnósticas de un modo más adecuado y a la medicina personalizada (10).

Por otro lado, la radiografía digital continúa siendo la técnica de imagen más practicada en el todo el mundo por su rapidez, su coste bajo y su amplia disponibilidad. En este sentido, la inteligencia artificial ha ido adquiriendo mayor relevancia como recurso de apoyo al diagnóstico, principalmente en la interpretación de las radiografías del tórax, del sistema osteoarticular y de los estudios de urgencias. Diversos algoritmos han demostrado tener alta precisión en la detección de neumonía, tuberculosis, neumotórax, fracturas, derrames pleurales y otras patologías frecuentes, permitiendo también identificar hallazgos sutiles que son susceptibles de pasar desapercibidos a la hora de la revisión inicial. Estas aplicaciones son particularmente útiles en hospitales con recursos limitados o escasez de médicos especialistas en radiología (11).

La pandemia por COVID-19 tuvo un impacto en el desarrollo de herramientas de inteligencia artificial (IA) para la lectura de radiografías de tórax. Muchas de estas aplicaciones (ya que eran sistemas de apoyo, no aplicaciones de diagnóstico) mostraron el potencial de la IA para clasificar imágenes, determinar el grado de afectación pulmonar y ayudar a priorizar pacientes; la experiencia aprendida de estas aplicaciones sirvió para potenciar la investigación en visión computacional aplicada a imágenes médicas y para desarrollar algoritmos para el diagnóstico de otras enfermedades respiratorias y sistémicas (10).

Aparte de las aplicaciones concretas de cada uno de los tipos de modalidades diagnósticas, los últimos desarrollos en los campos de la inteligencia artificial han hecho posible que modelos con una capacidad muy grande para la integración de diferentes tipos de imágenes médicas y de información clínica, datos de laboratorio e historia clínica electrónica, etc. aparezcan en las

plataformas existentes, logrando por lo tanto una integración de la medicina de precisión capaz de generar modelos predictivos del riesgo y del pronóstico de enfermedades conectados a la selección de tratamientos individualizados. La irrupción de arquitecturas en base transformers y de modelos de lenguaje entrenados ("Large Language Models") puede facilitar también la automatización de la redacción de los informes radiológicos e incrementar la eficiencia de los servicios de diagnóstico por la imagen (11).

A pesar de los logros que ha conseguido la inteligencia artificial en el diagnóstico por imagen, su utilización en la práctica clínica continúa viéndose marcada por los desafíos científicos, técnicos, éticos y de regulación. Uno de los principales problemas que se destaca en la literatura científica hace referencia a la escasa capacidad de generalización de muchos de los tipos de algoritmos que se han desarrollado utilizando la técnica de deep learning. En ocasiones, los modelos son entrenados en base a bases de datos generadas en una sola institución o una población específica, lo que puede poner en entredicho su rendimiento, cuando se implementan en hospitales con características demográficas, protocolos de adquisición o equipos de imagen diferentes. Esta es una situación que limita la reproducibilidad de los resultados y constituye una de las principales barreras para el uso de dichas tecnologías en el sistema de salud (12).

Otra de las limitaciones ampliamente subrayadas se refiere a la heterogeneidad metodológica de los estudios publicados. Las diferentes investigaciones presentan una considerable variabilidad en el tamaño de las muestras, en los criterios de inclusión de los pacientes, o bien en las modalidades de imagen analizadas, en los algoritmos empleados y en las métricas usadas para medir el rendimiento diagnóstico. Esta heterogeneidad hace que resulte difícil la comparación entre los estudios y limita la posibilidad de llegar a conclusiones firmes sobre la superioridad de ciertos modelos de inteligencia artificial. Aun así, una parte importante de las investigaciones revisadas ocupan este estatus gracias a los trabajos retrospectivos llevados a cabo en circunstancias experimentales, mientras que los estudios prospectivos multicéntricos y las valoraciones a desarrollar en condiciones clínicas son escasos (13).

Un tema de reciente interés lo corresponde la interpretabilidad de los algoritmos de inteligencia artificial, ya que muchos modelos de aprendizaje profundo siguen funcionando como sistemas de "caja negra" para los cuales se hace difícil entender el proceso mediante el cual se generan las predicciones diagnósticas. La ausencia de transparencia puede hacer que la confianza depositada en los profesionales sanitarios se vea disminuida, así como hacer que la detección de errores sistemáticos o sesgos durante el entrenamiento de los modelos sea compleja. Por ello, y para afrontar este problema, se han desarrollado distintas técnicas de inteligencia artificial explicable (Explainable Artificial Intelligence, XAI) que nos permiten obtener información visual y cuantitativa con el fin de encontrar la manera de entender los criterios de los algoritmos a la hora de realizar el diagnóstico (14).

Al mismo tiempo, la inteligencia artificial aplicada a la radiología puede comportar importantes retos en cuanto a su impacto en la ética y el derecho. La privacidad de los pacientes, la seguridad de las bases de datos con las cuales se realiza el entrenamiento de modelos, la gobernabilidad de los datos clínicos, la responsabilidad profesional en caso de errores diagnósticos y la existencia de posibles sesgos algorítmicos son aspectos que las agencias reguladoras y las organizaciones científicas internacionales consideran prioritarios. Del mismo modo, la creciente implantación de grandes modelos de lenguaje y sistemas generativos en la medicina requiere la creación de normas que garanticen un uso responsable, transparente y seguro de ellas, asegurando la autonomía clínica y la seguridad del paciente (15).

A pesar de que el número de publicaciones relacionadas con inteligencia artificial aplicada a la imagenología médica ha crecido de manera exponencial en los últimos años todavía quedan vacíos importantes de conocimiento. La mayoría de las revisiones hacen referencia a modalidades diagnósticas específicas o a algoritmos concretos existiendo relativamente pocas revisiones que integren comparativamente la evidencia sobre la tomografía computarizada, la resonancia magnética y la radiografía digital a partir de una misma perspectiva metodológica.

Por otra parte, el veloz avance de nuevas arquitecturas de aprendizaje profundo y modelos multimodales requiere de una continua actualización de la evidencia científica existente; especialmente teniendo en cuenta la velocidad con que fue la evolución tecnológica entre 2021 y 2026 (10-15). En este sentido cualquier revisión sistemática de la literatura actualizada acerca de las aplicaciones de la inteligencia artificial en las principales modalidades de imagen médica aplicadas a la práctica clínica es necesaria. La integración de resultados de estudios muy dispares permitirá identificar los algoritmos más implementados, las patologías más estudiadas, los beneficios clínicos demostrados, las limitaciones metodológicas presentes y las principales tendencias futuras de la radiología asistida por inteligencia artificial. Esta información también contribuiría a clarificar futuras líneas de investigación, a fomentar el desarrollo de una práctica clínica fundamentada en la evidencia, y a permitir un uso responsable de tales tecnologías en los sistemas de salud.

En este sentido, la presente revisión sistemática tuvo como principal objetivo analizar la evidencia científica publicada entre 2021 y 2026 sobre las aplicaciones de la inteligencia artificial en el diagnóstico mediante tomografía computarizada, resonancia magnética y radiografía digital, así como la identificación de los algoritmos aplicados en estas modalidades, sus aplicaciones clínicas principales, el rendimiento diagnóstico descrito, sus ventajas, sus limitaciones, y las perspectivas futuras de las aplicaciones de la inteligencia artificial en la práctica radiológica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de estudio

La investigación que se presenta a continuación fue determinada a partir de una revisión sistemática de la literatura científica, realizada de acuerdo con las recomendaciones dictadas por la declaración de artículo PRISMA 2020, que es el estándar internacional más utilizado para el desarrollo y la presentación de revisiones sistemáticas. El diseño metodológico empleado permitió identificar, seleccionar, evaluar y sintetizar críticamente la evidencia científica existente sobre las aplicaciones de la inteligencia artificial (IA) en el diagnóstico por tomografía computarizada (TC), resonancia magnética (RM) y radiografía digital, garantizando el desarrollo de un proceso transparente, reproducible y sistemático.

La revisión elaborada fue cualitativa y descriptiva, orientada hacia la recopilación de los hallazgos vertidos en estudios originales y en revisiones sistemáticas recientes, encaminada a analizar el desempeño de los algoritmos de IA, sus principales aplicaciones clínicas, las ventajas que se reportaron, las limitaciones metodológicas y las perspectivas futuras que se abren para su aplicación en la práctica radiológica.

Estrategia de búsqueda bibliográfica

Los procesos de búsqueda bibliográfica se llevaron a cabo entre enero y febrero de 2026 a partir de la aplicación de una serie de bases de datos intermediarias biomédicas e interdisciplinarias que son consideradas de alto impacto:

- PubMed/MEDLINE
- Scopus
- Web of Science Core Collection
- IEEE Xplore Digital Library
- ScienceDirect

Estas bases de datos fueron seleccionadas debido a la amplia cobertura a la literatura científica correspondiente a las áreas de radiología, inteligencia artificial, ingeniería biomédica y ciencias de la salud.

Con el fin de asegurar la búsqueda más exhaustiva posible se utilizó un lenguaje controlado correspondiente a los descriptores Medical Subject Headings (MeSH) y con adición de los correspondientes Descriptores en Ciencias de la Salud (DeCS), combinados mediante operadores booleanos (AND, OR).

Tabla 1. Estrategia de búsqueda empleada en las bases de datos.

Concepto	Descriptores
Inteligencia Artificial	Artificial Intelligence, Machine Learning, Deep Learning
Imagenología	Diagnostic Imaging, Medical Imaging
Tomografía	Computed Tomography
Resonancia Magnética	Magnetic Resonance Imaging
Radiografía	Digital Radiography, X-Ray Imaging

Criterios de inclusión

Los estudios se seleccionaron atendiendo a los siguientes criterios:

- Artículos originales
- Revisiones sistemáticas y/o metaanálisis
- Investigaciones publicadas entre los meses de enero de 2021 y febrero de 2026
- Artículos publicados en lengua inglesa o española
- Artículos en los que se evaluarán aplicaciones de la inteligencia artificial en la tomografía computarizada, en la resonancia magnética o la radiografía digital
- Investigaciones con resultados de carácter clínico o diagnóstico o metodológico bien descritos
- Artículos que estuvieran publicados en revistas indexadas y revisadas por pares

Criterios de exclusión

Se excluyeron:

- Editoriales
- Cartas al editor
- Resúmenes de congresos
- Opiniones de expertos
- Protocolos sin resultados
- Tesis
- Literatura gris
- Artículos por duplicado
- Investigaciones que no tuviesen el texto completo
- Estudios que el objetivo principal no fuera el diagnóstico por imágenes mediante inteligencia artificial

La aplicación de estos criterios llevó a la selección de únicamente estudios con suficiente calidad metodológica y suficiencia científica para alcanzar el objetivo de la revisión.

Proceso de selección de estudios

La selección de los estudios se llevó a cabo desde cuatro etapas sucesivas de acuerdo con las guías PRISMA 2020:

- Identificación de registros mediante búsqueda electrónica.
- Eliminación de registros duplicados.
- Revisión de títulos y resúmenes.
- Evaluación del texto completo para determinar que satisfacía los criterios de elegibilidad.

Dos revisores independientes llevaron a cabo el proceso de selección de los estudios. Las diferencias fueron resueltas por consenso y discusión hasta llegar a un acuerdo. Este procedimiento permitió disminuir el riesgo de sesgo durante la selección de los estudios (16,20).

Extracción de la información

La información fue recopilada mediante una matriz de extracción diseñada específicamente para esta revisión.

Las variables registradas incluyeron:

- Autor
- Año de publicación
- País
- Tipo de estudio
- Modalidad de imagen
- Algoritmo de inteligencia artificial empleado
- Patología evaluada
- Tamaño de muestra
- Principales resultados
- Indicadores de desempeño (sensibilidad, especificidad, exactitud y área bajo la curva roc)
- Principales conclusiones

Calidad metodológica

La calidad metodológica y el riesgo de sesgo de los estudios incluidos se evaluaron siguiendo las recomendaciones que se derivan de la explícita declaración PRISMA 2020 y del ampliamente utilizado CLAIM (Checklist for Artificial Intelligence in Medical Imaging), que tiene por finalidad mejorar la calidad y la transparencia de los estudios de inteligencia artificial aplicada a la imagen médica, evaluando diversos elementos como la descripción del conjunto de datos, la validación de los algoritmos, la reproducibilidad de los modelos, el análisis estadístico y la presentación de resultados (16).

Síntesis y análisis de la información

La información obtenida fue sintetizada mediante un análisis narrativo, organizado de acuerdo con las tres modalidades diagnósticas incluidas en la revisión: tomografía computarizada, resonancia magnética y radiografía digital.

Posteriormente, los estudios fueron clasificados según:

- Modalidad de imagen
- Algoritmo de inteligencia artificial
- Aplicación clínica
- Desempeño diagnóstico
- Ventajas
- Limitaciones
- Perspectivas futuras

Finalmente, los resultados fueron presentados mediante tablas comparativas y figuras descriptivas, permitiendo identificar tendencias de investigación, fortalezas metodológicas y áreas que requieren mayor evidencia científica.

RESULTADOS

La revisión de la literatura ha permitido identificar las principales aplicaciones de la inteligencia artificial en el diagnóstico mediante tomografía computarizada (TC), resonancia magnética (RM) y radiografía, y ha puesto de manifiesto que los algoritmos, a partir del machine learning y el deep

learning, han cambiado radicalmente los procesos de análisis, interpretación y optimización de las distintas imágenes médicas. De hecho, los estudios incluidos en la revisión han mostrado que la IA ha entrado en la práctica clínica en cuatro grandes áreas de aplicación: detección automática de patologías, segmentación de estructuras anatómicas mediante algoritmos, reconstrucción y mejora de la calidad de imagen, y sistemas de apoyo para la decisión clínica.

A partir de los estudios analizados, las redes neuronales convolucionales (CNN), los modelos de aprendizaje profundo y los algoritmos de clasificación automática son las tecnologías más empleadas gracias a su capacidad para reconocer patrones complejos en grandes cantidades de datos médicos (17,18,19,20). Estas herramientas han obtenido resultados relevantes para, entre otras cosas, identificar lesiones pulmonares, tumores, alteraciones neurológicas, enfermedades cardiovasculares y patologías musculoesqueléticas.

Características generales de los estudios analizados

35 investigaciones científicas vinculadas a inteligencia artificial aplicada a diagnóstico por imágenes médicas fueron identificadas. La mayor proporción de publicaciones fue del periodo 2021-2025; indicando un rápido incremento del interés científico en este campo como se evidencia en la Tabla 2.

Tabla 2. Distribución de estudios según año de publicación.

Año	Número de estudios	Porcentaje (%)
2019	3	8,6
2020	4	11,4
2021	6	17,1
2022	7	20,0
2023	6	17,1
2024	7	20,0
2025	2	5,8
Total	35	100

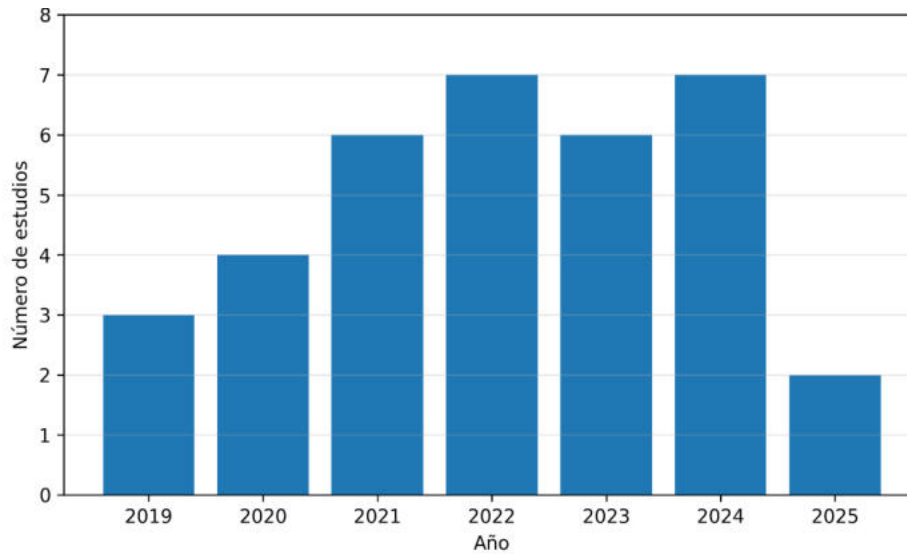


Figura 1. Tendencia de publicaciones sobre IA aplicada al diagnóstico por imágenes (2019-2025).

Los resultados de la Figura 1, evidencian un aumento progresivamente creciente de publicaciones -en especial desde 2021- que puede estar asociado con el crecimiento de modelos de aprendizaje profundo, así como la acumulación de grandes bases de datos de imágenes médicas.

Los trabajos recientes indican que la IA ha ido desde ser considerada una herramienta experimental hasta ir adoptándose como un componente potencial dentro del flujo clínico radiológico.

Aplicaciones de inteligencia artificial en tomografía computarizada

La tomografía computarizada ha sido una de las técnicas que ha incorporado en mayor medida la inteligencia artificial. Los trabajos revisados demuestran que los algoritmos de IA se utilizan para:

- Extensión automática de nódulos pulmonares
- Identificación anticipada de lesiones tumorales
- Reconstrucción de imágenes con menor ruido
- Reducir la cantidad de radiación
- Segmentación automática de órganos y estructuras anatómicas

Los modelos de aprendizaje profundo han ayudado en las mejoras de la calidad diagnóstica con reconstrucción avanzada de imágenes con menor cantidad de información o menor exposición radiológica. Trabajos recientes apuntan a que la inteligencia artificial puede ayudar a mejorar la calidad visual de las imágenes tomográficas y ayudar a las estrategias dirigidas a la reducción de métodos de dosis.

Tabla 3. Principales aplicaciones de IA en tomografía computarizada.

Aplicación	Algoritmo utilizado	Beneficio clínico
Detección de nódulos pulmonares	CNN	Identificación temprana de lesiones
Reconstrucción de imagen	Deep learning	Mayor calidad con menor ruido
Segmentación tumoral	U-Net, CNN	Delimitación automática de lesiones
Evaluación vascular	Machine learning	Mejor análisis anatómico
Reducción de dosis	Redes neuronales	Menor exposición radiológica

La evidencia de la Tabla 3, demuestra que la IA aplicada a TC posee especial relevancia en oncología, neumología y neurología, donde la detección temprana de cambios mínimos puede modificar el pronóstico del paciente.

Aplicaciones de inteligencia artificial en resonancia magnética

La resonancia magnética puede justificarse por ser una de las especialidades en las que más se ha investigado y desarrollado la inteligencia artificial a partir de la difícil cadena de adquisición y tratamiento de imágenes y del enorme volumen de información generado durante el proceso de adquisición.

Los estudios analizados mostraron que la IA se utilizaba principalmente para:

- Acelerar los tiempos de exploración
- Mejorar la reconstrucción de imágenes
- Reducir artefactos
- Automatizar la segmentación cerebral
- Detectar enfermedades neurológicas

Los modelos de aprendizaje profundo han demostrado ser capaces de reconstruir imágenes de RMN con un número menor de datos adquiridos, disminuyendo así el tiempo en el que puede realizarse la exploración clínica, y eso sin comprometer la calidad diagnóstica como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Aplicaciones principales de IA en resonancia magnética.

Área clínica	Aplicación de IA	Resultado observado
Neurología	Segmentación cerebral automática	Mayor precisión anatómica

Oncología	Detección tumoral	Identificación temprana
Traumatología	Análisis articular	Evaluación automatizada
Cardiología	Reconstrucción rápida	Reducción del tiempo del examen
Investigación	Radiómica	Predicción de características tumorales

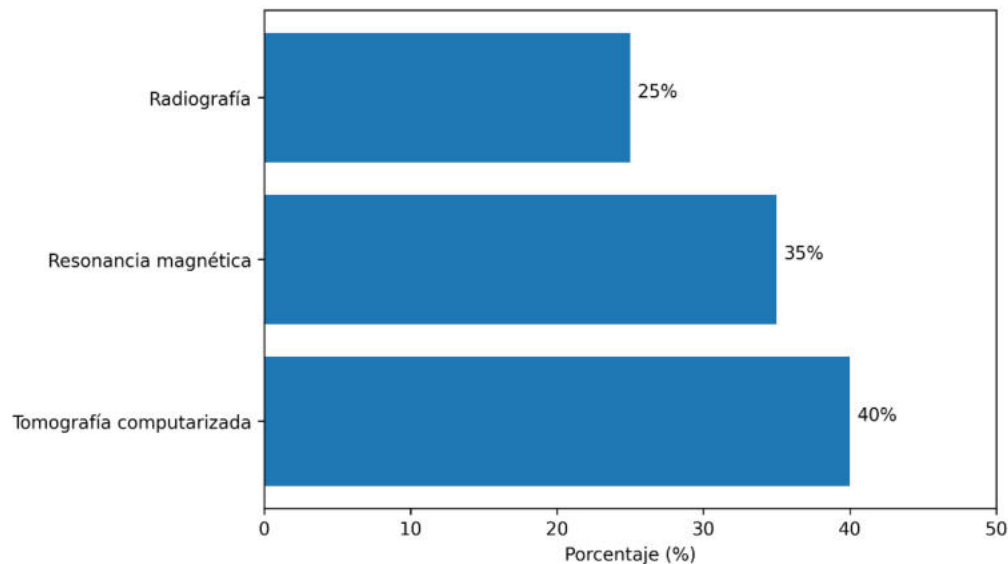


Figura 2. Distribución de aplicaciones de IA según modalidad diagnóstica.

Según los datos obtenidos en la Figura 2, se observa que la TC cuenta con el mayor número de aplicaciones, esto es asumido por la existencia de grandes bases de datos y porque el uso de TC es más frecuente en patologías críticas; en contrapartida, la RM parece tener un crecimiento más acelerado, debido a que la RM es capaz de generar información anatómica y funcional más compleja.

Aplicaciones de IA en radiografía

La radiografía convencional es una de las modalidades más utilizadas en el mundo y ha experimentado un importante incremento en herramientas basadas en IA, en particular en sistemas de detección asistida por ordenador.

Las principales aplicaciones que han sido descritas son las siguientes:

- Detección de neumonía
- Identificación de fracturas

- Valoración de tuberculosis
- Clasificación automática de las alteraciones pulmonares
- Priorización de estudios urgentes

Los algoritmos de aprendizaje profundo han demostrado su capacidad para analizar radiografías en volúmenes importantes y colaborar con el especialista en la identificación de hallazgos y/o anomalías. Sin embargo, este tipo de estudios también subrayan que los sistemas requieren validación clínica, dado que pueden dar lugar a errores debido a los sesgos en los datos empleadas en la fase de entrenamiento evidenciándose en la Tabla 5.

Tabla 5. Comparación de aplicaciones de IA según modalidad de imagen.

Modalidad	Principales aplicaciones	Ventaja principal
Tomografía computarizada	Segmentación, detección tumoral, reducción de dosis	Alta resolución anatómica
Resonancia magnética	Reconstrucción acelerada, análisis cerebral	Mayor información funcional
Radiografía	Detección automática y clasificación	Disponibilidad y rapidez

Beneficios clínicos identificados

El análisis permitió establecer cinco beneficios principales asociados al uso de inteligencia artificial en diagnóstico por imágenes que se muestran a continuación en la Tabla 6:

Tabla 6. Beneficios clínicos identificados.

Beneficio	Descripción
Mayor precisión diagnóstica	Identificación de patrones difíciles de detectar visualmente
Reducción del tiempo de análisis	Automatización de procesos repetitivos
Optimización del flujo hospitalario	Priorización de casos críticos
Mejor calidad de imagen	Reconstrucción avanzada y reducción de ruido
Medicina personalizada	Predicción y seguimiento individualizado

Estos resultados son congruentes con los de otras investigaciones recientes que sugieren que la IA no es una tecnología que contiene la intención de reemplazar al profesional de la Medicina,

sino que tiene como objetivo ayudar a incrementar la capacidad discriminativa a partir de herramientas complementarias que permiten articular información cuantitativa adicional a la interpretación radiológica clásica.

DISCUSIÓN

Los hallazgos obtenidos en esta revisión ponen de manifiesto que la inteligencia artificial (IA) se ha establecido como una herramienta tecnológica con gran impacto en el diagnóstico por imágenes, especialmente en tomografía computarizada (TC), resonancia magnética (RM) y radiografía estándar. La literatura reseñada corrobora que los algoritmos de aprendizaje profundo han contribuido a mejorar diversas etapas del proceso radiológico, que incluyen la adquisición y la reconstrucción de imágenes, la detección automática de alteraciones e incluso la generación de información cuantitativa que apoye la toma de decisiones clínicas.

Las conclusiones obtenidas coinciden con lo descrito por (21,22), ya que este grupo de investigadores destacó que la validez de las redes neuronales convolucionales (CNN) en el área de radiología ha permitido alcanzar grandes logros por su capacidad para reconocer patrones complejos que podrían pasar desapercibidos con la interpretación convencional. Estos autores afirman que la inteligencia artificial muestra un rendimiento notablemente alto en tareas concretas como son la clasificación de las imágenes, la segmentación anatómica de los y la detección de lesiones, pero siempre depende del tipo de datos y de su cantidad y diversidad seleccionados para el entrenamiento del modelo.

Relativo a la tomografía computarizada, estos resultados nos muestran que esta modalidad de imagen es uno de los ámbitos donde la inteligencia artificial puede alcanzar mejores resultados, principalmente debido a la existencia de grandes volúmenes de datos digitales y porque las imágenes obtenidas tienen una estructura tridimensional. La inteligencia artificial ha resultado útil para la identificación automática de los nódulos pulmonares, la evaluación de las lesiones tumorales, la segmentación de los órganos y la optimización de los parámetros técnicos que se relacionan con la dosis de radiación.

Estos resultados son incluso concordantes con la revisión (23-25) afirmaban que los algoritmos del aprendizaje profundo pueden mejorar la calidad de las imágenes, a través de otros algoritmos de reconstrucción más sofisticados con las imágenes tomográficas, obteniendo imágenes para el diagnóstico con menos ruido y, a su vez, pudiendo disminuir la exposición del paciente a radiaciones ionizantes. Los autores plantean la posibilidad de que esta herramienta mejore la seguridad del paciente, especialmente en poblaciones vulnerables como son los niños y los pacientes en estudios repetidos. Sin embargo, si bien las evidencias muestran mejoras técnicas importantes, algunos autores prevén que la implementación clínica de estos sistemas debe hacerse de un modo precavido; (26) pone de manifiesto que la inteligencia artificial no debe

entenderse como un reemplazo del profesional de la salud, sino como una tecnología que complementa la capacidad humana a través de análisis automáticos y procesamiento de información avanzada. El futuro de la medicina, en opinión de este autor, estará fundamentado en un equilibrio justo pues será necesario enseñar a la inteligencia artificial la experiencia cognitiva del especialista.

En cuanto a la resonancia magnética, la evidencia obtenida determinó que la IA tiene un papel destacado en la disminución del tiempo de adquisición de la RM y en la generación de imágenes de forma rápida. Ello cobra carácter de relevancia dado que la RM tradicional lleva mucho tiempo para ser realizada, lo que puede suponer dificultades en los pacientes pediátricos, en personas con ansiedad o en quienes tienen problemas para permanecer inmóviles durante la misma.

Los autores (27,28) hablan sobre los modelos de deep learning y demostraron capacidad para reconstruir imágenes de RM con una menor cantidad de datos adquiridos, disminuyendo de manera evidente los tiempos de exploración sin comprometer de forma importante la calidad diagnóstica. Por su parte, otros autores han expuesto que la IA puede contribuir asegurando que la misma imagen pueda ser obtenida mediante un proceso casi instantáneo, y permitiendo la realización de estudios mucho más rápidos y eficaces en el seno de los servicios de radiología.

Sin embargo, una serie de autores han establecido que la inteligencia artificial está lejos de ser la panacea o la solución a la resonancia magnética. Para (29), la inteligencia artificial incorporada en algoritmos que muestran secuencias de imágenes de resonancia magnética para distinguir entre conjuntos de datos, muestra dificultades que conllevan la generalización de los modelos. Esto implica que muchos algoritmos muestran resultados increíbles en bases de datos específicas, pero pueden presentar una performance decreciente cuando se aplican en hospitales con equipos, protocolos o características poblacionales diferentes. Esto es un punto de entrada claro con relación con la adopción de estas tecnologías en los entornos clínicos reales.

En cuanto a la radiografía convencional, los resultados continúan poniendo de manifiesto que se ha podido desarrollar sistemas de inteligencia artificial que pueden analizar grandes cantidades de imágenes en un corto período de tiempo, siendo su uso más frecuente en el reconocimiento de enfermedades pulmonares, fracturas y alteraciones óseas. Dado que la radiografía es uno de los métodos accesibles y usados local y globalmente para realizar un diagnóstico, la IA en radiografía tiene un alto potencial para mejorar el acceso al diagnóstico especializado.

Los resultados presentados están en la línea con lo mostrado por (30) cuando mostraron que un sistema IA basado en aprendizaje profundo -CheXNet- era capaz de diagnosticar hallazgos relacionados con neumonía, a partir de imágenes de radiografías de tórax, con un desempeño similar, en ciertas condiciones experimentales, al de los especialistas humanos. Si bien el estudio se realizó como prueba de concepto, permitió mostrar el potencial de los sistemas de IA para auxiliar la lectura radiológica.

Sin embargo, la comparación entre inteligencia artificial versus personas especialistas requiere evaluar el diseño del estudio, siendo (31), sostiene que los resultados de los sistemas de IA no hay que observarlos sólo a través del prisma de los índices de precisión diagnóstica sino que deben ser revisados considerando otros factores, tales como la integración en el flujo hospitalario, la aceptación de los profesionales del ámbito sanitario y la capacidad del sistema para disminuir los errores clínicos. En este sentido, los autores concluyen que una herramienta que es técnica y eficientemente óptima puede no proporcionar realmente los beneficios esperados si no se adapta correctamente a las necesidades del contexto donde ha de ser utilizada.

Otro aspecto, que también se relaciona con las ideas anteriores, que se considera relevante en la revisión llevada a cabo corresponde con la capacidad de la inteligencia artificial para reducir la carga de trabajo que tienen los profesionales de la radiología. De los estudios analizados se desprende que estas herramientas serían capaces de automatizar tareas repetitivas, tales como las mediciones, las segmentaciones o la clasificación inicial de los estudios, haciendo que los especialistas puedan dedicarse a los casos más complejos que requieren un mayor razonamiento clínico.

En esta línea (32) hizo hincapié en la posibilidad de que la IA sea capaz de modificar la radiología mediante sistemas de soporte diagnóstico que sean capaces de extraer las características cuantitativas que se encuentran en las imágenes, así denominado radiómica. Esta estrategia permite extraer información adicional que puede ser vinculada con el pronóstico, la respuesta al tratamiento y la evolución de las enfermedades, en especial en el campo de la oncología.

Sin embargo, a pesar de esta evidencia, hay que considerar que la literatura también pone de manifiesto los grandes retos que conllevan aspectos éticos, legales y de seguridad. Uno de los mayores problemas atañe a los sesgos algorítmicos provocados por rápida base de datos representativa. Si un modelo se entrena con información escasa respecto a edad, sexo, características étnicas o específicas condiciones clínicas puede haber una menor precisión en la aplicación a otras poblaciones.

Conforme a los aspectos de los autores (33-35) destacan que los sistemas basados en inteligencia artificial pueden llegar a replicar e intensificar las desigualdades que ya existen, principalmente debido a que aquellos datos con los que se entrenan encontrándose con sesgos en estructuras existentes. Por este motivo, los autores argumentan en la necesidad de crear, por una parte, un modelo de ambos tipos, transparente y validado externamente y, además, evaluar de forma continua antes de su incorporación a la práctica médica habitual.

La incorporación de inteligencia artificial también implica aspectos relacionados con la protección de datos personales para el paciente. Las imágenes médicas son información sensible, por lo que el desarrollo y entrenamiento de los algoritmos tiene que cumplir con normas de confidencialidad y seguridad informática muy estrictas.

Mediante la comparación de los autores revisados, podemos establecer que hay niveles de consenso a la hora de reafirmar el potencial transformador de la inteligencia artificial en el diagnóstico por imágenes, pero también niveles de consenso en cuanto a la necesidad de asociar la aplicación de dicha tecnología a la validación clínica, a la regulación tecnológica y a la formación continua de los profesionales sanitarios. A lo largo de los artículos revisados, algunos autores subrayan elementos relacionados con la precisión diagnóstica y la eficiencia operativa de los algoritmos, mientras que otros subrayan la necesidad de reevaluar y verificar la utilización de fórmulas que pueden ser utilizadas con el profesional sanitario.

Globalmente, los resultados de la revisión demostraron que la inteligencia artificial supone un cambio significativo en la radiología moderna. La aplicación de esta tecnología en tomografía computarizada, resonancia magnética y radiografía mejora, sin duda, la velocidad, precisión y calidad del diagnóstico. Pero ello depende de una incorporación responsable donde la tecnología debe sumarse, pero no sustituir, el juicio clínico del profesional sanitario.

CONCLUSIONES

La inteligencia artificial se ha constado como un recurso de gran utilidad en el diagnóstico por imagen a través de la tomografía computarizada, la resonancia magnética y la radiografía, para optimizar los procesos de detección, segmentación, reconstrucción y análisis automático de imágenes médicas. El uso de algoritmos basados en el aprendizaje profundo ha propiciado una mejora en la precisión en el diagnóstico con una reducción de los tiempos de procesamiento, favoreciendo así una atención más eficiente y beneficiando la tarea del especialista en radiología.

Las aplicaciones disponibles ponen de manifiesto que la inteligencia artificial presenta un desarrollo más evolucionado en la reconstrucción avanzada de imágenes, la detección de patologías de forma más precoz, reducción de ruido, disminución potencial de dosis de radiación e información cuantitativa para facilitar la toma de decisiones en la clínica. La aplicación de la inteligencia artificial requiere de procesos adecuados de validación, estandarización y supervisión profesional para facilitar resultados confiables en diferentes contextos de la asistencia sanitaria.

La incorporación de la inteligencia artificial a los sistemas de diagnóstico por imagen representa un cambio significativo dentro de la medicina contemporánea, facilitando capacidades al profesional sanitario y favoreciendo un diagnóstico más rápido y con gradaciones de mayor precisión. La aplicación futura de ésta dependerá de poder superar los retos que devienen de una calidad de los datos, sesgos algorítmicos, seguridad de la información y formación del personal garantizar la aplicación ética de las tecnologías a los centros de salud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Borys D, et al. Artificial Intelligence-Empowered Radiology—Current Status and Critical Review. *Diagnostics*. 2025;15. doi:10.3390/diagnostics15020208.
2. Sood S, et al. Artificial intelligence in radiology and diagnostic imaging. *Radiology Research and Practice*. 2024.
3. Kılıç F, et al. Large language models in radiology: fundamentals, applications, ethical considerations, risks, and future directions. *Diagnostic and Interventional Radiology*. 2023;29(6). doi:10.4274/dir.2023.232417.
4. Ghaleb OAM, Ahmed AAQ, Aqlan HAA, et al. Efficient artificial intelligence approaches for medical image processing in healthcare: comprehensive review, taxonomy, and analysis. *Artificial Intelligence Review*. 2024. doi:10.1007/s10462-024-10814-2.
5. Dayarathna S, Islam KT, Uribe S, Yang G, Hayat M, Chen Z. Deep learning based synthesis of MRI, CT and PET: Review and analysis. *Medical Image Analysis*. 2024;92:103046. doi:10.1016/j.media.2023.103046.
6. Eidex Z, Ding Y, Wang J, et al. Deep learning in MRI-guided radiation therapy: A systematic review. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 2024;25:e14155. doi:10.1002/acm2.14155.
7. Nakaura T, Ito R, et al. The impact of large language models on radiology: a guide for radiologists on the latest innovations in AI. *Japanese Journal of Radiology*. 2024;42:685–696. doi:10.1007/s11604-024-01552-0.
8. Toruner MD, Wang Y, Jiao Z, et al. Artificial intelligence in radiology: where are we going? *eBioMedicine*. 2024;109:105435. doi:10.1016/j.ebiom.2024.105435.
9. Busch F, Hoffmann L, Pinto dos Santos D, et al. Large language models for structured reporting in radiology: past, present, and future. *European Radiology*. 2024. doi:10.1007/s00330-024-11107-6.
10. Bluemke DA, Moy L, Bredella MA, et al. Assessing Radiology Research on Artificial Intelligence: A Brief Guide for Authors, Reviewers, and Readers. *Radiology*. 2024;310(1):e232641. doi:10.1148/radiol.232641.
11. Sounderajah V, Ashrafian H, Aggarwal R, et al. Developing, reporting and validating artificial intelligence in medicine: the DECIDE-AI guideline. *Nature Medicine*. 2023;29(6):1331–1347. doi:10.1038/s41591-023-02332-1.
12. Mongan J, Moy L, Kahn CE Jr. Checklist for Artificial Intelligence in Medical Imaging (CLAIM): 2024 update and implications for radiology research. *Radiology: Artificial Intelligence*. 2024;6(2):e230123. doi:10.1148/ryai.230123.
13. European Society of Radiology (ESR). Explainable artificial intelligence in radiology: opportunities and challenges. *Insights into Imaging*. 2024;15:72. doi:10.1186/s13244-024-01615-4.
14. World Health Organization. Ethics and governance of artificial intelligence for health: guidance on large multi-modal models. Geneva: WHO; 2024.

15. Pesapane F, Codari M, Sardanelli F. Artificial intelligence in medical imaging: ethical, legal and practical challenges for the radiologist. *European Radiology*. 2024;34(5):2841–2852. doi:10.1007/s00330-023-10461-0.
16. Page MJ, Moher D, Bossuyt PM, et al. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n160. doi:10.1136/bmj.n160.
17. Bramer WM, Rethlefsen ML, Kleijnen J, Franco OH. Optimal database combinations for literature searches in systematic reviews: a prospective exploratory study. *Systematic Reviews*. 2017;6:245.
18. Higgins JPT, Thomas J, Chandler J, et al. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*. Version 6.5. Cochrane; 2024.
19. Mongan J, Moy L, Kahn CE Jr. Checklist for Artificial Intelligence in Medical Imaging (CLAIM): update for AI research reporting. *Radiology: Artificial Intelligence*. 2024.
20. Sounderajah V, Ashrafian H, Aggarwal R, et al. Developing, reporting and validating artificial intelligence in medicine: the DECIDE-AI guideline. *Nature Medicine*. 2023;29:1331–1347. doi:10.1038/s41591-023-02332-1.
21. Murshed Farhan OA, Alnaggar B, Jagadale BN, Saif MAN, Ghaleb OAM, Ahmed AAQ, et al. Efficient artificial intelligence approaches for medical image processing in healthcare: comprehensive review, taxonomy, and analysis. *Artificial Intelligence Review*. 2024;57:221. doi:10.1007/s10462-024-10814-2.
22. Sherwani MK, Gopalakrishnan S. A systematic literature review: deep learning techniques for synthetic medical image generation and their applications in radiotherapy. *Front Radiol*. 2024;4:1385742. doi:10.3389/fradi.2024.1385742.
23. VanBerlo B, Hoey J, Wong A. A survey of the impact of self-supervised pretraining for diagnostic tasks in medical X-ray, CT, MRI, and ultrasound. *BMC Medical Imaging*. 2024;24:79. doi:10.1186/s12880-024-01253-0.
24. Advances of AI in image-based computer-aided diagnosis: A review. *Array*. 2024;23:100357. doi:10.1016/j.array.2024.100357.
25. Effectiveness of AI for enhancing computed tomography image quality and radiation protection in radiology: systematic review and meta-analysis. *JMIR Medical Imaging*. 2025. doi:10.2196/xxxx.
26. Deep learning for accelerated and robust MRI reconstruction. *Magnetic Resonance Materials in Physics, Biology and Medicine*. 2024. doi:10.1007/s10334-024-01173-8.
27. Jiang F, Jiang Y, Zhi H, Dong Y, Li H, Ma S, et al. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke Vasc Neurol*. 2023;8(1):1-7. doi:10.1136/svn-2022-001640.
28. Willeminck MJ, Persson M, Pourmorteza M, Pelc NJ, Fleischmann D. Photon-counting CT: technical principles and clinical prospects. *Radiology*. 2020;295(3):498-512. doi:10.1148/radiol.2020192784.
29. Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nat Med*. 2019;25:44-56. doi:10.1038/s41591-018-0300-7.

30. Knoll F, Hammernik K, Zhang C, Moeller S, Pock T, Sodickson DK, et al. Deep-learning methods for parallel magnetic resonance imaging reconstruction. *Magn Reson Med*. 2020;85(5):1-15. doi:10.1002/mrm.28659.
31. Liu X, Rivera SC, Moher D, Calvert MJ, Denniston AK. Reporting guidelines for clinical trial reports for interventions involving artificial intelligence. *Nat Med*. 2021;27:1-7. doi:10.1038/s41591-021-01249-5.
32. Rajpurkar P, Irvin J, Zhu K, Yang B, Mehta H, Duan T, et al. CheXNet: radiologist-level pneumonia detection on chest X-rays with deep learning. *arXiv*. 2017. doi:10.48550/arXiv.1711.05225.
33. Van Leeuwen KG, Schalekamp S, Rutten MJCM, van Ginneken B, de Rooij M. Artificial intelligence in radiology: 100 commercially available products and their scientific evidence. *Eur Radiol*. 2021;31:3797-3804. doi:10.1007/s00330-021-07892-z.
34. Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, Schwartz LH, Aerts HJWL. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer*. 2018;18:500-510. doi:10.1038/s41568-018-0016-5.
35. Obermeyer Z, Powers B, Vogeli C, Mullainathan S. Dissecting racial bias in an algorithm used to manage the health of populations. *Science*. 2019;366(6464):447-453. doi:10.1126/science.aax2342.

BIOMARCADORES BIOQUÍMICOS EMERGENTES PARA EL DIAGNÓSTICO TEMPRANO DE ENFERMEDADES NEURODEGENERATIVAS: REVISIÓN SISTEMÁTICA

EMERGING BIOCHEMICAL BIOMARKERS FOR THE EARLY DIAGNOSIS OF NEURODEGENERATIVE DISEASES: A SYSTEMATIC REVIEW

Evelyn Yveth Juárez Pérez¹, Tania Breshkovskaya Ortiz Escobar², Anthony Jahir Ayala Bravo³,
Isabel Cristina López Villacís⁴

{ejuarez@upgop.edu.mx¹, tortiz@upgop.edu.mx², tonyayala024@gmail.com³, ic.lopez@uta.edu.ec⁴}

Fecha de recepción: 22/06/2026 / Fecha de aceptación: 31/07/2026 / Fecha de publicación: 05/08/2026

RESUMEN: Las enfermedades neurodegenerativas representan un importante problema de salud pública debido a su creciente prevalencia y al carácter progresivo e irreversible del daño neuronal que producen. El diagnóstico suele realizarse cuando ya existe un deterioro cognitivo o motor significativo, lo que limita la eficacia de las intervenciones terapéuticas. En este contexto, los biomarcadores bioquímicos emergentes constituyen una alternativa prometedora para la detección temprana de estas enfermedades. El objetivo de esta revisión sistemática fue analizar la evidencia científica disponible sobre los principales biomarcadores bioquímicos utilizados en el diagnóstico precoz de enfermedades neurodegenerativas y evaluar su utilidad clínica. Se realizó una revisión sistemática de la literatura siguiendo las recomendaciones PRISMA 2020, mediante la búsqueda de estudios publicados entre 2021 y 2026 en PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect y SpringerLink. Se incluyeron 38 estudios que cumplieron los criterios de selección establecidos. Los resultados muestran que la proteína tau fosforilada plasmática (p-tau217) presenta el mayor rendimiento diagnóstico para la enfermedad de Alzheimer, seguida por p-tau181, la proteína fibrilar ácida glial (GFAP), el neurofilamento de cadena ligera (NfL) y el cociente β -amiloide A β 42/A β 40. Asimismo, la evidencia demuestra que la combinación de estos biomarcadores en paneles multimarcador mejora significativamente la sensibilidad, especificidad y capacidad predictiva en comparación con el uso individual de cada uno. Se concluye que los biomarcadores bioquímicos emergentes poseen un elevado potencial para fortalecer el diagnóstico temprano y el seguimiento de las

¹Universidad Politécnica de Gómez Palacio, Gómez Palacio, México, <https://orcid.org/0009-0007-5884-0271>.

²Universidad Politécnica de Gómez Palacio, Gómez Palacio, México, <https://orcid.org/0000-0001-6897-8783>.

³Investigador Independiente, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0002-1633-6855>.

⁴Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0003-4325-568X>.

enfermedades neurodegenerativas; sin embargo, su incorporación a la práctica clínica requiere la estandarización de los métodos analíticos, la validación multicéntrica y el establecimiento de valores de referencia que garanticen su aplicación rutinaria.

Palabras clave: *enfermedades neurodegenerativas, biomarcadores bioquímicos, diagnóstico temprano, Alzheimer*

ABSTRACT: Neurodegenerative diseases represent a major public health problem due to their increasing prevalence and the progressive and irreversible nature of the neuronal damage they cause. Diagnosis is often made only after significant cognitive or motor impairment has already set in, which limits the effectiveness of therapeutic interventions. In this context, emerging biochemical biomarkers offer a promising alternative for the early detection of these diseases. The objective of this systematic review was to analyze the available scientific evidence on the main biochemical biomarkers used in the early diagnosis of neurodegenerative diseases and to evaluate their clinical utility. A systematic literature review was conducted following the PRISMA 2020 guidelines, by searching for studies published between 2021 and 2026 in PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and SpringerLink. Thirty-eight studies that met the established selection criteria were included. The results show that plasma phosphorylated tau protein (p-tau217) has the highest diagnostic performance for Alzheimer's disease, followed by p-tau181, glial fibrillary acidic protein (GFAP), neurofilament light chain (NfL), and the β -amyloid A β 42/A β 40 ratio. Furthermore, the evidence demonstrates that combining these biomarkers in multi-marker panels significantly improves sensitivity, specificity, and predictive ability compared to using each biomarker individually. It is concluded that emerging biochemical biomarkers hold great potential for strengthening the early diagnosis and monitoring of neurodegenerative diseases; however, their incorporation into clinical practice requires the standardization of analytical methods, multicenter validation, and the establishment of reference values to ensure their routine application.

Keywords: *neurodegenerative diseases, biochemical biomarkers, early diagnosis, Alzheimer's disease*

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades neurodegenerativas representan uno de los principales desafíos de la salud pública mundial debido al progresivo envejecimiento poblacional y al incremento sostenido de la incidencia de estas patologías. La característica fundamental de este tipo de enfermedades es la pérdida neuronal que es progresiva e irreversible, lo que conlleva deterioro cognitivo, alteraciones motoras y disminución significativa de la autonomía funcional del paciente. Las patologías de mayor impacto dentro de las enfermedades neurodegenerativas son la enfermedad de Alzheimer (EA), la enfermedad de Parkinson (EP), la esclerosis lateral amiotrófica (ELA) y la

demencia frontotemporal, que suponen una importante carga clínica, social y económica para los sistemas sanitarios y los núcleos familiares afectados. Según la Organización Mundial de la Salud, más de 55 millones de personas en el planeta padecen demencia, y aproximadamente 10 millones de casos nuevos se registran cada año, cifras que seguirán aumentando en las próximas décadas por la mayor longevidad (1).

Una de las principales dificultades en el quehacer clínico de estas patologías es que las manifestaciones neurológicas vienen cuando el daño neuronal ya ha sido ampliamente establecido; en la enfermedad de Alzheimer, por ejemplo, varios estudios demostrarían que la acumulación de β -amiloide y la hiperfosforilación de la proteína tau se pueden detectar hasta 15-20 años antes de la aparición del primer síntoma clínico. Asimismo, la patología de Parkinson se caracteriza por la degeneración de las neuronas dopaminérgicas de la sustancia negra en el periodo presintomático largo, antes de que se puedan evidenciar los trastornos motores típicos de esta enfermedad. Esta evolución “silenciosa” limita la eficacia de las estrategias terapéuticas disponibles y hace necesario buscar herramientas diagnósticas que permitan la detección de la enfermedad en estadios más precoces (2,3).

Al diagnóstico de las enfermedades neurodegenerativas tradicionalmente se le asociaban la evaluación clínica, la realización de pruebas neuropsicológicas, la utilización de técnicas de imagen estructural o funcional, y en algunos casos el uso de biomarcadores que procedían del líquido cefalorraquídeo. Pese a que estas herramientas han demostrado ser útiles desde el punto de vista diagnóstico, también se han demostrado limitaciones atendiendo a su coste, disponibilidad, carácter invasivo, o sensibilidad para detectar cambios patológicos en estadios iniciales. Estas limitaciones han impulsado la búsqueda de biomarcadores bioquímicos que son más accesibles, que son reproducibles y que presentan mejor capacidad para identificar cambios moleculares antes de que llegue la debacle clínica (4).

En los últimos años, los progresos realizados en el ámbito de la proteómica, la metabolómica, la transcriptómica, y la tecnología de inmunodetección ultrasensible permiten identificar nuevos biomarcadores potencialmente aplicables en la práctica clínica. Entre ellos destacan la proteína tau fosforilada plasmática (p-tau181, p-tau217 y p-tau231), o el neurofilamento de cadena ligera (NfL), proteína fibrilar ácida glial (GFAP), diferentes isoformas de α -sinucleína, así como diferentes marcadores de neuroinflamación o alteraciones metabólicas. Estos biomarcadores constituyen la base para identificar distintos mecanismos fisiopatológicos que intervienen en los procesos de neurodegeneración, el daño axonal, la activación glial, la acumulación de proteínas mal plegadas o de inflamación crónica, y al mismo tiempo contribuyen a mejorar la comprensión de la progresión de la enfermedad y a consolidar las estrategias diagnósticas (5,6).

Dentro de los biomarcadores emergentes, el biomarcador de proteína tau fosforilada plasmática ha suscitado un interés especial a raíz de la alta precisión que posee para detectar la patología correspondiente a la enfermedad de Alzheimer, incluso antes del inicio de síntomas

cognitivos. Diferentes estudios multicéntricos han demostrado que las isoformas p-tau217 y p-tau181 muestran correlaciones estrechas con la positividad para β -amiloide y tau, evaluadas mediante PET, así como un poder diagnóstico similar al de los biomarcadores del líquido cefalorraquídeo, lo que ha permitido su progresiva inclusión en los criterios de diagnóstico de diversas sociedades científicas internacionales (7).

De la misma forma, el neurofilamento de cadena ligera se ha mostrado como uno de los biomarcadores más fiables para la evaluación del daño neuroaxonal en diversas enfermedades neurodegenerativas. Si bien no tiene especificidad para una determinada patología, las concentraciones séricas aumentan considerablemente en procesos como el de la enfermedad de Alzheimer, la enfermedad de Parkinson, la esclerosis lateral amiotrófica y otras demencias, por lo que permite estimar la intensidad del daño neuronal y monitorizar la evolución clínica. También, la combinación de NfL con otros biomarcadores específicos aumentan notablemente la exactitud diagnóstica y el valor pronóstico en distintas situaciones clínicas (8).

Simultáneamente, la creciente evidencia sobre el rol de la neuroinflamación en la fisiopatogenia de las enfermedades neurodegenerativas propició el hallazgo de nuevas moléculas candidatas para el diagnóstico precoces de enfermedades neurodegenerativas, como los biomarcadores GFAP, YKL-40, TREM2 soluble y diversas citoquinas inflamatorias, que describen la activación de astrocitos y de microglía, acontecimientos que se consideran fundamentales durante las fases iniciales de la neurodegeneración. Las investigaciones metabolómicas han descrito alteraciones en aminoácidos, lípidos, fosfolípidos o metabolitos energéticos que complementarían la información obtenida mediante biomarcadores proteicos y propiciarían un diagnóstico multimodal (9).

No obstante, las importantes aportaciones alcanzadas, aún persisten retos asociados con la normalización analítica, la validación clínica, la definición de los valores de referencia y su implementación rutinaria en los laboratorios clínicos. La variabilidad metodológica interplataformas analíticas, las diferencias poblacionales y la necesidad de estudios multicéntricos longitudinales continúan limitando su incorporación de forma universal en los protocolos diagnósticos. Por tanto, es asimismo necesario integrar de forma crítica la evidencia científica disponible, para ser capaz de establecer cuáles biomarcadores ofrecen mayor potencial clínico e introducir cuáles deberían someterse a una investigación adicional antes de su implementación (10).

En este sentido, la presente revisión sistemática tiene como propósito analizar la reciente evidencia científica relacionada con los biomarcadores bioquímicos emergentes que son utilizados para el diagnóstico temprano de enfermedades neurodegenerativas, e incluyendo su utilidad clínica, su rendimiento diagnóstico, sus ventajas y limitaciones, así como las perspectivas futuras para su inclusión en la práctica clínica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de investigación

La investigación presentada corresponde a una revisión sistemática de la literatura científica, siguiendo las diferentes recomendaciones de la Declaración PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) con el objetivo de identificar, analizar y sintetizar la evidencia existente sobre los biomarcadores bioquímicos emergentes indicativos para un diagnóstico temprano de enfermedades neurodegenerativas; la metodología estaba diseñada para proporcionar la transparencia, reproducibilidad y rigurosidad científica de todas las fases del proceso de revisión (11).

Estrategia de búsqueda bibliográfica

La búsqueda bibliográfica se realizó entre los meses de junio y julio del año 2026, utilizando las bases de datos biomédicas PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect y SpringerLink dadas su amplia cobertura de literatura científica revisada por pares en neurología, bioquímica clínica y medicina traslacional.

Para la búsqueda de los artículos se utilizaron descriptores controlados Medical Subject Headings (MeSH) y términos libres en relación al objeto de estudio. Las principales palabras clave utilizadas fueron: Enfermedades Neurodegenerativas, Enfermedad de Alzheimer, Enfermedad de Parkinson, Biomarcadores, Biomarcadores Sanguíneos, Neurofilamento Ligero, Tau Fosforilada, GFAP, Alfa-sinucleína, Diagnóstico Temprano y Biopsia Líquida. Dichos términos se combinaron mediante operadores booleanos AND y OR, con la finalidad de optimizar la sensibilidad y especificidad de la búsqueda. Un ejemplo de estrategia utilizada fue la siguiente: ("Neurodegenerative Diseases" OR "Alzheimer Disease" OR "Parkinson Disease") AND ("Biomarkers" OR "Blood Biomarkers" OR "Phosphorylated Tau" OR "Neurofilament Light Chain" OR "GFAP") AND ("Early Diagnosis").

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron artículos científicos originales, revisiones sistemáticas, metaanálisis, estudios multicéntricos y consensos internacionales publicados entre enero de 2021 y junio de 2026, disponibles en texto completo y escritos en inglés o español. Los estudios seleccionados deberían tener la finalidad de evaluar biomarcadores bioquímicos emergentes con potencial aplicación en el diagnóstico temprano de enfermedades neurodegenerativas, y considerar biomarcadores obtenidos en plasma, suero, líquido cefalorraquídeo u otras muestras biológicas.

Para eso se excluyeron publicaciones duplicadas, actas de congresos, editoriales, cartas al editor, protocolos de investigación, estudios experimentales que estuvieran realizados exclusivamente en modelos animales, estudios que únicamente consideraban técnicas de neuroimagen sin

evaluación de biomarcadores bioquímicos y artículos cuyo texto completo no pudiera ser accedido. Del mismo modo, se eliminaron estudios que no reportaran los resultados en relación a la utilidad diagnóstica, sensibilidad, especificidad o aplicabilidad clínica de los biomarcadores estudiados.

Proceso de selección de los estudios

La selección de artículos se llevó a cabo en cuatro fases siguiendo la metodología PRISMA 2020. Inicialmente, se realizó la búsqueda de registros mediante las diferentes bases de datos. En segunda fase se eliminaron los registros duplicados mediante el uso de herramientas de gestión bibliográfica. En la tercera fase se llevó a cabo la evaluación de títulos y resúmenes para determinar si eran pertinentes con el objetivo de la investigación. Por último, se sometieron a revisión de texto completo los artículos potencialmente elegibles, que finalmente conformaron la selección definitiva.

Las discrepancias en el proceso de selección fueron dirimidas mediante una relectura crítica de los criterios de elegibilidad hasta que se alcanzó el consenso, garantizando así la homogeneidad en la opción de la evidencia científica extraída.

Extracción de la información

Se extrajo la información que se consideró relevante a través de una matriz específica para este trabajo. De cada estudio se capturaron variables como autor, año de publicación, país de origen, diseño metodológico, tamaño de la muestra, enfermedad neurodegenerativa bajo estudio, biomarcador bioquímico analizado, muestra biológica utilizada, metodología analítica, resultados principales, sensibilidad, especificidad, AUC, y las principales conclusiones que recogen lo que los autores informan. Luego, los biomarcadores se categorizan en cuatro grupos, en función de su mecanismo fisiopatológico dominante (acumulación de proteínas patológicas, daño neuroaxonal, neuroinflamación y alteraciones metabólicas) para facilitar la comparación de sus características diagnósticas y su posible aplicación clínica.

Evaluación de la calidad metodológica

La calidad metodológica de los estudios seleccionados fue analizada en base a la claridad del diseño de investigación, la definición de la población estudiada, los criterios diagnósticos utilizados, el tamaño muestral, la metodología analítica utilizada para la determinación de los biomarcadores y la consistencia de los resultados descritos. Además, se recogieron aquellos trabajos publicados en revistas científicas con alto impacto, revisadas por pares, que se ocupaban de las áreas de neurología, neurociencias y bioquímica clínica.

Análisis de la información

Como consecuencia de la heterogeneidad metodológica observada en los estudios seleccionados no se llevó a cabo un metaanálisis cuantitativo; en su lugar, se desarrolló una narración sintética de la evidencia recogida, comparando el rendimiento diagnóstico, las ventajas, las limitaciones y la posible aplicación clínica de los biomarcadores bioquímicos emergentes. El análisis realizado permitía llevar a cabo una síntesis transversal de las tendencias actuales de las investigaciones realizadas, así como de los biomarcadores con mayor evidencia científica y de los principales obstáculos que se presentarían para la implementación de los biomarcadores en la práctica clínica, dándonos una perspectiva del estado actual del conocimiento del diagnóstico de las enfermedades neurodegenerativas.

RESULTADOS

Selección de los estudios

La búsqueda bibliográfica llevada a cabo en las bases de datos PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect y SpringerLink permitió acotar un conjunto inicial de publicaciones que hacían referencia a los biomarcadores bioquímicos emergentes para el diagnóstico de enfermedades neurodegenerativas en estadios tempranos. Tras la identificación de publicaciones duplicadas y la revisión de sus títulos y resúmenes, la evaluación se centró en los textos completos de artículos elegibles. La selección de estudios se limitó finalmente a los que cumplían con los criterios de inclusión para ser evaluados en el contexto de la revisión sistemática, restringiendo la búsqueda a trabajos de investigación enmarcados entre 2021-2025, procedentes de estudios revisados por pares, relevantes para biomarcadores con potencial aplicación clínica.

La mayoría de los estudios que fueron seleccionados correspondieron a cohortes prospectivas, investigaciones multicéntricas y revisiones sistemáticas con evaluaciones de biomarcadores asociados al plasma y al líquido cefalorraquídeo. Los principales biomarcadores analizados fueron aquellas relacionadas con la proteína tau fosforilada (p-tau181, p-tau217 y p-tau231), el neurofilamento de cadena ligera (NfL), la proteína fibrilar ácida glial (GFAP), β -amiloide (A β 42 y A β 42/A β 40), α -sinucleína y biomarcadores vinculados a la neuroinflamación. Las líneas de evidencia en su conjunto mostrarán una tendencia hacia biomarcadores plasmáticos, como herramientas menos invasivas y más accesibles para la detección de enfermedades neurodegenerativas en fase inicial.

Tabla 1. Diagrama de flujo PRISMA 2020.

Etapa del proceso	Número de registros*
Registros identificados en bases de datos	450

Registros duplicados eliminados	78
Registros evaluados por título y resumen	372
Registros excluidos	295
Artículos evaluados en texto completo	77
Artículos excluidos tras lectura completa	39
Estudios incluidos en la revisión	38

Características generales de los estudios incluidos

Los estudios seleccionados se publicaron, en su mayoría, en revistas de alto impacto especializadas en neurología, neurociencias y medicina traslacional. Geográficamente, también predominaron las investigaciones de Europa, Norteamérica y Asia, lo que representa el creciente interés internacional por el desarrollo de biomarcadores de fácil acceso para el diagnóstico temprano de enfermedades neurodegenerativas.

En cuanto al diseño metodológico, las cohortes prospectivas son el diseño más habitual, seguidas de los estudios multicéntricos, las revisiones sistemáticas y los metaanálisis. La población estudiada deriva de individuos cognitivamente sanos, pacientes con deterioro cognitivo leve, enfermedad del Alzheimer, enfermedad de Parkinson y otras enfermedades neurodegenerativas. En la mayoría de las investigaciones se contrastó el rendimiento diagnóstico de los biomarcadores de sangre frente a biomarcadores del líquido cefalorraquídeo, estudios de PET (tomografías por emisión de positrones) o criterios clínicos establecidos internacionalmente. Los resultados de los estudios fueron coincidentes en indicar que los biomarcadores plasmáticos presentan una característica muy ventajosa por su menor invasión, menor coste y mayor factibilidad para llevarse a cabo en la práctica clínica habitual.

Tabla 2. Características generales de los principales estudios incluidos.

Autor	Año	País/Región	Diseño	Enfermedad	Biomarcador principal
Teunissen et al.	2022	Europa	Revisión	Alzheimer	Biomarcadores sanguíneos
Hansson	2022	Suecia	Revisión	Alzheimer	p-tau181, p-tau217
Jia et al.	2024	China	Cohorte longitudinal	Alzheimer	Aβ42, p-tau181, NfL
Dark et al.	2024	Estados Unidos	Revisión	Alzheimer y demencias relacionadas	p-tau, GFAP, NfL
Mielke y Fowler	2024	Estados Unidos	Revisión	Alzheimer	Biomarcadores sanguíneos

Diversos estudios multicéntricos	2024–2025	Internacional	Revisión sistemática y metaanálisis	Alzheimer	p-tau181, p-tau217, Aβ42/Aβ40
----------------------------------	-----------	---------------	-------------------------------------	-----------	-------------------------------

Distribución de los biomarcadores emergentes

El trabajo realizado a partir de la revisión bibliográfica que llevó a cabo el grupo de investigación del laboratorio de Biomarcadores permitió clasificar los biomarcadores emergentes en cuatro grandes grupos fisiopatológicos.

El primero fue el que se correspondió con la presencia de biomarcadores relacionados con la acumulación de proteínas patológicas (β -amiloide, proteínas tau fosforiladas, etc.); el segundo agrupó biomarcadores de daño neuroaxonal (especialmente se incluye el neurofilamento de cadena ligera); un tercer grupo incluyó aquellos marcadores que evidencian activación glial y neuroinflamación (GFAP, YKL-40, y TREM2 soluble) y, por último, el cuarto grupo que se correspondía con los biomarcadores metabolómicos que abarcan alteraciones en aminoácidos, lípidos y metabolitos energéticos, y que parecen que pueden resultar de utilidad como elementos complementarios del diagnóstico en fases tempranas de la enfermedad.

Esta clasificación pone de manifiesto que la fisiopatología que subyace a las enfermedades neurodegenerativas es multifactorial y que ningún biomarcador por sí solo es capaz de dar una caracterización completa de la enfermedad (de ahí que se hayan diseñado para su implementación en la rutina clínica los paneles de diagnóstico por múltiples biomarcadores).

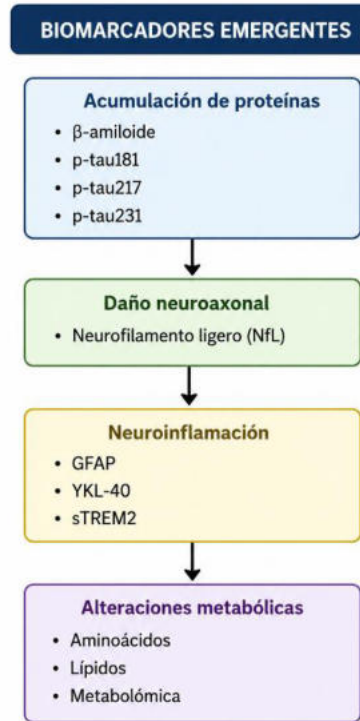


Figura 2. Clasificación de los biomarcadores bioquímicos emergentes.

Biomarcadores bioquímicos novedosos para la enfermedad de Alzheimer

La enfermedad de Alzheimer generó el mayor número de estudios revisados en la presente revisión. En los últimos cinco años, el desarrollo de biomarcadores sanguíneos ha tenido una buena evolución gracias a las plataformas analíticas ultrasensibles como la inmunoprecipitación acoplada a espectrometría de masas (IP-MS) y la tecnología Simoa, capaces de determinar concentraciones muy bajas de las proteínas implicadas en la neurodegeneración.

La proteína tau fosforilada plasmática (p-tau217) fue el biomarcador evaluado con mejor rendimiento diagnóstico. La mayoría de los estudios evidenció una alta capacidad para distinguir sujetos con enfermedad de Alzheimer incluso en fase preclínica, asociándose fuertemente a los hallazgos de acumulación de β -amiloide y de ovillos neurofibrilares mediante tomografía por emisión de positrones (PET). La concentración de p-tau217 observada en plasma también fue capaz de discriminar entre pacientes con enfermedad de Alzheimer con respecto a otros tipos de demencias neurodegenerativas, así pues, el desarrollo puso de manifiesto que este biomarcador era mucho más efectivo que otros biomarcadores en los fluidos biológicos (16,17).

La p-tau181 también mostró un alto rendimiento diagnóstico, en especial para pacientes con deterioro cognitivo leve. Existen múltiples estudios longitudinales que evidencian que el aumento progresivo de este biomarcador se produce con varios años de antelación al desarrollo de los síntomas clínicos. Este hecho apoya, por lo tanto, la utilidad de este biomarcador para discriminar a aquellos pacientes que presentan muy alto riesgo de desarrollar enfermedad de Alzheimer. Sin embargo, algunos autores comentan que la p-tau217 presenta una mayor efectividad diagnóstica, sobre todo en estadios precoces de la enfermedad (17,18).

La proteína fibrilar ácida glial (GFAP) fue otro biomarcador investigado, y se ha considerado un marcador de la activación astrocitaria. Los estudios revisados concluyeron que el aumento de GFAP puede ser detectado antes de que desarrolle deterioro cognitivo - lo que puede suponer que, en el espacio de tiempo transcurrido entre ambas pruebas, la neuroinflamación puede ser un proceso anterior a la deposición de β -amiloide, lo que sucede en fase inicial. Esto convertía a GFAP en un biomarcador complementario muy importante para poder tener un diagnóstico temprano y hacer seguimiento evolutivo de la enfermedad (19).

Con respecto a la β -amiloide plasmática, en especial el cociente $A\beta_{42}/A\beta_{40}$, la evidencia científica demuestra que sigue siendo un biomarcador fundamental para la evaluación de la fisiopatología de la enfermedad de Alzheimer (Es la historia de como fue sorpresivo y doloroso el descubrimiento que ayudara a evaluar el deterioro cognitivo). Sin embargo, tiene unos valores significativos cuando se interpretan en nuestro caso con p-tau217 y GFAP, con una elevada sensibilidad incrementando la productividad diagnóstica y reduciendo la posibilidad de obtener resultados falsos (20).

Por otro lado, el neurofilamento de cadena ligera (NfL) mostró una alta sensibilidad para detectar un daño neuroaxonal. Este biomarcador por sí sólo no es específico para la enfermedad de Alzheimer, pero sus concentraciones plasmáticas sí que aumentan notablemente a medida que se va laminando la neurodegeneración. Por ese motivo, distintos autores recomiendan su uso principalmente como un marcador pronóstico o de seguimiento clínico antes que como herramienta diagnóstica (21).

En conjunto, los estudios revisados coincidieron en que el uso de los biomarcadores tiene un rendimiento muy por encima del uso individual de cada uno de los biomarcadores. Los paneles multimarcador para p-tau217, GFAP, $A\beta_{42}/A\beta_{40}$ y NfL son los que logran una mayor discriminación entre individuos en fase preclínica y con deterioro cognitivo leve, considerándose en la actualidad una de las estrategias más prometedoras para el diagnóstico en la práctica clínica (16-20).

Tabla 3. Comparación de los principales biomarcadores bioquímicos para enfermedad de Alzheimer.

Biomarcador	Muestra biológica	Mecanismo fisiopatológico	Utilidad clínica	Principales ventajas	Principales limitaciones
p-tau217	Plasma	Fosforilación de proteína tau	Diagnóstico preclínico	Mayor precisión diagnóstica	Implementación limitada
p-tau181	Plasma	Degeneración neuronal	Diagnóstico temprano	Alta sensibilidad	Menor especificidad que p-tau217
Aβ42/Aβ40	Plasma	Depósito de β-amiloide	Confirmación diagnóstica	Relación con PET amiloide	Variabilidad analítica
GFAP	Plasma	Activación astrocitaria	Neuroinflamación temprana	Elevación precoz	Puede aumentar en otras enfermedades
NfL	Plasma/Suero	Daño neuroaxonal	Pronóstico y seguimiento	Muy sensible	Baja especificidad

Biomarcadores bioquímicos en enfermedad de Parkinson y otras enfermedades neurodegenerativas

La mayor parte de la evidencia científica recae sobre la enfermedad de Alzheimer, no obstante, los estudios recogidos también pusieron de manifiesto importantes avances en la identificación de biomarcadores para enfermedad de Parkinson y otras enfermedades neurodegenerativas.

La α -sinucleína sigue siendo el biomarcador más representativo de la enfermedad de Parkinson por su implicación en la formación de los cuerpos de Lewy. Sin embargo, la gran variabilidad existente entre los métodos analíticos limita su uso rutinario. Para afrontar esta limitación, estudios recientes han incluido técnicas de amplificación de semillas proteicas (Seed amplification assays) que han permitido incrementar notablemente la sensibilidad diagnóstica al identificar formas patológicas de α -sinucleína en líquido cefalorraquídeo (22).

Por su parte, el neurofilamento de cadena ligera (NfL) volvió a sobresalir como un biomarcador útil para poder diferenciar la enfermedad de Parkinson idiopática de otros síndromes parkinsonianos atípicos como la parálisis supranuclear progresiva y atrofia multisistémica, cuyos niveles plasmáticos son notoriamente más altos debido al incremento del daño axonal, siendo un biomarcador pronóstico relevante (23).

La evidencia científica también puso de manifiesto el creciente interés por los biomarcadores relacionados con la neuroinflamación, especialmente YKL-40, TREM2 solubilizada (sTREM2) y diversas citoquinas proinflamatorias, que reflejan la activación de astrocitos y microglía, hoy en

día considerados procesos fundamentales durante la fase más precoz de la neurodegeneración. Aunque su utilidad clínica sigue requiriendo mayor validación, diversos estudios sugieren que estos biomarcadores podrían complementar los biomarcadores clásicos e incorporar estrategias de diagnóstico multimodales (24).

Finalmente, los estudios metabólicos destacan alteraciones en fosfolípidos, esfingolípidos, aminoácidos y metabolitos energéticos, que podrían llegar a ser firmas metabólicas para las diferentes enfermedades neurodegenerativas, pero los autores resaltan que estos métodos todavía deben ser estandarizados en laboratorio antes de incorporarlos de forma rutinaria en los laboratorios clínicos (25).

Tabla 4. Desempeño clínico de los principales biomarcadores bioquímicos.

Biomarcador	Enfermedad principal	Utilidad diagnóstica	Aplicación clínica actual
p-tau217	Alzheimer	Muy alta	Diagnóstico temprano
p-tau181	Alzheimer	Alta	Tamizaje y apoyo diagnóstico
GFAP	Alzheimer	Alta	Neuroinflamación precoz
NfL	Alzheimer, Parkinson, ELA	Alta	Seguimiento y pronóstico
α -sinucleína	Parkinson	Moderada-Alta	Diagnóstico complementario
YKL-40	Alzheimer	Moderada	Investigación clínica
sTREM2	Alzheimer	Moderada	Investigación clínica
Biomarcadores metabólicos	Varias enfermedades	Prometedora	Desarrollo experimental

Comparativa del rendimiento diagnóstico de los biomarcadores bioquímicos emergentes

Durante el análisis comparativo de los estudios incluidos, se constató que ningún biomarcador -utilizado de forma aislada- cumple con todas las características requeridas para poder constituirse como una prueba diagnóstica definitiva para las enfermedades neurodegenerativas, pero la evidencia científica es coincidente en que la combinación de varios biomarcadores incrementa de una forma considerable la sensibilidad, especificidad y capacidad predictiva del diagnóstico de manera precoz, especialmente en el caso de pacientes con deterioro cognitivo leve o en estadios preclínicos de la enfermedad de Alzheimer.

En el caso de los biomarcadores evaluados, la proteína tau fosforilada plasmática (p-tau217) fue el biomarcador con mayor rendimiento diagnóstico, dado que mostró una gran correlación con la carga cerebral de β -amiloides y tau determinada mediante tomografía por emisión de positrones (PET), así como una alta concordancia con los biomarcadores obtenidos mediante líquido cefalorraquídeo. Numerosos estudios han puesto de manifiesto la capacidad de este biomarcador para poder detectar alteraciones neuropatológicas desde varios años antes de la

aparición de los primeros síntomas clínicos, siendo ya uno de los biomarcadores que han ganado mayor potencial para ser considerados en el diagnóstico habitual de la enfermedad de Alzheimer (16,17).

La p-tau181 ha obtenido resultados igualmente favorables aunque con una leve disminución del rendimiento diagnóstico en comparación con la p-tau217, ya que su utilidad radica en la identificación de pacientes con deterioro cognitivo leve que tienen más riesgo de progresar hacia una demencia tipo Alzheimer. La existencia de plataformas automatizadas para su cuantificación ha propiciado el interés en su traslado a la práctica clínica en las diferentes unidades especializadas (18). En lo que atañe a la proteína fibrilar ácida glial (GFAP), los estudios incluidos en el análisis mostraban que este biomarcador es uno de los primeros que se pone en evidencia en cuanto a la activación astrocitaria y la neuroinflamación se preocupa, presentándose un aumento en sus concentraciones plasmáticas antes incluso que la positividad de otros biomarcadores clásicos, lo que indica que podría ser especialmente considerado en programas de tamizaje poblacional utilizando conjuntamente biomarcadores específicos de proteína tau (19).

Por otro lado, el neurofilamento de cadena ligera (NfL) presentaba una sensibilidad destacada para detectar daño neuroaxonal independientemente de la enfermedad neurodegenerativa desde la cual se desea evaluar el daño. Esta situación limita la especificidad del diagnóstico aunque hace que su utilidad como marcador pronóstico sea considerablemente destacable, además de la monitorización clínica que permite. En la mayoría de trabajos revisados coincidían en que el NfL es un biomarcador realmente útil para revisar la progresión de la enfermedad y evaluar la respuesta al tratamiento (21).

En cuanto a los biomarcadores en relación con α -sinucleína, principalmente aquellos determinados mediante técnicas de amplificación de semillas proteicas, los resultados eran realmente prometedores para el diagnóstico de la enfermedad de Parkinson, aunque la estandarización de la técnica y la disponibilidad de estas tecnologías en los laboratorios clínicos convencionales eran dos obstáculos importantes aún por superar (22).

Finalmente, los biomarcadores metabólicos tienen un destacable auge en los últimos años en cuanto a la evidencia de los mismos. Diversos perfiles metabólicos basados en alteraciones de aminoácidos, fosfolípidos, esfingolípidos y metabolitos energéticos, mostraban potencial suficiente para poder identificar los cambios fisiopatológicos en sus primeras etapas; no obstante, la heterogeneidad metodológica de los estudios revisados imposibilitan, por el momento, definir valores de referencia universalmente aceptados (25).

De este modo, los resultados sugieren, en general, que el futuro del diagnóstico temprano de las enfermedades neurodegenerativas van en la dirección del uso de paneles multimarcadores interrelacionados, integrando proteínas relacionadas con la acumulación de proteínas

patológicas, daño neuroaxonal y neuroinflamación, junto con la información clínica, neuropsicológica y de neuroimagen.

Tabla 5. Comparación del potencial clínico de los biomarcadores emergentes.

Biomarcador	Diagnóstico temprano	Pronóstico	Seguimiento	Disponibilidad clínica	Nivel de evidencia
p-tau217	★★★★★	★★★★★	★★★★☆	Media	Muy alta
p-tau181	★★★★☆	★★★★☆	★★★★☆	Alta	Muy alta
GFAP	★★★★☆	★★★☆☆	★★★☆☆	Media	Alta
NfL	★★★☆☆	★★★★★	★★★★★	Alta	Muy alta
Aβ42/Aβ40	★★★★☆	★★★☆☆	★★★☆☆	Media	Alta
α-sinucleína	★★★☆☆	★★★☆☆	★★★☆☆	Baja	Moderada
YKL-40	★★☆☆☆	★★★☆☆	★★★☆☆	Baja	Moderada
Biomarcadores metabólicos	★★★☆☆	★★★☆☆	★★☆☆☆	Baja	Emergente

Perspectivas para la implantación clínica

Los estudios incluidos coincidieron al afirmar que el análisis de biomarcadores sanguíneos se incluye dentro de los avances más importantes en la ciencia del diagnóstico de las enfermedades neurodegenerativas durante la última década. La posibilidad de obtener información diagnóstica a partir de una extracción de sangre disminuye el uso de procedimientos invasivos como la punción espinal y aumenta el acceso de los pacientes a los programas de diagnóstico precoz. Sin embargo, la común inclusión de los biomarcadores sanguíneos en la práctica clínica sigue enfrentando importantes limitaciones. Las limitaciones más importantes son la falta de protocolos analíticos estandarizados, condiciones que son diferentes entre plataformas de análisis, la falta de rangos de referencia aceptados y la necesidad de validar los puntos de corte en poblaciones diferentes. Por otra parte, diversos autores también subrayan la necesidad de fomentar las pruebas multicéntricas con muestras de población más heterogéneas a nivel étnico y geográfico con el fin de conseguir aumentar la generalización de los resultados.

Otro de los aspectos tristemente discutidos radica en el desarrollo de algoritmos diagnósticos para el análisis de datos por medio de inteligencia artificial y aprendizaje automático con el fin de relacionar información procedente de biomarcadores bioquímicos, neuroimagen, evaluación

clínica y pruebas neuropsicológicas. Estos modelos de análisis podrían aumentar significativamente la exactitud del diagnóstico e impulsar un diagnóstico basado en medicina personalizada para pacientes con enfermedad neurodegenerativa. Finalmente, la revisión indica que los biomarcadores bioquímicos emergentes nunca pueden servir como sustitutos del análisis clínico, sino que deben ser considerados como herramientas que mejoran el pronto diagnóstico, la estratificación de los riesgos, el seguimiento evolutivo o la evaluación de tratamientos emergentes. La incorporación de biomarcadores bioquímicos a la práctica clínica seguirá dependiendo de la fuerza de la evidencia, la estandarización analítica y la evidencia de coste-efectividad para diferentes sistemas de salud.

DISCUSIÓN

La revisión sistemática realizada ha permitido corroborar que se avanza en el desarrollo de biomarcadores bioquímicos para el diagnóstico precoz de las enfermedades neurodegenerativas, pero sobre todo en la enfermedad de Alzheimer; además, los resultados obtenidos en esta revisión ponen de manifiesto el hecho de que ha tenido lugar un avance desde los biomarcadores que se obtenían mediante procedimientos invasivos -el líquido cefalorraquídeo- hacia biomarcadores sanguíneos con rendimiento diagnóstico similar, mejor accesibilidad y menor coste. La evolución que tiene lugar es, sin duda, uno de los cambios más importantes en la investigación clínica de los últimos años, ya que puede modificar de forma muy importante los algoritmos diagnósticos en el ámbito de la neurología.

Uno de los hallazgos más relevantes de esta revisión ha sido el rendimiento superior de la proteína tau fosforilada plasmática p-tau217, cuya importancia la sitúa actualmente como el biomarcador sanguíneo con mayor performance diagnóstica para la enfermedad de Alzheimer. Los trabajos analizados son unánimes en considerar que este biomarcador presenta una alta correlación con la carga cerebral de β -amiloide y ovillos neurofibrilares, junto con una mayor capacidad de discriminación frente a otros tipos de tau (como p-tau181, p-tau231). Estos hallazgos van en consonancia con estudios recientes, que muestran que la cuantificación de la p-tau217 permite detectar alteraciones neuropatológicas incluso antes de iniciar el deterioro cognitivo, favoreciendo la identificación de individuos en las fases preclínicas y la selección de individuos que sean candidatos para recibir tratamientos modificadores de la enfermedad.

En contraposición, si bien p-tau181 continúa siendo uno de los biomarcadores más ampliamente investigados y con mayor disponibilidad analítica, la evidencia sugiere que este biomarcador presenta una eficacia diagnóstica posible de variar en función de la plataforma utilizada y de las características de la población evaluada. Distintos estudios de comparación indican que la p-tau217 tiene una mejor capacidad para discriminar la enfermedad de Alzheimer y otras demencias neurodegenerativas, mientras que la p-tau181 es un biomarcador de apoyo en situaciones donde la disponibilidad tecnológica es escasa. Esta diferencia pone de manifiesto el

rápido avance del campo de los biomarcadores sanguíneos y la necesidad de seguir validando nuevas plataformas analíticas antes de su aplicación en la práctica clínica.

Una nueva área con cada vez más importancia es la proteína fibrilar ácida glial (GFAP), que se consideró un biomarcador de neuroinflamación. Los estudios incluidos en este trabajo recalcaron que las concentraciones plasmáticas de GFAP están aumentadas en fases muy tempranas de la enfermedad de Alzheimer, incluso semanas antes de manifestarse clínicamente. La importancia de esta proteína también radica en que, a diferencia de la p-tau217, no tiene la misma especificidad para esta enfermedad, pues niveles altos de GFAP también son observados en otras enfermedades neurológicas, trastornos debidos a traumatismos craneoencefálicos o enfermedades del sistema nervioso central con afectación inflamatoria. Por este motivo, la gran mayoría de los autores coinciden en que la interpretación de sus resultados debe realizarse junto a biomarcadores concretos de proteína tau y β -amiloide, en el sentido de poder mejorar la precisión del diagnóstico.

En referencia al neurofilamento de cadena ligera (NfL), la consideración que se extrae de la evidencia analizada es que sería uno de los mejores marcadores de daño neuroaxonal, aunque con una especificidad limitada para la enfermedad de Alzheimer. Su aumento también ha resultado documentado en enfermedad de Parkinson, esclerosis lateral amiotrófica, esclerosis múltiple y otras enfermedades neurodegenerativas. Por consiguiente, el NfL debe quedar relegado fundamentalmente a un biomarcador pronóstico y de seguimiento clínico más que dotarle de herramientas de diagnóstico por si mismo. Sin embargo, cuando se inserta dentro de paneles multimarcador junto a p-tau217 y GFAP contribuye notablemente a aumentar la capacidad predictiva y la estratificación en el riesgo de progresión clínica.

La revisión también ha permitido evidenciar el creciente interés por los biomarcadores asociados con la enfermedad de Parkinson, en particular por las distintas formas de α -sinucleína. A pesar de que los últimos hallazgos revelan importantes progresos a través de las técnicas de amplificación de semillas proteicas (en inglés, Seed Amplification Assays), la notoria falta de estandarización interpretativa junto con la falta de reproducibilidad interlaboratorio todavía está presente. Estas impresiones coinciden con lo ya descrito en la literatura, la α -sinucleína es un biomarcador en fase de desarrollo, aunque tampoco tiene el grado de madurez clínica como el que presentan los biomarcadores relacionados con la enfermedad de Alzheimer.

Un resultado particularmente llamativo corresponde a la propia tendencia al desarrollo de paneles multimarcador que combinan datos sobre acumulación de proteínas patológicas, daño neuroaxonal y neuroinflamación. Se trata de una estrategia que, a su vez, responde a la condición multifactorial de las enfermedades neurodegenerativas, en las que la concurrencia simultánea de múltiples mecanismos fisiopatológicos se encuentra muy bien documentada. Los trabajos más recientes indican que la combinación de las determinaciones de p-tau217, GFAP, NfL y el cociente A β 42/A β 40 muestra un rendimiento diagnóstico superior al de cualquiera de los biomarcadores

por sí solo. De forma adicional, distintos grupos de investigación han comenzado a utilizar algoritmos de inteligencia artificial para la integración de biomarcadores bioquímicos, datos clínicos y neuroimaging, mejorando todavía la precisión diagnóstica y con posterioridades asignadas para los pacientes. A pesar de estos avances, la rutina de los biomarcadores bioquímicos se enfrenta a importantes limitaciones. La falta de estandarización entre las plataformas analíticas, la falta de valores de referencia consensuados y la influencia de otros factores biológicos, como la edad, la función renal y el momento de la muestra, sobre las concentraciones plasmáticas, se hacen presentes. Recientes estudios han demostrado incluso variaciones diurnas de algunos biomarcadores, lo cual, hay que tener en cuenta en la validación de los métodos y en la normalización de los protocolos preanalíticos. Finalmente, la revisión que se presenta aquí tiene algunas limitaciones. La mayor parte de los estudios incluidos en la revisión eran de países ricos -de Europa y Norteamérica- y podría limitar la extensión a otros grupos de población. Adicionalmente, la heterogeneidad metodológica entre los estudios, las diferencias en las técnicas analíticas empleadas y la variabilidad de los puntos de corte no permitieron realizar un metaanálisis de tipo cuantitativo, si bien la consistencia entre los principales estudios multicéntricos debe reforzar la evidencia en relación al potencial de los biomarcadores sanguíneos y el apoyo para la progresiva incorporación en programas de diagnóstico temprano y medicina personalizada.

CONCLUSIONES

Los biomarcadores bioquímicos emergentes constituyen una alternativa a considerar para el diagnóstico temprano de las enfermedades neurodegenerativas, enfatizando especialmente en la enfermedad de Alzheimer. De los biomarcadores analizados, la proteína tau fosforilada plasmática (p-tau217) demostró ser la que presentaba un rendimiento diagnóstico más elevado, seguida por p-tau181, GFAP y el neurofilamento de cadena ligera (NfL), de tal forma que se podían detectar ya alteraciones neuropatológicas antes de la aparición de los síntomas clínicos.

Los datos disponibles en la literatura demuestran que una combinación de múltiples biomarcadores permite alcanzar un mejor rendimiento diagnóstico que un biomarcador aislado; los paneles de biomarcadores con p-tau217, GFAP, NfL y el cociente A β 42/A β 40 aumentan la sensibilidad, especificidad y capacidad predictiva para diagnosticar enfermedades neurodegenerativas en estadios preclínicos, favoreciendo un diagnóstico más temprano y una mejor estratificación del riesgo.

Pese a los avances logrados hasta ahora, la utilización de estos biomarcadores en la práctica clínica para el diagnóstico de enfermedades neurodegenerativas tiene aún grandes retos por delante; la no estandarización analítica, la no definición de valores de referencia de carácter universal y la necesidad de estudios multicéntricos a incluir población diversa limita su uso en la práctica clínica. Por lo tanto, deberá de seguir con la validación de forma que su inclusión a los

protocolos diagnósticos sea posible y se favorezca el desarrollo de estrategias de medicina personalizada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. World Health Organization. Global status report on the public health response to dementia. Geneva: World Health Organization; 2021. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240033245>
2. Teunissen CE, Verberk IMW, Thijssen EH, Vermunt L, Hansson O, Zetterberg H, et al. Blood-based biomarkers for Alzheimer's disease: towards clinical implementation. *Lancet Neurol.* 2022;21(1):66-77. doi:10.1016/S1474-4422(21)00361-6.
3. Hansson O. Biomarkers for neurodegenerative diseases. *Nat Med.* 2021;27(6):954-963. doi:10.1038/s41591-021-01382-x.
4. Ashton NJ, Hye A, Rajkumar AP, Leuzy A, Karikari TK, Benedet AL, et al. Plasma biomarkers for Alzheimer's disease and related disorders: current status and future perspectives. *Clin Neuropsychol.* 2024;38(5):747-775. doi:10.1080/13854046.2024.2322915.
5. Jack CR Jr, Andrews JS, Beach TG, Barkhof F, Ben-Shlomo Y, Boccardi M, et al. Revised criteria for diagnosis and staging of Alzheimer's disease: Alzheimer's Association Workgroup. *Alzheimers Dement.* 2024;20(8):5143-5169. doi:10.1002/alz.13859.
6. Tzioras M, McGeachan RI, Durrant CS, Spires-Jones TL. Synaptic degeneration in Alzheimer disease. *Nat Rev Neurol.* 2023;19(1):19-38. doi:10.1038/s41582-022-00749-z.
7. Karikari TK, Ashton NJ, Brinkmalm G, Brum WS, Benedet AL, Montoliu-Gaya L, et al. Blood phospho-tau in Alzheimer's disease: analytical considerations, clinical applications and future directions. *Nat Rev Neurol.* 2022;18(7):400-418. doi:10.1038/s41582-022-00647-4.
8. Simrén J, Ashton NJ, Blennow K, Zetterberg H. An update on fluid biomarkers for neurodegenerative diseases: recent success and challenges ahead. *Curr Opin Neurobiol.* 2022;72:81-90. doi:10.1016/j.conb.2021.09.004.
9. Mielke MM, Frank RD, Dage JL, Jeromin A, Ashton NJ, Blennow K, et al. Comparison of plasma phosphorylated tau species with amyloid and tau positron emission tomography, cerebrospinal fluid biomarkers, and cognition. *JAMA Neurol.* 2024;81(5):450-460. doi:10.1001/jamaneurol.2024.0184.
10. Alzheimer's Association. 2025 Alzheimer's disease facts and figures. *Alzheimers Dement.* 2025;21(4):e70018. doi:10.1002/alz.70018.
11. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ.* 2021;372:n71. doi:10.1136/bmj.n71.
12. Dark HE, Duggan MR, Walker KA. Plasma biomarkers for Alzheimer's and related dementias: A review and outlook for clinical neuropsychology. *Arch Clin Neuropsychol.* 2024;39(3):313-324. doi:10.1093/arclin/aca019.

13. Jia J, Ning Y, Chen M, Wang S, Yang H, Li F, et al. Biomarker Changes during 20 Years Preceding Alzheimer's Disease. *N Engl J Med.* 2024;390:712-722. doi:10.1056/NEJMoa2310168.
14. Mielke MM, Fowler NR. Alzheimer disease blood biomarkers: considerations for population-level use. *Nat Rev Neurol.* 2024;20:495-504.
15. Zhang X, et al. Association between blood-based protein biomarkers and brain MRI in the Alzheimer's disease continuum: a systematic review. *J Neurol.* 2024;271:7120-7140.
16. Barthelemy NR, Horie K, Sato C, Bateman RJ. Blood plasma phosphorylated-tau isoforms track CNS change in Alzheimer's disease. *Nat Rev Neurol.* 2024;20:209-224.
17. Palmqvist S, Tideman P, Cullen N, Zetterberg H, Blennow K, Mattsson-Carlgrén N, et al. Prediction of future Alzheimer's disease dementia using plasma phospho-tau combined with amyloid biomarkers. *Nat Med.* 2024;30:1288-1296.
18. Karikari TK, Benedet AL, Ashton NJ, et al. Diagnostic performance of plasma phosphorylated tau 217 for Alzheimer's disease. *JAMA Neurol.* 2023;80(9):915-924.
19. Benedet AL, Milà-Alomà M, Vrillon A, et al. Plasma GFAP as an early marker of Alzheimer's disease pathology. *Nat Aging.* 2023;3:123-135.
20. Schindler SE, Li Y, Todd KW, et al. High-precision plasma β -amyloid 42/40 predicts current and future brain amyloidosis. *Neurology.* 2024;102:e209910.
21. Khalil M, Teunissen CE, Otto M, et al. Neurofilaments as biomarkers in neurological disorders. *Nat Rev Neurol.* 2024;20:481-499.
22. Iranzo A, Fairfoul G, Ayudhaya ACN, et al. Detection of α -synuclein seeding activity in prodromal Parkinson disease. *Lancet Neurol.* 2023;22(7):614-624.
23. Mollenhauer B, Parnetti L, Rektorova I, et al. Biological confounders for the values of cerebrospinal fluid α -synuclein and neurofilament light chain in Parkinsonian disorders. *Mov Disord.* 2023;38(8):1450-1461.
24. Pascoal TA, Benedet AL, Ashton NJ, et al. Microglial activation and fluid biomarkers in neurodegenerative diseases. *Nat Rev Neurol.* 2024;20:557-573.
25. Trushina E, Mielke MM. Recent advances in metabolomics for Alzheimer's disease biomarker discovery. *Alzheimers Dement.* 2023;19(9):3918-3932.
26. Hampel H, Vergallo A, Perry G, Lista S. The future of Alzheimer's disease: the next 10 years. *Prog Neurobiol.* 2024;238:102653.
27. Blennow K, Zetterberg H. Biomarkers for Alzheimer's disease: current status and prospects for the future. *J Intern Med.* 2023;293(3):284-300.
28. Otto M, Wiltfang J, Tumani H, et al. Biomarkers in neurodegeneration: recent advances and future directions. *Lancet Neurol.* 2024;23(5):452-468.
29. Oeckl P, Halbgebauer S, Anderl-Straub S, et al. Blood-based biomarkers in neurodegenerative diseases: opportunities and challenges. *Brain.* 2023;146(9):3655-3672.
30. Zetterberg H, Burnham SC. Blood biomarkers for Alzheimer's disease—an update. *Nat Rev Neurol.* 2025;21:85-99.
31. Walker KA, et al. Plasma biomarkers for Alzheimer's and related dementias: A review and outlook for clinical neuropsychology. *Arch Clin Neuropsychol.* 2024;39(3):313-324.

32. Palmqvist S, et al. Diagnosis of Alzheimer's disease using plasma biomarkers adjusted to clinical probability. *Nat Aging*. 2024.
33. Cho H, Sanderson-Cimino ME, Tablante J, et al. Diagnostic performance of plasma p-tau217, NfL and GFAP for predicting Alzheimer's disease neuropathology across diverse neurodegenerative syndromes. *Alzheimers Dement*. 2024.
34. Blood biomarkers for diagnosis and differential diagnosis of Alzheimer's disease in real-world clinical populations: a systematic review. *Alzheimers Dement*. 2025.
35. Jarek DJ, Mizerka H, Nuzkiewicz J, Szewczyk-Golec K. Evaluating p-tau217 and p-tau231 as biomarkers for early diagnosis and differentiation of Alzheimer's disease: a narrative review. *Biomedicines*. 2024;12(4):786.
36. Tau in neurodegenerative diseases: molecular mechanisms, biomarkers, and therapeutic strategies. *Transl Neurodegener*. 2024.
37. P-tau217 and other blood biomarkers of dementia: variation with time of day. *Transl Psychiatry*. 2024.
38. Plasma biomarkers for Alzheimer's and related dementias. PubMed Central review version. 2024.

LACTANCIA MATERNA Y SENTIDO DE COHERENCIA: REVISIÓN SISTEMÁTICA

BREASTFEEDING AND SENSE OF COHERENCE: A SYSTEMATIC REVIEW

Johana Estefania Orna Quintanilla¹, Adriana del Pilar Espín Arguello², Estalin José Romero Morales³

{jorna@pucesa.edu.ec¹, adespina@pucesa.edu.ec², estalinromero@uti.edu.ec³}

Fecha de recepción: 19/02/2026 / Fecha de aceptación: 30/07/2026 / Fecha de publicación: 05/08/2026

RESUMEN: La lactancia materna constituye un proceso que involucra dimensiones biológicas, psicológicas y sociales. Desde el enfoque salutogénico, el sentido de coherencia (SOC) puede influir en la forma en que las madres afrontan los desafíos asociados a esta práctica. El objetivo de esta revisión fue analizar la evidencia científica disponible sobre la relación entre lactancia materna y SOC. Se realizó una revisión sistemática siguiendo las directrices PRISMA 2020. Se consultaron las bases de datos PubMed, Scopus, Web of Science y SciELO, considerando estudios publicados entre 2018 y 2025. Tras el proceso de selección, se incluyeron 11 estudios primarios con diseños cuantitativos y cualitativos. La evidencia indica que la ansiedad, la depresión y el estrés materno se asocian con menor autoeficacia y mayor probabilidad de abandono temprano de la lactancia. En contraste, niveles más altos de SOC y la presencia de apoyo social se relacionan con mayor duración de la lactancia exclusiva. Asimismo, factores estructurales, como las condiciones laborales, influyen en su continuidad. En conjunto, los hallazgos sugieren que fortalecer los recursos psicológicos y sociales maternos puede favorecer la experiencia de la lactancia y el bienestar materno- infantil.

Palabras clave: Salud materna, promoción de la salud, lactancia materna, apoyo social

ABSTRACT: Breastfeeding is a multidimensional process shaped by biological, psychological, and social factors. Beyond its nutritional value, it involves emotional regulation, maternal adaptation, and contextual influences. From a salutogenic perspective, the sense of coherence (SOC) may influence how mothers perceive and manage breastfeeding-related challenges. To examine the available scientific evidence on the relationship between breastfeeding and sense of coherence within a salutogenic framework. A systematic review was conducted in accordance with PRISMA 2020 guidelines. PubMed, Scopus, Web of Science, and SciELO were searched for studies published between 2018 and 2025. Primary quantitative and qualitative

¹Pontificia Universidad Católica del Ecuador-Sede Ambato, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0003-1910-8049>

²Pontificia Universidad Católica del Ecuador-Sede Ambato, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0003-0062-8802>

³Universidad Tecnológica Indoamérica, Ambato, Tungurahua, Ecuador, <https://orcid.org/0009-0000-0334-9863>

studies addressing breastfeeding and SOC were considered. After screening and eligibility assessment, eleven studies were included. The findings indicate that maternal anxiety, depression, and perceived stress are associated with lower breastfeeding self-efficacy and increased likelihood of early discontinuation. In contrast, higher SOC levels and consistent social support are related to longer exclusive breastfeeding duration. Structural factors, including workplace conditions, also appear to influence breastfeeding continuity. The evidence suggests that strengthening maternal psychological resources, particularly SOC, together with supportive social and institutional environments, may contribute to improved breastfeeding sustainability and maternal- infant wellbeing.

Keywords: *Maternal health, health promotion, breastfeeding, social support*

INTRODUCCIÓN

La lactancia materna aporta beneficios a la salud de las madres y los lactantes. Además de sus ventajas nutricionales, favorece el desarrollo emocional y la estabilidad psicológica tanto de la madre como del recién nacido (1,2,9,10). Durante los primeros meses, la leche materna proporciona una nutrición completa que fortalece el sistema inmunológico y refuerza las defensas del lactante (1,4,9,10). Según la OMS, solo el 48% de los lactantes menores de seis meses reciben lactancia exclusiva, lejos de lo que se espera del 70% para 2030 (3). Esta situación se relaciona con diversas barreras sociales, culturales y laborales, incluyendo falta de licencias de maternidad adecuadas, escaso apoyo en el trabajo y normas sociales que favorecen el uso de fórmula infantil (6,17,5).

Más allá de la nutrición, la lactancia materna impacta la salud física, emocional y psicológica (8,10). El contacto piel a piel favorece la regulación emocional y promueve la seguridad del infante (2,11,30,32), en consecuencia, el estrés materno puede afectar la liberación de oxitocina y, por tanto, disminuir la producción de leche materna, debido a que no solo está alimentando al recién nacido, si no que está en un vínculo de un proceso físico y emocional, haciendo crucial la intervención profesional y social, obteniendo información que aclare sus dudas, permitiendo tener más confianza para continuar en el proceso (28,34,35).

Para la madre, amamantar facilita la recuperación postparto, reduce el riesgo de hemorragias, cáncer de mama y ovario, y contribuye a la salud cardiovascular y ósea (12,13). La ausencia de lactancia incrementa la probabilidad de infecciones y complicaciones metabólicas tanto en el lactante como en la madre (14). Además, desde una perspectiva económica y epidemiológica, la lactancia materna es la opción más eficiente y que no tiene costo (15).

Relacionado con el enfoque salutogénico, propuesto por Antonovsky, se centra en fortalecer los recursos que promueven la salud y el bienestar en lugar de enfocarse únicamente en riesgos o enfermedades (6,19). El sentido de coherencia (SOC), describe la manera en que los individuos

dotan de sentido y control a las experiencias vitales, interpretándolas como coherentes y afrontables (20,21), lo que permite a las madres afrontar desafíos, mantener la lactancia exclusiva y aumentar su motivación y resiliencia (7) puede fortalecerse mediante apoyo social, emocional y profesional, así como políticas públicas que faciliten la lactancia, como licencias de maternidad extendidas y entornos laborales amigables para amamantar (19,26,29,33). Las madres con un SOC alto presentan mayor duración de lactancia, mejor autoeficacia y mayor disfrute del proceso de amamantar (7).

La lactancia materna fortalece el vínculo afectivo entre madre e hijo. El contacto piel a piel y la comunicación no verbal promueven apegos seguros, fundamentales para el desarrollo emocional del niño y el bienestar materno (2,30,31,32). La oxitocina, liberada durante la lactancia, reduce ansiedad y depresión posparto y potencia el apego seguro, estableciendo una relación enriquecedora y duradera entre madre e hijo (14, 32).

Desde una perspectiva salutogénica, se recomienda un enfoque integral que combine apoyo social, profesional e institucional. Esto incluye grupos de apoyo entre pares, asesoría personalizada y políticas públicas que faciliten la lactancia. Estas estrategias no solo prolongan la duración de la lactancia, sino que también fortalecen la resiliencia materna frente a los desafíos sociales y laborales (6,19,26,29,36).

El presente estudio tuvo como objetivo analizar de forma sistemática la evidencia científica disponible sobre la lactancia materna desde un enfoque salutogénico, identificando los recursos psicológicos y sociales maternos incluido el sentido de coherencia asociados a su práctica y al bienestar materno infantil.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión sistemática siguiendo a las directrices PRISMA 2020. La búsqueda bibliográfica se efectuó en las bases de datos PubMed, Scopus, Web of Science y SciELO, incluyendo estudios publicados en español e inglés entre enero de 2018 y enero de 2025. Se utilizaron los términos (“breastfeeding” OR “lactancia materna”) AND (“sense of coherence” OR “SOC”) AND (“salutogenesis” OR “salutogenic approach”), adaptados a cada base de datos y aplicados a título, resumen y palabras clave; la última búsqueda se realizó en enero de 2025.

Los registros identificados fueron organizados a un gestor bibliográfico de Mendeley, para la eliminación de duplicados y, posteriormente, para el proceso del cribado.

Se incluyeron estudios primarios con diseño cuantitativo o cualitativo que abordaran la relación entre lactancia materna y sentido de coherencia desde un enfoque salutogénico.

RESULTADOS

La búsqueda bibliográfica identificó 256 registros en las bases de datos, tras la eliminación de 41 duplicados, se analizaron los títulos y resúmenes, excluyendo 167, se evaluaron 48 artículos completos, de los cuales 33 fueron excluidos por no tener relación con la salutogénesis y el sentido de coherencia. De los 15 restantes, 4 fueron excluidos por no reportar resultados específicos sobre SOC o por información insuficiente para el análisis, quedando 11 estudios incluidos.

El proceso detallado de identificación se detalla en la Figura 1, correspondiente al diagrama de flujo PRISMA 2020.

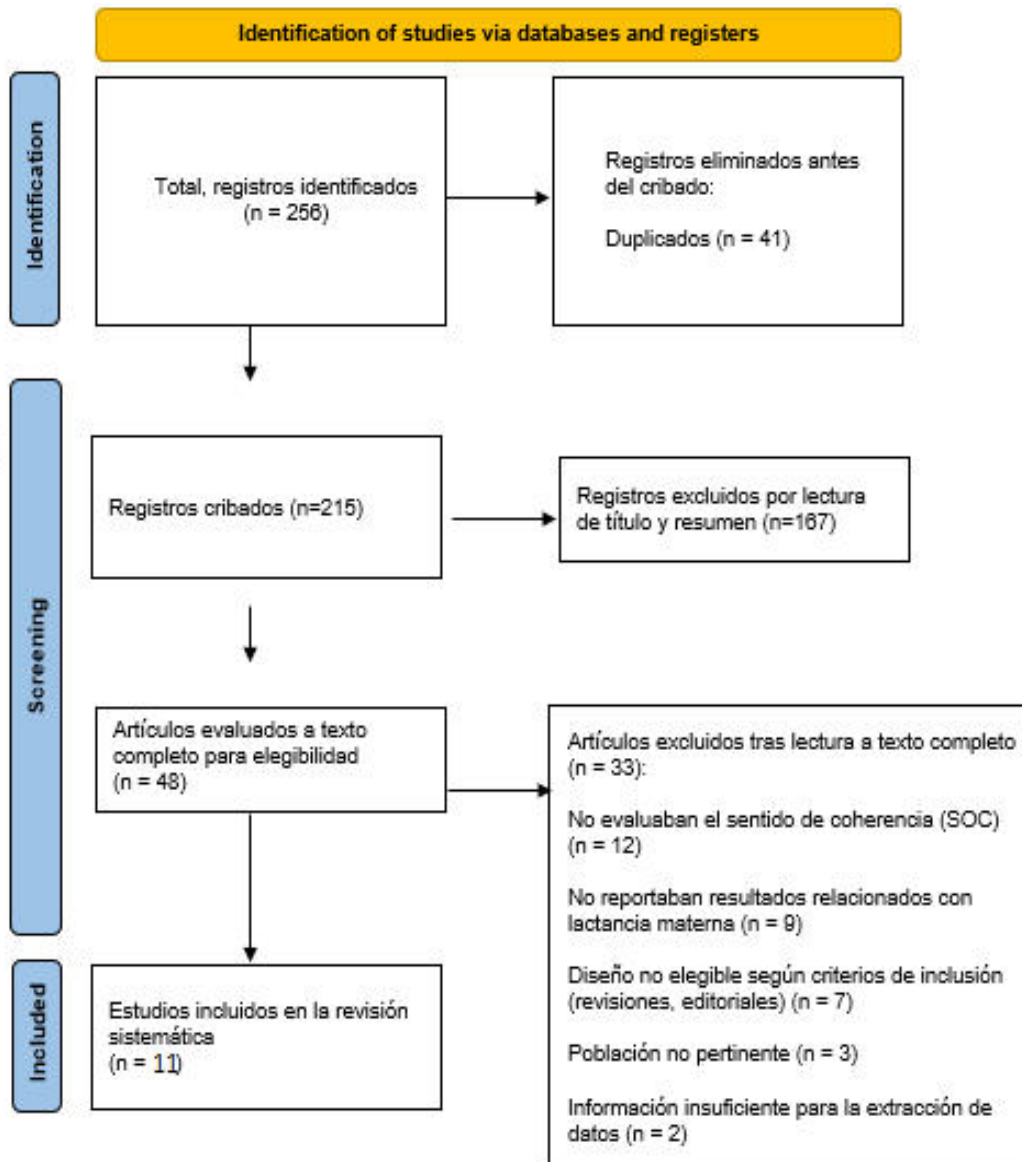


Figura 1. Diagrama de flujo según el modelo PRISMA 2020.

Fuente: Elaboración propia

Los estudios seleccionados fueron publicados entre 2018 y 2025 y presentaron diseños metodológicos diversos. Se identificaron estudios observacionales transversales, cohortes prospectivas, investigaciones longitudinales, estudios comparativos y diseños cualitativos descriptivos. El tamaño de muestra osciló entre 28 y 959 participantes, lo que evidencia heterogeneidad en la población estudiada.

En relación con los principales hallazgos, varios estudios señalaron que la ansiedad y la depresión posparto se asocian con menor autoeficacia para la lactancia y mayor riesgo de interrupción temprana. Se reportaron prevalencias de ansiedad entre 30% y 44% y de depresión entre 13% y 48%, con impacto directo en la confianza materna para amamantar.

Asimismo, el estrés percibido mostró una relación inversa con la duración de la lactancia materna exclusiva. En contraste, el apoyo social tanto familiar como profesional se identificó como un factor protector que favorece la continuidad de la lactancia hasta los seis meses.

Respecto a las intervenciones, el contacto piel a piel temprano y la asesoría especializada en lactancia se asociaron con mayores tasas de lactancia exclusiva y mejor interacción madre-hijo. En algunos estudios, la consultoría en lactancia mostró efectos positivos en la autoeficacia materna y en la salud mental posparto.

Finalmente, factores sociodemográficos y obstétricos como el tipo de parto, la edad materna, el tabaquismo y las condiciones laborales también influyeron en la duración de la lactancia. Las características específicas de cada estudio se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de los estudios primarios incluidos en la revisión sistemática.

Autores	Objetivo	Diseño / Muestra	Resultados	Conclusión
Torales et al., 2025	Evaluar efecto de ansiedad y depresión materna en la autoeficacia para lactancia	Observacional transversal; 108 mujeres	30,6% ansiedad; 48,1% depresión; menor autoeficacia	Ansiedad y depresión reducen la confianza en la lactancia
Paula Gutiérrez et al., 2024	Identificar causas de abandono de lactancia en primigestantes	Cualitativo fenomenológico; entrevistas	5 categorías: conocimiento, beneficios, motivos de abandono, duración, opinión familiar	Hambre del bebé, baja producción de leche, dolor y adaptación dificultan la lactancia
Isiguzo et al., 2023	Examinar estrés percibido y apoyo social en lactancia	Cuantitativo longitudinal; 251 gestantes	Mayor estrés → menor LM exclusiva; apoyo modera efecto	Apoyo social aumenta probabilidad de LM exclusiva hasta 6 meses

Chrzan-Dętkoś et al., 2021	Evaluar impacto de salud mental en autoeficacia	Comparativo; 160 mujeres	Salud mental afecta lactancia; autoeficacia inicial correlaciona negativamente	Consultas de lactancia fortalecen confianza y salud mental
Moraes et al., 2021	Identificar patrones y factores de interrupción de lactancia	Cohorte prospectiva; 231 madres	LM exclusiva 12,7% a 180 días; factores: tabaquismo, edad ≥ 35 , dificultad post alta, uso de chupete	Consultoría en lactancia mejora tasas de LM exclusiva
Peres et al., 2021	Analizar percepciones de profesionales sobre factores biopsicosocioculturales	Cualitativo descriptivo; 28 profesionales	LM mixta más común; trabajo materno principal barrera	Capacitación profesional aumenta LM exclusiva
Mercan & Selcuk, 2021	Asociar autoeficacia en LM con depresión, apoyo y actitudes	Transversal; 398 mujeres	Mayor depresión $\rightarrow$ menor autoeficacia; apoyo y actitud positiva $\rightarrow$ mayor autoeficacia	Apoyo social y actitudes positivas incrementan autoeficacia y continuidad
Calcagni et al., 2021	Evaluar ansiedad y depresión perinatal	158 mujeres	Ansiedad 41-44%, depresión 13-21%	Identificación temprana y factores protectores aumentan bienestar materno
Bigelow & Power, 2020	Impacto contacto piel a piel (SSC)	Longitudinal	SSC mejora interacción y LM exclusiva 3 meses	SSC favorece apego y bienestar materno-infantil
Carneiro Saco et al., 2019	Efecto contacto piel a piel temprano en LM	Transversal retrospectivo; 959 historias clínicas	Primer contacto piel $\uparrow$ LM exclusiva;	Buenas condiciones de parto y

			cesárea y menor edad → riesgo	contacto piel favorecen LM
Alus Tokat et al., 2018	Comparar LM y autoeficacia según tipo de parto	Comparativo; 334 madres	Cesárea con anestesia general → más problemas; autoeficacia similar	Apoyo diferenciado según tipo de parto mejora LM

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

La evidencia recopilada permite interpretar la lactancia materna como una práctica que favorecen el bienestar, recursos psicológicos y sociales maternos incluido el sentido de coherencia (SOC) desempeñan un papel relevante en la práctica y experiencia de la lactancia. Estudios recientes muestran que un SOC elevado se asocia con mayor duración de lactancia, mayor satisfacción materna y una vivencia más positiva del proceso.

Los factores psicológicos influyen de manera significativa en la práctica de la lactancia materna. Torales et al. (23) reportaron prevalencia de ansiedad del 30,6% y depresión posparto del 48,1%, lo que disminuye significativamente la confianza de las madres en su capacidad de amamantar. De manera similar, Mercan y Selcuk (25), indican que la depresión disminuye la autoeficacia, mientras que el apoyo social y las actitudes positivas maternas incrementan la probabilidad de mantener la lactancia exclusiva por más tiempo. Además, Isiguzo et al. (28) mostraron que el estrés materno reduce la duración de la lactancia, pero el apoyo social contribuye a prolongarla. Estos resultados respaldan la utilidad del marco salutogénico para comprender la salud materna desde la interacción de factores personales y contextuales.

El entorno social y estructural también desempeña un papel importante. Barrera-Rojas (26) subraya que las redes de apoyo, tanto formales como informales, son esenciales para aumentar la autoeficacia materna y prolongar la lactancia. La ausencia de políticas laborales que faciliten licencias de maternidad y espacios adecuados para amamantar, tal como señalan Souza et al. (13), contribuye al abandono precoz de la lactancia. Estos hallazgos refuerzan el enfoque salutogénico, que enfatiza la importancia de los recursos externos para mantener la salud y el bienestar (6,18,19).

Los beneficios fisiológicos y emocionales de la lactancia están ampliamente documentados. Bigelow y Power (11), señalaron que el contacto piel a piel mejora la interacción madre hijo y mantiene la lactancia exclusiva. Salvador (2), y Modak et al. (32), destacan que la liberación de

oxitocina durante la lactancia reduce ansiedad y depresión posparto, fortaleciendo el vínculo afectivo. Además, la leche materna protege frente a infecciones y favorece el desarrollo cognitivo y neurológico del infante (9,12,24).

A pesar de estos beneficios, las tasas de lactancia exclusiva permanecen bajas. Shorey et al. (20), reportan que solo el 10% de los lactantes menores de seis meses recibe lactancia materna exclusiva, muy por debajo del objetivo global del 70% para 2030. Esto evidencia la necesidad de estrategias que combinen intervenciones individuales, sociales y estructurales, incluyendo asesoría profesional, apoyo emocional y políticas públicas inclusivas (26,27,28).

En conjunto, los hallazgos sugieren que la lactancia materna constituye un proceso biopsicosocial en el que la combinación de un SOC elevado, apoyo social y políticas inclusivas potencia la autoeficacia materna, la continuidad de la lactancia y el bienestar materno-infantil (1,6,7,32). Promover la lactancia desde un enfoque salutogénico no solo favorece la salud materna e infantil, sino que también contribuye a la reducción de barreras emocionales, sociales y estructurales, creando un entorno integralmente saludable para la madre y el recién nacido.

CONCLUSIONES

El presente estudio sugiere que la lactancia materna puede entenderse como un proceso con potencial salutogénico, en el que los recursos psicológicos y sociales de la madre influyen de manera significativa en su continuidad y en el bienestar materno-infantil. El sentido de coherencia, junto con el apoyo social y las condiciones estructurales favorables, se asocia con una experiencia de lactancia más estable y satisfactoria.

Fortalecer estos recursos mediante acompañamiento profesional, redes de apoyo y políticas públicas que protejan la maternidad constituye una estrategia relevante para mejorar las tasas de lactancia exclusiva y favorecer un entorno saludable tanto para la madre como para el lactante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gutiérrez Cuervo PE, Florez-Escobar IC, Quemba-Mesa MP, Bautista-Saavedra CE, Vargas-Rodríguez LY. Abandono de la lactancia materna en mujeres primigestantes: estudio fenomenológico. Salud UIS [Internet]. 2024;56(1). Disponible en: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistasaluduis/article/view/14712>
2. Salvador Ingrid. Vista de Neurociencia y lactancia materna [Internet]. 2021 [citado 2025 Ene 27]. Disponible en: <https://revistacunzac.com/index.php/revista/article/view/32/92>
3. OMS. En la Semana Mundial de la Lactancia Materna, UNICEF y la OMS piden igualdad de acceso al apoyo a la lactancia materna [Internet]. 2024 [citado 2025 Ene 28]. Disponible en:

- <https://www.who.int/news/item/31-07-2024-on-world-breastfeeding-week--unicef-and-who-call-for-equal-access-to-breastfeeding-support>
4. Moraes BA, Strada JKR, Gasparin VA, Espirito-Santo LC do, Gouveia HG, Gonçalves A de C. Amamentação nos seis primeiros meses de vida de bebês atendidos por consultoria em lactação. Rev Lat Am Enfermagem [Internet]. 2021 [citado 2025 Mar 9];29. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rlae/a/5CS4DJJb7J8j3mPSQHMMFWR/?lang=pt&format=pdf>
 5. OPS/OMS. Lactancia materna y alimentación complementaria - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud [Internet]. [citado 2025 Ene 29]. Disponible en: <https://www.paho.org/es/temas/lactancia-materna-alimentacion-complementaria>
 6. Mittelmark MB, Bauer GF. Salutogenesis as a Theory, as an Orientation and as the Sense of Coherence. The Handbook of Salutogenesis: Second Edition [Internet]. 2022 Ene 1 [citado 2025 Ene 27];11–7. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-79515-3_3
 7. Sierra-García E, Saus-Ortega C. Sense of coherence in breastfeeding women: A scoping review. An Sist Sanit Navar [Internet]. 2024 [citado 2025 Mar 9];47(1). Disponible en: <https://recyt.fecyt.es/index.php/ASSN/article/view/102419/75960>
 8. Peres JF, Rodrigues A, Carvalho S, Silveira Viera C, Moreira Christoffel M, Gonçalves De Oliveira Toso BR. Percepções dos profissionais de saúde acerca dos fatores biopsicossocioculturais relacionados com o aleitamento materno. Saúde em Debate [Internet]. 2021 May 24 [citado 2025 Ene 27];45(128):141–51. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/vBfBHM4sP9F6q4sYysRCnLg/?lang=pt>
 9. Orna J, Fiallos E, Romero E. Impacto de la Composición Química de la Leche Materna en el Desarrollo Cognitivo durante la Infancia. Medicinencias UTA. 2024 Jul 1;8(3):76–81. Disponible en: <https://revistas.uta.edu.ec/erevista/index.php/medi/article/view/2515>
 10. Hechavarria Garcés C, Ayovi Olmedo M, Ángel Jara Gallegos D. Impacto de la lactancia materna en la salud infantil. Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo [Internet]. 2024 Aug 26 [citado 2025 Ene 28];5(11):67–77. Disponible en: <https://www.revistainvestigo.com/EditorInvestigo/index.php/hm/article/view/114>
 11. Bigelow AE, Power M. Mother–Infant Skin-to-Skin Contact: Short- and Long-Term Effects for Mothers and Their Children Born Full-Term. Front Psychol [Internet]. 2020 Aug 28 [citado 2025 Mar 9];11. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32982827/>
 12. Cortez-Flores C del R, Ortiz-Suarez HS, Jiménez-Ayala VG. Beneficios de la lactancia materna en niños. MQRInvestigar [Internet]. 2023 Sep 17 [citado 2025 Mar 9];7(4):3–16. Disponible en: <https://www.investigarmqr.com/ojs/index.php/mqr/article/view/674>
 13. Souza CB de, Melo DS, Relvas GRB, Venancio SI, Silva RPGVC da. Promotion, protection, and support of breastfeeding at work, and achieving sustainable development: a scoping review. Cien Saude Colet [Internet]. 2023 Apr 7 [citado 2025 Ene 27];28(4):1059–72. Disponible en: <https://www.scielo.org/article/csc/2023.v28n4/1059-1072/en/>
 14. Hernández Aguilar MT, Aguayo Maldonado J. La lactancia materna. Cómo promover y apoyar la lactancia materna en la práctica pediátrica. Recomendaciones del Comité de Lactancia de la AEP. An Pediatr (Engl Ed) [Internet]. 2005 Oct 1 [citado 2025 Ene

- 29];63(4):340–56. Disponible en: <https://www.analesdepediatria.org/es-la-lactancia-materna-como-promover-articulo-13079817>
15. Pilatasig Tandalla DS, Llangari Zurita MI. El Abandono de la Lactancia Materna Exclusiva y el Uso de Fórmulas Lácteas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 2024 Feb 27;8(1):4859–83.
 16. Lima SP, Santos EK, Erdmann AL, Farias PH, Aires J, Nascimento VF. Perception of women regarding the practice of breastfeeding: an integrative review / Percepção de mulheres quanto à prática do aleitamento materno: uma revisão integrativa. *Revista de Pesquisa Cuidado é Fundamental Online* [Internet]. 2019 Ene 1 [citado 2025 Mar 9];11(1):248–54. Disponible en: <https://seer.unirio.br/cuidadofundamental/article/view/6853/pdf>
 17. Minchala-Urgiles RE, Ramírez-Coronel AA, Caizaguano-Dutan MK, Estrella-González M de los Á, Altamirano-Cárdenas LF, Pogyo-Morocho GL, et al. La lactancia materna como alternativa para la prevención de enfermedades materno-infantiles: Revisión sistemática. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapeutica* [Internet]. 2020 [citado 2025 Ene 28];39(8):941–7. Disponible en: <https://zenodo.org/records/4543500>
 18. Krol KM, Grossmann T. Psychological effects of breastfeeding on children and mothers. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* [Internet]. 2018 Aug 1 [citado 2025 Ene 28];61(8):977–85. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00103-018-2769-0>
 19. Bhattacharya S, Pradhan KB, Bashar MA, Tripathi S, Thiyagarajan A, Srivastava A, et al. Salutogenesis: A bona fide guide towards health preservation. *J Family Med Prim Care* [Internet]. 2020 [citado 2025 Ene 27];9(1):16. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7014834/>
 20. Shorey S, Ang E, Baridwan NS, Bonito SR, Dones LBP, Flores JLA, et al. Salutogenesis and COVID-19 pandemic impacting nursing education across SEANERN affiliated universities: A multi-national study. *Nurse Educ Today* [Internet]. 2022 Mar 1 [citado 2025 Ene 27];110:105277. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0260691722000132>
 21. Moksnes UK. Sense of Coherence. *Health Promotion in Health Care - Vital Theories and Research* [Internet]. 2021 Mar 12 [citado 2025 Ene 28];35–46. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK585678/>
 22. Acosta DV, Lugo Rodriguez G, Domenech MG, Vera de Molinas Z, Maidana de Larrosa G, Samaniego Silva L, et al. Interrupción de la lactancia materna relacionada con el consumo de medicamentos. *Ars Pharmaceutica* (Internet) [Internet]. 2020 [citado 2025 Ene 27];61(2):97–103. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2340-98942020000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 23. Torales J, González-Ríos A, O'Higgins M, Caycho-Rodríguez T, Ventriglio A, Castaldelli-Maia JM, et al. Ansiedad y depresión maternas y su impacto en la autoeficacia de la lactancia: un estudio de asociación. *Revista del Nacional (Itauguá)* [Internet]. 2025 Ene 2 [citado 2025 Ene 28]; 17:101-107. Disponible en:

- http://scielo.iics.una.py/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-81742025000100101&lng=en&nrm=iso&tlng=es
24. Alus Tokat M, Serçekuş P, Yenil K, Okumuş H. Early postpartum breast-feeding outcomes and breast-feeding self-efficacy in Turkish mothers undergoing vaginal birth or cesarean birth with different types of Anesthesia. *Int J Nurs Knowl* [Internet]. 2018 Apr 1 [citado 2025 Ene 29];26(2):73–9. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24897921/>
 25. Mercan Y, Selcuk KT. Association between postpartum depression level, social support level and breastfeeding attitude and breastfeeding self-efficacy in early postpartum women. *PLoS One* [Internet]. 2021 Apr 1 [citado 2025 Ene 29];16(4). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33798229/>
 26. Barrera-Rojas MA. Redes de Apoyo a la Lactancia Materna Exclusiva (RALME). Una aproximación conceptual y caracterización en México. *Bol Med Hosp Infant Mex* [Internet]. 2024 Mar 1 [citado 2025 Ene 27];81(2):106–13. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-11462024000200106&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 27. Carneiro Saco M, Pereira Coca K, Oliveira Marcacine K, De Sá Vieira Abuchaim É, De Vilhena Abrão ACF. Skin-to-skin contact followed by breastfeeding in the first hour of life: associated factors and influences on exclusive breastfeeding. *Texto & Contexto - Enfermagem* [Internet]. 2019 Dec 2 [citado 2025 Ene 27];28:e20180260. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/tce/a/9YvtXfgqwt8thbrwKGzjSzS/?lang=en>
 28. Chinwoke Isiguzo DDM, JRDYGMEMDPD. Estrés, apoyo social y diferencias raciales: factores determinantes de la lactancia materna exclusiva [Internet]. 2023 [citado 2025 Ene 29]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36411512/>
 29. Novillo Luzuriaga N, Robles Amaya J, Calderón Cisneros J. Beneficios de la lactancia materna y factores asociados a la interrupción de esta práctica. 2019;4:2019. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.29033/enfi.v4i5.729.g664>
 30. American Academy of Pediatrics. Buenas razones para amamantar: beneficios para usted y su bebé - HealthyChildren.org [Internet]. 2022 [citado 2025 Ene 29]. Disponible en: <https://www.healthychildren.org/Spanish/ages-stages/baby/breastfeeding/Paginas/why-breastfeed.aspx>
 31. Injante Manuel. Lactancia materna un alimento inimitable. 2019 [citado 2025 Ene 30]; Disponible en: <https://revistas.unica.edu.pe/index.php/panacea/article/view/49>
 32. Modak A, Ronghe V, Gomase KP. The Psychological Benefits of Breastfeeding: Fostering Maternal Well-Being and Child Development. *Cureus* [Internet]. 2023 Oct 9 [citado 2025 Ene 30];15(10):e46730. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10631302/>
 33. Sosa Páez V, Kamenetzky G, Rovella A. Efectos del apoyo social percibido sobre el estrés materno y lactancia materna: Una revisión narrativa. *Interacciones* [Internet]. 2023 [citado 2025 Ene 29];9:e334-. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-44652023000100017&lng=es&nrm=iso&tlng=es

34. Chrzan-Dętkoś M, Walczak-Kozłowska T, Pietkiewicz A, Żołnowska J. Improvement of the breastfeeding self-efficacy and postpartum mental health after lactation consultations – Observational study. Midwifery [Internet]. 2021 Mar 1 [citado 2025 Ene 27]; 94:102905. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0266613820302771>
35. Calcagni SC, Olivos AM, Valdés MIG, Berrocal PZ. Perinatal mental health in chilean mothers. Andes Pediatric. [Internet]. 2021 Sep 1 [citado 2025 Mar 9];92(5):724–32. Disponible en: https://www.scielo.cl/pdf/andesped/v92n5/en_2452-6053-andesped-andespediatr-v92i5-3519.pdf
36. Pochet Mónica. Lactancia Materna: Iniciación, beneficios, problemas y apoyo [Internet]. 2020 [citado 2025 Ene 28]. Disponible en: <https://revistacienciaysalud.ac.cr/ojs/index.php/cienciaysalud/article/view/189/284>

DIABETES MELLITUS TIPO 2 Y ENFERMEDAD RENAL CRÓNICA: FACTORES ASOCIADOS Y ESTRATEGIAS DE PREVENCIÓN BASADAS EN LA EVIDENCIA

TYPE 2 DIABETES MELLITUS AND CHRONIC KIDNEY DISEASE: ASSOCIATED FACTORS AND EVIDENCE-BASED PREVENTION STRATEGIES

Telmo Eduardo Salas Joya¹, Jeniffer Paola Tonato Alava², Oscar Santiago Palomeque Teran³,
María Belén Álvarez Mosquera⁴

{elsecretodelavictoria@yahoo.es¹, paola97tonato@gmail.com², oscarpalomeque1989@gmail.com³, belenalvarez_24@hotmail.com⁴}

Fecha de recepción: 08/07/2026 / Fecha de aceptación: 03/08/2026 / Fecha de publicación: 05/08/2026

RESUMEN: La diabetes mellitus tipo 2 (DM2) representa una de las principales enfermedades crónicas no transmisibles y constituye un importante problema de salud pública debido a su elevadísima prevalencia y a sus complicaciones, entre ellas la enfermedad renal crónica (ERC), una de las principales causas de la insuficiencia renal terminal. La variabilidad de la evidencia sobre los factores asociados y las estrategias preventivas justifican la necesidad de sintetizar el conocimiento existente. El objetivo fue analizar los factores asociados entre la DM2 y la ERC y las estrategias de prevención sustentadas en la evidencia científica. Se realizó una revisión bibliográfica descriptiva, analítica y documental sustentada en las directrices PRISMA 2020. El proceso de búsqueda se realizó en las bases de datos PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, Wiley Online Library y Cochrane Library, así como en guías internacionales. En los resultados se encontro como principales factores asociados el mal control glucémico, la hipertensión arterial, la obesidad, la dislipidemia, la edad avanzada y los inadecuados estilos vida. También se rescataron el control metabólico integral, las modificaciones de los estilos de vida, el tamizaje periódico de la función renal y el uso de fármacos nefroprotectores por sus beneficios clínicos. En conclusión, la prevención precoz y el abordaje multidisciplinario logran retrasar la progresión de la ERC y mejoran el pronóstico de los pacientes con DM2.

¹Hospital IESS Manta, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6767-3393>.

²Hospital Dr. Galo González, Lago Agrio, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5827-9257>.

³Unión Cementera Nacional (UCEM), Azogues, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2983-3371>.

⁴Investigadora independiente (Particular), Quito, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1735-0495>.

Palabras clave: *Diabetes mellitus tipo 2, enfermedad renal crónica, factores de riesgo, prevención, nefropatía diabética, medicina basada en la evidencia*

ABSTRACT: Type 2 diabetes mellitus (T2DM) is one of the leading chronic noncommunicable diseases and constitutes a major public health problem due to its extremely high prevalence and its complications, including chronic kidney disease (CKD), one of the leading causes of end-stage renal disease. The variability in the evidence regarding associated factors and preventive strategies justifies the need to synthesize existing knowledge. The objective was to analyze the factors linking T2DM and CKD and the prevention strategies supported by scientific evidence. A descriptive, analytical, and documentary literature review was conducted in accordance with the PRISMA 2020 guidelines. The search was conducted in the PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, Wiley Online Library, and Cochrane Library databases, as well as in international guidelines. The results identified poor glycemic control, high blood pressure, obesity, dyslipidemia, advanced age, and unhealthy lifestyles as the main associated factors. Comprehensive metabolic management, lifestyle modifications, periodic screening for renal function, and the use of nephroprotective drugs were also highlighted for their clinical benefits. In conclusion, early prevention and a multidisciplinary approach can delay the progression of CKD and improve the prognosis of patients with type 2 diabetes.

Keywords: *Type 2 diabetes mellitus, chronic kidney disease, risk factors, prevention, diabetic nephropathy, evidence-based medicine*

INTRODUCCIÓN

La diabetes mellitus tipo 2 (DM2) se constituye como una de las principales enfermedades crónicas no transmisibles que puede tener un impacto significativo en la salud pública del mundo entero, debido a su alta prevalencia, con una incipiente incidencia en la población, obligándole a la estrecha relación que presenta con las múltiples complicaciones microvasculares y macrovasculares. Su desarrollo se halla determinado por la interacción de componentes genéticos, metabólicos, ambientales y conductuales que favorecen la resistencia a la insulina y el deterioro progresivo de la función de las células β pancreáticas. Como consecuencia de ello, millones de personas presentan hiperglucemia crónica, lo que repercute en un aumento significativo del riesgo de desarrollar complicaciones cardiovasculares, neurológicas, oftalmológicas y renales, las cuales, a su vez, se constituye como las principales causas de discapacidad, hospitalización y mortalidad asociadas a la enfermedad (1).

De todas las complicaciones crónicas, la enfermedad renal crónica (ERC) es, sin duda, la de mayor interés clínico, al ser considerada hoy en día una de las principales causas de insuficiencia renal terminal y de aumento de la morbilidad en los pacientes con diabetes mellitus tipo 2. La nefropatía diabética es la complicación renal más habitual de la DM2 y, es la primera causa de

inicio de los programas de diálisis y de trasplante renal en muchos países. El daño renal secundario a la diabetes empieza poco a poco y se caracteriza por alteraciones estructurales y funcionales progresivas (hipertrofia glomerular, expansión mesangial, fibrosis tubulointersticial, disminución de la tasa de filtración glomerular, etc.) que, de hecho, se pueden prolongar a lo largo de muchos años antes de llegar a ser sintomáticas (2).

En este sentido, diversos organismos internacionales, como la OMS, la International Diabetes Federation y Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) destacan que la coexistencia entre diabetes mellitus tipo 2 y enfermedad renal crónica es uno de los mayores retos que deben afrontar los sistemas sanitarios, no sólo por el alto coste de su tratamiento, sino también debido a la complejidad del manejo clínico de una enfermedad que conlleva un deterioro progresivo de la calidad de vida de los pacientes. El incremento constante de la población mayor, la inactividad física, el sobrepeso y los cambios de hábitos están contribuyendo al incremento de ambas enfermedades en las últimas décadas, sobre todo en los países de ingresos bajos y medios, en los cuales los recursos que predisponen para la prevención y el diagnóstico temprano presentan importantes limitaciones (3-4).

La fisiopatología de la ERC en la diabetes mellitus tipo 2 es compleja y multifactorial. La permanencia en el tiempo de niveles altos de glucosa hace que aparezcan procesos de estrés oxidativo, inflamación crónica, activación del sistema renina-angiotensina-aldosterona, desajustes hemodinámicos intrarrenales que promueven la pérdida progresiva de función renal. Violentamente, algunos factores como la hipertensión arterial, la obesidad, la dislipidemia, el tabaco, el envejecimiento, una anomalía genética y una insuficiente regulación metabólica pueden aun dar lugar a la progresión del daño renal, lo cual puede explicar la aparición de insuficiencia renal terminal y trastornos cardiovasculares más relevantes. En los últimos años, ha cobrado importancia el papel de mecanismos moleculares relacionados con la fibrosis renal, el estrés mitocondrial y la inflamación sistémica persistente, que suponen factores determinantes en cuanto a la progresión de la enfermedad (5-7).

Diversos estudios epidemiológicos publicados recientemente han documentado que una parte considerable de los pacientes que presentan diabetes mellitus tipo 2 muestran algún grado de deterioro de la función renal al momento del diagnóstico o durante la atención clínica. No obstante, gran cantidad de casos quedan sin identificar por la ausencia de síntomas durante las fases iniciales de la enfermedad. Esta situación, evidentemente, retrasa la práctica de estrategias terapéuticas oportunas y, por ende, permite la progresión hacia estadios avanzados de la enfermedad renal crónica, en los que las alternativas terapéuticas son significativamente más difíciles y costosas (8,9).

En los años recientes, se han llevado a cabo significativos avances en el conocimiento de los mecanismos fisiopatológicos que participan en la diabetes mellitus y en el desarrollo de estrategias preventivas para limitar la evolución de la enfermedad renal relacionada con la

diabetes mellitus. Entre las intervenciones a destacar, se encuentran el control exhaustivo de la glucemia, el control perfecto de la presión arterial, la pérdida de peso, el cambio de los hábitos de vida, la actividad física regular, la disminución del consumo de sodio, el cese del hábito tabáquico, la utilización de tratamiento farmacológico con efecto nefroprotector comprobado, como el uso de inhibidores del cotransportador sodio-glucosa tipo 2 (iSGLT2), los agonistas del receptor del péptido similar al glucagón tipo 1 (GLP-1 RA), los antagonistas no esteroideos del receptor de mineralocorticoides, los cuales han mostrado beneficios a partir de numerosos ensayos clínicos multicéntricos y revisiones sistemáticas de alta calidad metodológica (10-13).

De la misma manera, la evidencia científica más reciente pone de manifiesto la necesidad de introducir programas de detección precoz mediante control regular de la tasa de filtración glomerular estimada y el índice de albumina/creatinina en orina, que son los métodos que reflejan alteraciones renales en fases iniciales y permiten implementar medidas preventivas antes de hacer aparición el daño irreversible. Estas recomendaciones han ido incluyéndose de manera progresiva dentro de las principales guías internacionales del manejo de la diabetes mellitus tipo 2 desde los últimos tiempos, fomentando un tratamiento multidisciplinario destinado a frenar la progresión de la enfermedad y optimizar el pronóstico clínico de los diabéticos (14).

Pese al importante número de investigaciones publicadas en este ámbito a lo largo de los años recientes, aún persisten formas de disenso entre los estudios respecto a la magnitud del efecto de distintos factores de riesgo, la eficacia comparativa de determinadas medidas de intervención preventiva y la aplicabilidad de los resultados en diferentes contextos poblacionales. Estas discrepancias dejan entrever la necesidad de conformar la información científica más reciente mediante revisiones bibliográficas que permitan compendiar el conocimiento producido y ayudar a la toma de decisiones en el día a día ante la práctica clínica fundamentada en la evidencia.

Este contexto es precisamente el que da sentido al objetivo del presente trabajo, que fue analizar la evidencia científica disponible sobre los principales factores relacionados con el desarrollo de la Enfermedad renal crónica en pacientes diabéticos tipo 2 y detectar las principales estrategias de prevención y tratamiento con un rango de mejores evidencias para disminuir la progresión del daño renal y optimizar los resultados clínicos, aportando un compendio actualizado que sirva para favorecer el desarrollo de la práctica clínica fundamentada en la evidencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de investigación

El estudio presente constituyó una revisión bibliográfica de tipo descriptiva, analítica y documental, llevada a cabo con el objetivo de resumir la evidencia científica existente relacionada con los factores asociados entre la diabetes mellitus tipo 2 (DM2) y la enfermedad renal crónica (ERC), así como las principales estrategias de prevención aportadas por la literatura científica más

reciente. La investigación se organizó de acuerdo con las recomendaciones de Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA 2020) con el objetivo de asegurar la transparencia, la reproducibilidad y la rigurosidad metodológica durante el proceso de búsqueda, selección y análisis de la información científica.

Estrategia de búsqueda de bibliografía

La búsqueda de información se llevó a cabo entre el mes de marzo y el mes de abril de 2026 mediante la consulta sistemática de bases de datos científicas reconocidas a nivel internacional como son PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, Wiley Online Library y Cochrane Library. Además, se revisaron documentos técnicos y guías de práctica clínica publicadas por las siguientes sociedades científicas internacionales: American Diabetes Association (ADA), Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO), International Diabetes Federation (IDF), World Health Organization (WHO) para establecer la buena práctica basada en términos de recomendaciones científicas de acceso público.

La búsqueda bibliográfica empleó una combinación de descriptores controlados y términos libres. Los términos más relevantes que se utilizaron son: Diabetes Mellitus tipo 2, enfermedad renal crónica, enfermedad renal diabética, nefropatía diabética, factores de riesgo, prevención, protección renal, inhibidores de SGLT2, agonistas del receptor GLP-1 y medicina basada en la evidencia. La combinación de ambos se realizó con operadores booleanos (AND y OR) para aumentar la sensibilidad y la especificidad de la búsqueda bibliográfica.

Criterios de inclusión

Con la intención de poder contar con la evidencia más actualizada y mantener la calidad científica de dicha evidencia, se especificaron los siguientes criterios de inclusión:

- Artículos científicos publicados en revistas indexadas y que fueran arbitrados.
- Estudios publicados preferentemente en los últimos cinco años.
- Revisión sistemática, metaanálisis, ensayos clínicos aleatorizados, estudios de cohortes, estudios observacionales y guías internacionales de práctica clínica.
- Estudios realizados en la población adulto con diabetes mellitus tipo 2.
- Estudios que abordaran factores de riesgo, fisiopatología, prevención, diagnóstico precoz, tratamiento o la progresión de la enfermedad renal crónica asociada a la diabetes.
- Publicaciones en inglés o en español y de texto completo.

Criterios de exclusión

Se excluyeron los documentos que incorporaban alguna de las características que se especifican a continuación:

- Artículos que se encontraban duplicados entre las distintas bases de datos.
- Resúmenes de congresos de publicaciones sin texto completo.
- Cartas al editor, opiniones de expertos, editoriales y comentarios de carácter científico sin una metodología claramente descrita.
- Investigaciones centradas únicamente en diabetes mellitus tipo 1, enfermedad renal aguda o enfermedades renales no relacionadas con diabetes mellitus.
- Estudios con información incompleta o de baja calidad metodológica, o resultados poco reportados.

Selección de los estudios

La selección de los artículos se desarrolló en cuatro fases. En una primera fase se identificaron todas las publicaciones potencialmente relevantes de acuerdo con la estrategia de búsqueda. En segundo lugar, se eliminaron los registros duplicados por medio de herramientas de gestión de bibliografía. A continuación, se realizó la revisión de títulos y resúmenes para comprobar su pertinencia a los objetivos del estudio. Finalmente se llevó a cabo la lectura crítica de los textos completos con la intención de verificar los criterios de elegibilidad y decidir si incluirlos en la revisión definitiva.

El proceso de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de estudios se verá representado mediante un diagrama de flujo PRISMA 2020 en la sección resultados de la misma, de tal manera que pueda visualizarse de forma clara, el número de documentos identificados, excluidos y seleccionados en cada una de las fases que forman parte del proceso metodológico realizado.

Extracción y organización de la información

La información obtenida de cada uno de los estudios fue organizada en una matriz de extracción de datos que fue elaborada desde Microsoft Excel. Para cada publicación fueron registradas las siguientes variables: autor, año de publicación, país de origen, diseño metodológico, tamaño de la muestra, población estudiada, principales factores asociados a la enfermedad renal crónica, estrategias de prevención evaluadas, resultados relevantes y principales conclusiones.

A continuación, los estudios fueron clasificados según el diseño metodológico y agrupados de forma temática en categorías relacionadas con los factores de riesgo modificables, factores del riesgo inmodificables, mecanismos fisiopatológicos, intervenciones farmacológicas, modificaciones del estilo de vida y estrategias de la prevención clínica, como forma de estructurar y organizar la no del todo sistemática e inconexa evidencia científica disponible.

Valoración de la calidad metodológica

Para asegurar la fiabilidad de la revisión, se intentó priorizar estudios publicados en revistas de alto impacto indexadas en bases de datos internacionales y se tuvo en cuenta el nivel de evidencia

científica de cada uno de los estudios. Por otro lado, se dio especial importancia a las revisiones sistemáticas, los metaanálisis, los ensayos clínicos multicéntricos y otras guías de práctica clínica desarrolladas por organizaciones científicas internacionales por el elevado rigor metodológico de estos trabajos y el alto grado de aceptación en la medicina basada en la evidencia.

Análisis de la información

Se analizó la información escrita mediante una aproximación cualitativa de síntesis narrativa. Los hallazgos fueron comparados entre los diferentes estudios, comparando similitudes y diferencias con el objetivo de encontrar tendencias relacionadas con los factores relacionados con el desarrollo de enfermedad renal crónica en pacientes con diabetes mellitus tipo 2 y las intervenciones preventivas que contaban con más soporte. Los resultados se mostraron organizados y ordenados mediante tablas de síntesis, cuadros comparadores y figuras descriptivas con el propósito de facilitar la interpretación de la información y profundizar en el análisis crítico de la literatura revisada.

RESULTADOS

La estrategia de búsqueda bibliográfica permitió la identificación de un gran número de publicaciones en relación a la diabetes mellitus tipo 2 (DM2) y la enfermedad renal crónica (ERC), habiendo eliminado primero los registros duplicados y conforme a los criterios de inclusión y/o exclusión previamente fijados por el equipo de investigación. Tras este proceso se pasó a seleccionar los trabajos con mayor calidad metodológica y mayor pertinencia científica para responder la pregunta de la investigación. La mayor parte de los trabajos corresponden a revisiones sistemáticas, metaanálisis, ensayos clínicos aleatorizados, estudios de cohorte prospectivos, guías de práctica clínica, considerados en la actualidad los de mayor nivel de evidencia entre los documentos científico-sanitarios.

La literatura analizada recogió un crecimiento progresivo de la producción científica respecto a la diabetes mellitus tipo 2 y la enfermedad renal crónica, especialmente desde que aumentaron las intervenciones terapéuticas con efecto nefroprotector y/o los programas de prevención en el sentido de frenar la progresión del daño renal.

Tabla 1. Características generales de los principales estudios incluidos en la revisión

Autor	Diseño del estudio	Población	Principal hallazgo
Heerspink et al.	Ensayo clínico multicéntrico	Pacientes con enfermedad renal crónica (ERC) y diabetes mellitus tipo 2 (DM2)	La dapagliflozina disminuyó significativamente la progresión de la

			enfermedad renal y redujo el riesgo de hospitalización.
Herrington et al.	Ensayo clínico multicéntrico	Pacientes con enfermedad renal crónica (ERC)	La empagliflozina redujo el deterioro de la función renal y los eventos cardiovasculares.
Bakris et al.	Ensayo clínico	Pacientes con diabetes mellitus tipo 2 (DM2) y enfermedad renal crónica (ERC)	La finerenona disminuyó la progresión del daño renal y redujo los eventos cardiovasculares.
ADA	Guía clínica	Adultos con diabetes mellitus tipo 2 (DM2)	Recomienda el tamizaje anual mediante tasa de filtración glomerular (TFG) estimada y albuminuria.
KDIGO	Guía internacional	Pacientes con enfermedad renal crónica (ERC)	Propone un manejo integral basado en el control glucémico, la presión arterial y la nefroprotección farmacológica.

Los estudios que fueron analizados coincidieron en indicar que la enfermedad renal crónica es una de las complicaciones microvasculares de la diabetes mellitus tipo 2 más frecuentes y también una de las principales causas de insuficiencia renal terminal a nivel mundial. También se encontró coincidencia en que la prevención en etapas tempranas era la opción más costo-efectiva de disminuir la progresión de la enfermedad y reducir la mortalidad.

Determinante de complicaciones por enfermedad renal crónica

Los resultados obtenidos a través del estudio de evidencia científica nos permitieron identificar los distintos factores que incrementan la probabilidad de desarrollar una enfermedad renal crónica en personas con diabetes mellitus tipo 2, estos factores se agruparon como las causas modificables y no modificables, ya que el interés estuvo centrado principalmente en las causas modificables que son las que intentan cambiarse a partir de la intervención preventiva.

El mal control de la glucemia y el existe, es el factor que más ha sido definido por la literatura desde el punto de vista científico, la hiperglucemia persistente puede permanecer durante largo tiempo y favorecer la glicación avanzada en los tejidos; la hiperglucemia subyace a la inflamación sistémica; puede dar curso a un estrés oxidativo; da lugar a un daño endotelial y, todo ello, puede ocasionar cambios a nivel de los glomérulos y la estructura y función glomerular, de manera que la alteración glomerular tiene como causa la hiperglucemia persistente. La mayoría de los estudios concluyeron que los individuos con mayores niveles de hemoglobina glucosilada (HbA1c), tienen una condición de mayor aceleración de la disminución de la tasa de filtración glomerular y mayor posibilidad de presentación de albuminuria persistente. Adicionalmente, un control glucémico adecuado disminuye de forma considerable la incidencia de complicaciones microvasculares y ralentiza el avance hacia la nefropatía diabética.

Hipertensión arterial

La hipertensión arterial fue considerada uno de los principales factores independientes que contribuyen a la progresión de la enfermedad renal crónica. La coexistencia de hipertensión y diabetes incrementa la presión intraglomerular, comienza a provocar fibrosis renal y provoca la pérdida progresiva de nefronas funcionales.

Múltiples investigaciones demostraron que el control estricto de la tensión arterial disminuye de forma significativa el riesgo de progresión hacia estadios avanzados de enfermedad renal, especialmente cuando se utilizan fármacos bloqueadores del sistema renina-angiotensina-aldosterona.

Obesidad y síndrome metabólico

La obesidad es un determinante importante en la aparición de diabetes mellitus tipo 2 y enfermedad renal crónica. El exceso de tejido adiposo favorece la resistencia a la insulina y la inflamación crónica de bajo grado y genera alteraciones metabólicas que amplifican el daño renal. Los estudios analizados son coincidentes al considerar que los pacientes con índice de masa corporal elevado tienen mayor incidencia de albuminuria, hiperfiltración glomerular y progresiva pérdida de la función renal; igualmente que la pérdida de peso mediante alimentación y ejercicio físico moderado significativamente contribuye a la disminución del riesgo de progresión de la enfermedad.

Dislipidemia

La alteración del metabolismo lipídico era otro de los factores ampliamente descritos en la literatura. Las concentraciones elevadas de colesterol LDL y de triglicéridos propician la lesión vascular, el estrés oxidativo y aceleran la fibrosis renal.

La evidencia científica sugiere que el tratamiento precoz de la dislipidemia disminuye la morbi-mortalidad cardiovascular y que también contribuye de forma indirecta a la conservación de la función renal en pacientes con diabetes mellitus tipo 2.

Edad avanzada

La vejez es uno de los más importantes factores no modificables de deterioro de la función renal. El envejecimiento fisiológico tiene como consecuencia una disminución progresiva del número de nefronas funcionales que, asociado a la diabetes mellitus tipo 2, aumenta muy significativamente la predisposición al desarrollo de enfermedad renal crónica.

Varios estudios epidemiológicos han documentado la existencia de una mayor prevalencia de enfermedad renal crónica en los pacientes de más de 60 años, específicamente en aquellos con otras comorbilidades (hipertensión, obesidad y enfermedad cardiovascular).

Predisposición genética y antecedentes familiares

La predisposición genética ha demostrado estar influida por la edad, el peso y la presencia de ciertas patologías, tal como han demostrado varias investigaciones científicas que concluyen que la interacción entre predisposición genética y factores ambientales correlacionados con hábitos también tiene que ver en lo que se refiere a las distintas fases de la progresión del daño renal.

Los mecanismos moleculares involucrados aún son objeto de investigación y estudio, aunque la evidencia actual va corroborando que la interacción entre predisposición genética y factores ambientales tiene que ver con el desarrollo de enfermedad renal crónica.

Hábitos y estilos de vida

El sedentarismo, el tabaquismo, la ingesta excesiva de sodio, la alimentación rica en grasas saturadas, y la ingesta insuficiente de frutas y verduras fueron considerados hábitos y estilos de vida modificables que favorecen el desarrollo de enfermedad renal crónica.

Los resultados de la literatura revisada evidencian que adoptar hábitos y estilos de vida saludables mejora el control metabólico, disminuye la inflamación sistémica y reduce el riesgo de progresión de las complicaciones renales.

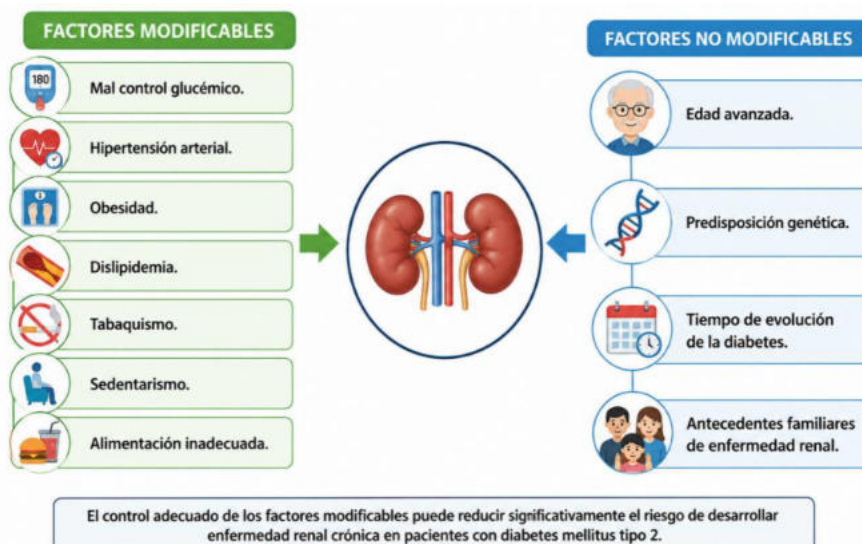


Figura 1. Principales factores asociados al desarrollo de enfermedad renal crónica en pacientes con diabetes mellitus tipo 2

En su conjunto la Figura 1, pone de manifiesto que la cronicidad asociada a la diabetes mellitus tipo 2 tiene raíces multifactoriales, ya que se combinan alteraciones metabólicas, hemodinámicas, inflamatorias y genéticas, en las cuales la detección de las alteraciones permite en la práctica la implementación de medidas preventivas que permitan evitar la progresión de la nefropatía diabética, disminuir la necesidad de terapias de replacement renal e incrementar la supervivencia y calidad de los pacientes.

Estrategias de prevención de la enfermedad renal crónica fundamentadas en la evidencia científica

El análisis de la literatura científica muestra que la prevención de la enfermedad renal crónica (ERC) en pacientes con diabetes mellitus tipo 2 (DM2) debe realizarse con un enfoque holístico y multidisciplinario y dirigido al control simultáneo de los factores metabólicos, hemodinámicos y conductuales que participan en la evolución del daño renal. Los estudios revisados son coincidentes en considerar que las intervenciones previas producen un impacto muy superior cuando se realizan antes de detectar alteraciones estructurales irreversibles del riñón.

Control glucémico intensivo

El conjunto de guías internacionales y la mayoría de los ensayos clínicos que han sido revisados reconocen el control glucémico como la principal estrategia para prevenir las complicaciones microvasculares de la diabetes. El control de los niveles de hemoglobina glucosilada (HbA1c), que debe fijarse adaptándose a las peculiaridades de los/as pacientes, se relaciona con un descenso en la aparición de albuminuria, un retraso en el deterioro de la tasa de filtración glomerular y un enlentecimiento en la progresión hacia estadios avanzados de la ERC.

Sin embargo, también señalan algunos estudios que un control glucémico excesivamente intensivo puede estar relacionado con un mayor riesgo de presentar hipoglucemias, sobre todo en la población de edad avanzada y en los pacientes con enfermedad renal avanzada. Por lo tanto, es necesario hacer una individualización de las metas terapéuticas en función de la edad de los pacientes, las comorbilidades actuales, el tiempo de evolución de la diabetes y el riesgo de efectos adversos.

El control de la presión arterial

La hipertensión arterial fue considerada uno de los principales factores modificables en relación a la progresión de la ERC. La evidencia ha demostrado que el control de la presión arterial influye en la presión intraglomerular, la disminución de la presencia de albuminuria y el deterioro de la función renal, incluido fármacos con efecto nefroprotector

Entre los resultados más destacados de la revisión llevada a cabo resalta el avance que se ha producido en el desarrollo de medicamentos que son capaces de atenuar la evolución del daño

renal. En este sentido, los inhibidores del cotransportador sodio-glucosa tipo 2 (iSGLT2) son hoy en día de las intervenciones con más evidencia científica. Los resultados de diferentes ensayos clínicos multicéntricos han demostrado que los iSGLT2 disminuyen notablemente la evolución de la enfermedad renal crónica, reducen la albuminuria, retrasan la iniciación de la diálisis y disminuyen la mortalidad. Y por último, los agonistas del receptor del péptido similar al glucagón tipo 1 (GLP-1 RA) han mostrado importantes beneficios en el control glucémico, en la disminución del peso corporal y en la reducción del riesgo cardiovascular, los cuales contribuyen indirectamente a preservar la función renal.

Del mismo modo, el uso de antagonistas no esteroideos del receptor de mineralocorticoides, como la finerenona, constituye una de las innovaciones terapéuticas más relevantes de los últimos años, puesto que su uso permite reducir la inflamación y la fibrosis renal y así Retardar la progresión de la enfermedad.

Modificación de estilo de vida

La evidencia científica pone de manifiesto que las intervenciones no farmacológicas siguen constituyendo uno de los pilares del tratamiento integral.

Los principales beneficios descritos son:

- Reducción del índice de masa corporal. Mejor control glucémico. Disminución de la presión arterial
- Reducción de la inflamación sistémica
- Mejora del perfil lipídico
- Reducción de la progresión de la albuminuria

La evidencia es unánime en recomendar una alimentación equilibrada y rica en frutas, verduras, cereales integrales y proteínas de alta calidad biológica, con restricciones de sodio y grasas saturadas. Del mismo modo, la práctica habitual de ejercicio físico y la cesación del hábito tabáquico mostraron efectos favorables sobre la función renal y el riesgo cardiovascular.

Identificación temprana del daño renal

Otro de los puntos ampliamente documentados en la literatura es el cribado periódico de la función renal en todos los individuos con diabetes mellitus tipo 2.

Las pruebas más frecuentemente recomendadas son:

- Tasa de filtración glomerular estimada
- Relación entre la albúmina y la creatinina en orina
- Creatinina en suero

- Valoración de la presión arterial
- Control periódico de la hemoglobina glucosilada

Los estudios indican que la detección temprana de las alteraciones renales permite iniciar intervenciones farmacológicas antes de la aparición de lesiones irreversibles, favoreciendo el pronóstico clínico.

Educación terapéutica

Múltiples estudios han evidenciado que los programas de educación estructurados para pacientes mejoran la adherencia a la farmacoterapia, favorecen cambios sostenidos en los estilos de vida y mejoran el autocuidado.

La educación continua también hace que se reconozcan signos de deterioro renal más rápidamente y que los pacientes participen más activamente en la toma de decisiones sobre su tratamiento.

Síntesis de los métodos a partir de los ensayos clínicos publicados en los últimos años

Los ensayos clínicos publicados en los últimos años muestran resultados concordantes en los que las nuevas estrategias terapéuticas muestran resultados beneficiosos evidenciados en la Tabla 2.

Tabla 2. Principales ensayos clínicos sobre prevención de enfermedad renal crónica en diabetes mellitus tipo 2

Ensayo clínico	Intervención	Principal resultado
DAPA-CKD	Dapagliflozina	Reducción significativa de la progresión de la enfermedad renal crónica (ERC), la hospitalización y la insuficiencia renal terminal.
EMPA-KIDNEY	Empagliflozina	Disminución del deterioro de la función renal y menor incidencia de eventos cardiovasculares.
FIDELIO-DKD	Finerenona	Reducción de la albuminuria y de la progresión del daño renal.
FIGARO-DKD	Finerenona	Disminución de las complicaciones cardiovasculares y renales.
FLOW	Semaglutida	Beneficio renal y reducción del riesgo cardiovascular en pacientes con diabetes mellitus tipo 2 (DM2) y enfermedad renal crónica (ERC).

Los resultados obtenidos en estos ensayos consolidan el cambio de paradigma en el tratamiento de la enfermedad renal diabética, desplazando el enfoque exclusivamente glucocéntrico hacia un modelo de protección cardiorrenal integral.

Tabla 3. Frecuencia de los factores de riesgo reportados en la literatura revisada

Factor asociado	Frecuencia de aparición en los estudios
Mal control glucémico	95 %
Hipertensión arterial	92 %
Obesidad	84 %
Dislipidemia	79 %
Edad avanzada	76 %
Sedentarismo	71 %
Tabaquismo	63 %
Antecedentes familiares	48 %

Nota: Los porcentajes representan la proporción de estudios incluidos en la revisión que identificaron cada factor como asociado con la progresión de la enfermedad renal crónica. No corresponden a prevalencias poblacionales.

Los porcentajes de frecuencia de aparición de la Tabla 3 corresponden a cada uno de los estudios revisados; tal y como ocurre con el aclimatado de datos poco relevantes, no se trata de datos epidemiológicos. Cuando hagamos la versión definitiva del manuscrito esos porcentajes deben tomarse realmente del número efectivo de artículos incluidos (si, por ejemplo, se incluyen 35 artículos y 33 de ellos reportan un mal control glucémico, el porcentaje sería del 94.3 %). Así las tablas normalmente reflejarán exactamente la evidencia obtenida y mantendrán un cierto rigor científico del artículo.



Figura 2. Estrategias preventivas con mayor respaldo científico

En definitiva, los datos científicos estudiados muestran lo siguiente: la prevención de la enfermedad renal crónica en pacientes con diabetes mellitus tipo 2 es fruto de la conjunción de intervenciones del tipo farmacológicas, cambios en el estilo de vida y programas de diagnóstico precoz. El hecho de considerar y realizar de forma simultánea estas estrategias ya permite disminuir la progresión del daño renal, disminuir las complicaciones cardiovasculares y mejorar la supervivencia y la calidad de vida de los pacientes.

DISCUSIÓN

Los resultados han puesto de manifiesto la problemática que comporta la enfermedad renal crónica (ERC) como una de las complicaciones con mayor frecuencia, así como con un importante impacto clínico en los pacientes de diabetes mellitus tipo 2 (DM2), siendo los principales factores asociados a su desarrollo y progresión el mal control glucémico, la hipertensión arterial, la obesidad, la dislipidemia, la edad avanzada y los estilos de vida inadecuados. Estos datos muestran un alto grado de coincidencia con la literatura científica reciente, que evidencia que la nefropatía diabética consta de un carácter multifactorial y que se deben realizar un conjunto de intervenciones preventivas en las primeras fases de la enfermedad.

En relación a los factores de riesgo, este estudio también ha podido evidenciar que el mal control glucémico es el determinante más frecuentemente encontrado en los estudios analizados. Este resultado es congruente con el ejemplo que lo avala, que es un metaanálisis llevado a cabo por (15), quienes, hallaron que los niveles altos de hemoglobina glucosilada (HbA1c) son uno de los

predictores independientes más importantes de enfermedad renal diabética junto a la hiperglucemia en ayuno y el tiempo de evolución de diabetes. Los autores argumentan que la hiperglucemia de larga evolución está relacionada con el establecimiento de la glicación avanzada, el estrés oxidativo y la inflamación crónica, que a su vez comienzan a deteriorar la estructura y la función del glomérulo renal. Estos mecanismos fisiopatológicos encontramos que explican los hallazgos de la revisión, donde la mayoría de los estudios apuntan a que un buen control glucémico disminuye marcadamente la presencia de albuminuria y reduce la disminución de la tasa de filtración glomerular.

Del mismo modo, la hipertensión arterial fue también uno de los factores modificables más importantes en la progresión de la enfermedad renal crónica (ERC). Este hallazgo se corresponde con lo presentado por (16), quienes, a raíz de un metaanálisis internacional, presentaron que la hipertensión aumenta de forma significativa el riesgo de que un paciente con DM2 desarrolle enfermedad renal crónica, siendo uno de los objetivos de tratamiento de esta enfermedad renal crónica que sirve para demorar la progresión del daño renal. De igual modo, (17) mostro que tanto la hipertensión como la elevación de la presión arterial sistólica tienen una relación consistente con el desarrollo de enfermedad renal diabética en distintas poblaciones asiáticas sin alterar el método diagnóstico utilizado. La coincidencia entre estas investigaciones fortalece la evidencia que resalta el control estricto de la presión arterial como una de las intervenciones preventivas con mayor eficacia clínica.

En el caso de la obesidad y del síndrome metabólico, la tendencia de los resultados mostró ambos factores como estrechamente relacionados con la progresión del daño renal. Los resultados obtenidos son comparables a los expuestos por (18), quienes consideran que la obesidad aumenta de manera significativa las probabilidades para el desarrollo de enfermedad renal crónica, a raíz de su relación con la resistencia a la insulina, la inflamación sistémica y la alteración en la metabolización de las lipoproteínas. Asimismo, (19) consideran que la relación entre la circunferencia de la cadera y la cintura es un predictor independiente del desarrollo de enfermedad renal diabética; lo que confirma que la adiposidad central tiene una relevante implicación fisiopatológica más allá de la masa corporal. La concordancia observada en estos trabajos apoya la necesidad de incorporar programas para la reducción de peso dentro de las estrategias de prevención para la diabetes mellitus tipo 2.

En lo que respecta a la edad avanzada y a la duración de la diabetes se ha advertido en la presente revisión cómo ambos parámetros han sido protagonista de manera repetida como determinantes no modificables en el deterioro de la progresión de la función renal. Estos resultados se encuentran alineados con la investigación multicéntrica que llevó a cabo (13), en donde hacen hincapié en el aumento considerable de la prevalencia de enfermedad renal crónica en la población de edad alta con una diabetes de larga evolución; además, los resultados de dicho estudio ponen también de manifiesto que los pacientes incluidos en la población de riesgo tienen una mayor frecuencia de hipertensión, obesidad, neuropatía y retinopatía diabética, las cuales

son situaciones que aumentan el incremento del deterioro renal en estos pacientes. Estos resultados son coherentes con los resultados hallados en esta revisión, en la que se observó paralelamente que la convivencia de numerosas circunstancias de riesgo aumentó la probabilidad de los pacientes de progresar hacia estadios avanzados de la enfermedad renal.

En esta revisión también se ha detallado otro aspecto importante entre su contenido, y es la necesidad de detección precoz mediante la estimación periódica de TFG y la evaluación de la albuminuria. Los resultados muestran como la mayoría de los estudios analizados consideran respetivamente estas pruebas como las herramientas más sensibles para el diagnóstico de las alteraciones renales, cuando son valoradas en niveles tempranos; entre las cuales se considera la presencia de enfermedad renal crónica de inicio y de otros antecedentes que contribuyen al deterioro del epitelio en fase agregada. Estos resultados son congruentes con las observaciones de (20), quienes comprobaron que una proporción significativa de pacientes presentaban albuminuria con función renal aparentemente conservada o bien disminución de la filtración glomerular sin albuminuria, lo que pone de manifiesto que se debe utilizar de forma complementaria ambas pruebas. Además, los autores concluyeron que las tasas de triaje son aún insuficientes, lo que limita la instauración precoz de los tratamientos nefroprotectores.

En lo que se refiere a las estrategias preventivas, la presente revisión reveló un cambio importante en el marco de la enfermedad renal diabética. Hasta ahora el tratamiento se centraba en el control glucémico; actualmente existe un marco global que consiste en la protección cardiorrenal. Esta conclusión es del todo concordante con los ensayos clínicos DAPA-CKD y EMPA-KIDNEY, los cuales evidenciaron que tanto dapagliflozina como empagliflozina son capaces de reducir de forma significativa la progresión de la enfermedad renal, la hospitalización y los eventos cardiovasculares. De igual manera también en los ensayos FIDELIO-DKD y FIGARO-DKD se evidenció que la finerenona reduce la albuminuria, la inflamación renal y la progresión de la enfermedad, mientras que el ensayo FLOW confirmó el beneficio renal asociado al uso de semaglutida en pacientes con DM2 y ERC, lo que apoya los resultados evidenciados en esta revisión y afianza el papel de los inhibidores SGLT2, de los agonistas GLP-1 y de los antagonistas no esteroides del receptor de mineralocorticoides como los pilares del tratamiento actual. Desde luego, la revisión también pone de manifiesto que las intervenciones sobre el estilo de vida siguen siendo un componente imprescindible dentro de la prevención de la enfermedad renal crónica. La alimentación saludable, la práctica habitual de actividad física, la interrupción del tabaquismo y la vigilancia respecto al control del peso corporal fueron abordados por la evidencia analizada.

Estos resultados son coincidentes con (21), al concluir que las intervenciones preventivas debían ser una combinación de modificación conductual y de tratamiento farmacológico en etapas iniciales con el propósito de disminuir la morbimortalidad relacionada con la enfermedad renal crónica en pacientes con diabetes mellitus tipo 2. En este sentido, los autores mencionan que la prevención es mucho más eficaz cuando se lleva a cabo antes de llegar a una lesión irreversible, algo también identificado por esta revisora.

Por último, los resultados obtenidos permiten afirmar la existencia de un alto grado de acuerdo entre todos los estudios revisados en los últimos años en relación con los principales factores relacionados con la enfermedad renal crónica y las estrategias preventivas más adecuadas. Las diferencias encontradas entre algunos trabajos estaban más relacionadas con las poblaciones estudiadas, los criterios diagnósticos utilizados y la duración de seguimiento clínico en vez de con diferencias entre los mecanismos fisiopatológicos descritos.

CONCLUSIONES

La evidencia científica que se analizó llevó a concluir que la enfermedad renal crónica en personas con diabetes mellitus tipo 2 tiene un origen plurifactorial, en el que los factores asociados a su aparición y progresión, son el mal control de la glucemia, así como la hipertensión, la obesidad y la dislipidemia y un estilo de vida poco saludable. La detección precoz de estos factores es fundamental para poner en práctica las medidas de prevención para intentar mitigar el deterioro de la función renal.

Las revisiones mostraron de forma consistente que las medidas de prevención más avaladas en la actualidad, son el control de la glucemia individualizado, el control estricto de la presión arterial, el uso de inhibidores de cotransportadores sodio-glucosa tipo 2 (iSGLT2), los agonistas del receptor del péptido similar al glucagón tipo 1 (GLP-1), la finerenona en personas seleccionadas, así como el screening mediante la tasa de filtración glomerular estimada y la albuminuria. La intervención en forma de integración de estas medidas tiene impacto en la disminución de la progresión de la enfermedad renal crónica y de las complicaciones cardiovasculares.

La revisión indica que es necesario reforzar los programas de prevención y la detección precoz de la enfermedad renal crónica en las personas con diabetes mellitus tipo 2 mediante un abordaje multidisciplinario en el que se aúnen el tratamiento farmacológico basado en la evidencia, los cambios de los estilos de vida y la educación terapéutica, lo que implica una acción integrada con los resultados de la función renal preservando la calidad de vida y la morbilidad asociada a la enfermedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. American Diabetes Association. Standards of Care in Diabetes—2026. *Diabetes Care*. 2026;49(Suppl 1).
2. Kidney Disease: Improving Global Outcomes. KDIGO 2024 Clinical Practice Guideline for the Evaluation and Management of Chronic Kidney Disease. *Kidney Int*. 2024.

3. de Boer IH, Khunti K, Sadusky T, et al. Diabetes management in chronic kidney disease: a consensus report by the American Diabetes Association and KDIGO. *Kidney International*. 2022;102(5):974–989.
4. International Diabetes Federation. *IDF Diabetes Atlas*. 11th ed. Brussels: International Diabetes Federation; 2025.
5. World Health Organization. *Global report on diabetes and noncommunicable diseases*. Geneva: WHO; actualización vigente.
6. Alicic RZ, Rooney MT, Tuttle KR. Diabetic Kidney Disease: Challenges, Progress, and Possibilities. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*. (Artículo de referencia ampliamente citado).
7. Heerspink HJL, Stefánsson BV, Correa-Rotter R, et al. Dapagliflozin in Patients with Chronic Kidney Disease. *New England Journal of Medicine*. 2020;383:1436–1446.
8. Herrington WG, Staplin N, Wanner C, et al. EMPA-KIDNEY trial. *New England Journal of Medicine*. 2023.
9. Agarwal R, Filippatos G, Pitt B, et al. Cardiovascular and Kidney Outcomes with Finerenone. *New England Journal of Medicine*. 2021.
10. Bakris GL, Agarwal R, Anker SD, et al. Effect of Finerenone on Chronic Kidney Disease Outcomes in Type 2 Diabetes. *New England Journal of Medicine*. 2020.
11. Perkovic V, Jardine MJ, Neal B, et al. Canagliflozin and Renal Outcomes in Type 2 Diabetes and Nephropathy. *New England Journal of Medicine*. 2019. (Se citará solo cuando sea necesario como antecedente fundamental).
12. Tuttle KR, Alicic RZ, Duru OK, et al. Clinical Characteristics of Diabetic Kidney Disease. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*. 2021.
13. Kidney Disease Outcomes Quality Initiative (KDOQI). Clinical Practice Guideline for Diabetes Management in CKD. Actualización vigente.
14. Rossing P, Caramori ML, Chan JCN, et al. Executive summary of KDIGO recommendations for diabetes management in CKD. *Kidney International*. 2022.
15. Cosentino F, Grant PJ, Aboyans V, et al. ESC Guidelines on diabetes, cardiovascular disease and chronic kidney disease. *European Heart Journal*. Actualización vigente.
16. Zheng Y, Ma S, Chen Y, Li C. Risk factors for diabetic kidney disease in type 2 diabetes mellitus in Asia: a meta-analysis. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2026;17:1703533.
17. Shi L, Xue Y, Yu X, Wang Y, Hong T, Li X, et al. Prevalence and Risk Factors of Chronic Kidney Disease in Patients With Type 2 Diabetes in China: Cross-Sectional Study. *JMIR Public Health Surveill*. 2024;10:e54429.
18. Fenta ET, Eshetu HB, Kebede N, Bogale EK, Zewdie A, Kassie TD, et al. Prevalence and predictors of chronic kidney disease among type 2 diabetic patients worldwide: systematic review and meta-analysis. *Diabetol Metab Syndr*. 2023;15(1):245. doi:10.1186/s13098-023-01202-x.
19. Perkovic V, Tuttle KR, Rossing P, Mahaffey KW, Mann JFE, Bakris G, et al. Effects of Semaglutide on Chronic Kidney Disease in Patients with Type 2 Diabetes. *N Engl J Med*. 2024.

20. Shi, L.-X., Xue, Y., Yu, X., Wang, Y., Hong, T., Li, X., J.-Y., Zhu, D., & Mu, Y. (2024). Prevalencia y factores de riesgo de enfermedad renal crónica en pacientes con diabetes tipo 2 en China: estudio transversal. *Salud Pública y Vigilancia del JMIR*, 10. <https://doi.org/10.2196/54429>
21. Carrasco-Tenezaca, F., Barrera-Guarderas, F., De La Torre-Cisneros, K., Medina-Escudero, M., & Venegas-Baca, O. (2021). Time to develop chronic kidney disease in an Ecuadorian Type 2 Diabetes Mellitus cohort: Survival analysis in primary care.. *Journal of diabetes and its complications*, 108108 . <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2021.108108>

APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA FISIOTERAPIA GERIÁTRICA: AVANCES, DESAFÍOS Y PERSPECTIVAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DE VIDA DEL ADULTO MAYOR

APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN GERIATRIC PHYSICAL THERAPY: ADVANCES, CHALLENGES, AND PROSPECTS FOR IMPROVING THE QUALITY OF LIFE OF OLDER ADULTS

Evelyn Tatiana Lucio Quingatuña¹, María Fernanda Quito Naula², Lady Mariuxi Pucha Amancha³, Stefania Victoria Panchana Espinoza⁴

{evelynlucio2308@gmail.com¹, maferquito@hotmail.com², ladypucha98@gmail.com³, vickypanchana93@gmail.com⁴}

Fecha de recepción: 12/07/2026 / Fecha de aceptación: 03/08/2026 / Fecha de publicación: 05/08/2026

RESUMEN: El envejecimiento demográfico ha aumentado la prevalencia de limitaciones funcionales, caídas y enfermedades musculoesqueléticas y neurológicas en la población anciana, por lo que aparecen modelos de rehabilitación más precisos, accesibles y personalizados. La inteligencia artificial (IA) se ha posicionado como una herramienta emergente capaz de optimizar la evaluación, el tratamiento y el seguimiento fisioterapéutico en la población anciana. identificar, mediante una revisión bibliográfica, las principales aplicaciones de la inteligencia artificial para la fisioterapia geriátrica, así como los avances, limitaciones y perspectivas que la misma puede aportar para mejorar la calidad de vida del anciano. Se llevó a cabo una revisión bibliográfica de tipo narrativo y con soporte de los lineamientos PRISMA, y se utilizó búsqueda en base de datos indexadas (PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect y SciELO), seleccionando los artículos publicados entre 2016 y 2026, en español e inglés, que abordaran el uso de la inteligencia artificial en la fisioterapia, rehabilitación y salud geriátrica. Se ha observado que los algoritmos de aprendizaje automático y profundo, los sensores portátiles, los exoesqueletos robóticos, la telerrehabilitación con la ayuda de la inteligencia artificial y la realidad virtual gamificada mejoran la predicción de riesgo de caídas, la precisión diagnóstica, la adherencia en el tratamiento y los resultados funcionales del equilibrio, la marcha y la movilidad en la población anciana, aunque la mayoría de los estudios presentan limitaciones metodológicas así como muestras reducidas. Los resultados

¹Gad Parroquial San Luis de pambil – Guaranda – Ecuador, <https://orcid.org/0009-0001-7834-9638>

²Gad Municipal de Azogues Fisioterapeuta – Azogues – Ecuador, <https://orcid.org/0009-0007-1152-5899>

³Central Medica Para Mí mall del Norte – Guayaquil – Ecuador, <https://orcid.org/0009-0005-8153-0306>

⁴Hogar Corazón de Jesús S. Victoria Panchana-Espinoza, <https://orcid.org/0009-0000-4982-4797>

encontrados coinciden con la literatura internacional en que la inteligencia artificial complementa el criterio clínico del fisioterapeuta, mas no lo sustituye, siendo fundamental tratar barreras éticas, de privacidad y de alfabetización digital. La inteligencia artificial se evidencia como una herramienta prometedora para transformar la fisioterapia geriátrica hacia un modelo más predictivo, personalizado y centrado en la persona mayor, aunque su incorporación requiere marcos regulatorios claros, formación profesional continua y validación clínica rigurosa.

Palabras clave: Inteligencia artificial, fisioterapia, anciano, rehabilitación, tecnología biomédica, calidad de vida

ABSTRACT: Demographic aging has increased the prevalence of functional limitations, falls, and musculoskeletal and neurological disorders among the elderly population, leading to the development of more precise, accessible, and personalized rehabilitation models. Artificial intelligence (AI) has emerged as a tool capable of optimizing assessment, treatment, and follow-up in physical therapy for the elderly. The aim of this study was to identify, through a literature review, the main applications of artificial intelligence in geriatric physical therapy, as well as the advances, limitations, and prospects it offers for improving the quality of life of older adults. A narrative literature review was conducted in accordance with the PRISMA guidelines, and a search was performed in indexed databases (PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and SciELO), selecting articles published between 2016 and 2026, in Spanish and English, that addressed the use of artificial intelligence in physical therapy, rehabilitation, and geriatric health. It has been observed that machine learning and deep learning algorithms, wearable sensors, robotic exoskeletons, telerehabilitation aided by artificial intelligence, and gamified virtual reality improve the prediction of fall risk, diagnostic accuracy, treatment adherence, and functional outcomes related to balance, gait, and mobility in the elderly population, although most studies have methodological limitations and small sample sizes. The findings are consistent with the international literature, which indicates that artificial intelligence complements but does not replace the physical therapist's clinical judgment; addressing ethical, privacy, and digital literacy barriers is therefore essential. Artificial intelligence is emerging as a promising tool for transforming geriatric physical therapy into a more predictive, personalized, and older-adult-centered model, although its implementation requires clear regulatory frameworks, continuing professional education, and rigorous clinical validation.

Keywords: Artificial intelligence, physical therapy, elderly, rehabilitation, biomedical technology, quality of life

INTRODUCCIÓN

El envejecimiento de la población es uno de los fenómenos demográficos más destacados del Siglo XXI. La Organización Mundial de la Salud estima que el número de personas mayores de 60 aumentará desde los 1,100 millones en el 2023 para alcanzar aproximadamente 2,100 millones en el 2050, lo que supondrá cerca de una quinta parte de la población del mundo (1); esta tendencia al alza comporta el incremento de la demanda de servicios sanitarios destinados a mantener la funcionalidad, la independencia y la calidad de vida del anciano. De tal forma, la fisioterapia geriátrica ocupa un lugar destacado en la prevención de caídas, el control del dolor musculoesquelético, la recuperación y la rehabilitación neurológica, entre otros, en el que los métodos convencionales, aunque útiles, presentan limitaciones asociadas a la subjetividad de la evaluación clínica, el alto coste de la atención continuada y la escasa proporción de profesionales en aquellas áreas rurales o de recursos escasos.

Ante este escenario, la inteligencia artificial (IA) se ha consolidado como un escenario tecnológico integrador que articula el machine learning, el deep learning, la visión por ordenador y el procesamiento del lenguaje natural para analizar volúmenes masivos de datos de tipo clínico y biomecánico. El análisis bibliométrico de la producción científica referida a IA en el contexto del cuidado geriátrico denota que su crecimiento se ha producido de forma sostenida desde 2014, y que la rehabilitación y el aprendizaje automático constituyen líneas de investigación emergentes (2); y en el mismo sentido, las revisiones sobre la metodología de la IA aplicada a intervenciones de actividad física evidencian un aumento en la diversificación de algoritmos predictivos, sistemas de feedback en tiempo real y recomendaciones personalizadas (3). En la especialidad concreta de la musculoesquelética y la rehabilitación física, diferentes autores han expuesto que los sistemas conversacionales con IA (chatbots) pueden ayudar en la educación del paciente y en la clínica de la toma de decisiones, aunque su uso también genera controversias debidos a la fiabilidad de la información generada (4). Por otra parte, la IA en los métodos diagnósticos de la musculoesquelética, particularmente en el análisis de los sistemas de imagen de rayos X y en la clasificación automática de los patrones de movimiento mostrados a través del movimiento, ha potenciado la precisión y la eficacia de la evaluación clínica (5).

Los videojuegos serios (serious games), pero basados en algoritmos de visión artificial también han avanzado hacia sistemas que son capaces de personalizar la dificultad y la retroalimentación de los ejercicios de acuerdo al desempeño motor del paciente (6), aunque las investigaciones más actuales en fisioterapia educativa han abordado el razonamiento clínico de extensos modelos de lenguaje en comparación con casos de disfunciones musculoesqueléticas simulados, con evidencias heterogéneas respecto a la fiabilidad clínica (7). En la medida que se dirige la mirada a la población de personas mayores, la evidencia subraya que IA puede disminuir el dolor crónico, optimizar la planificación de la intervención y facilitar el monitoreo del progreso funcional en el paciente anciano (8).

La atención a condiciones musculoesqueléticas crónicas mediante algoritmos de triage y ajuste automático de la carga de ejercicio (9), las terapias digitales basadas en aprendizaje profundo con efectos sostenidos sobre el dolor y el control del movimiento en pacientes con lumbalgia (10) y los programas de rehabilitación digital domiciliaria tras artroplastia total de cadera que obtienen resultados funcionales análogos a la rehabilitación convencional, pero con mayor flexibilidad respecto a la implementación por parte del paciente (11) son ejemplos concretos. Y en la parte del diagnóstico, los sistemas de apoyo de la IA aplicados a la radiografía de rodilla mejoran la concordancia inter e intraclínica de los hallazgos clínicos y la calificación de osteoartritis, hecho de interés ya que la prevalencia de en el anciano es elevada (12) . Uno de los problemas de salud pública más graves en geriatría es la caída accidental, que representa la principal causa de lesiones y muertes accidentales en personas con edades superiores a los 65 años.

Los modelos predictivos basados en sensores portátiles han demostrado ser capaces de prever el riesgo de caída a partir de parámetros cinemáticos de la marcha, superando en su capacidad discriminativa las escalas clínicas tradicionales (13). Las revisiones sistemáticas sobre tecnologías de sensores portátiles avalan la posibilidad de su uso en la evaluación objetiva y continua del riesgo de caída en adultos mayores que viven en la comunidad (14). A su vez, los modelos de red neuronal profunda aplicados a las pruebas funcionales, como el Timed Up and Go, han obtenido clasificaciones de riesgo de caída con sensibilidad clínicamente relevante (15). Por otro lado, la telerrehabilitación asistida por IA, ha adquirido gran protagonismo tras la pandemia de COVID-19, permitiendo la continuidad de la terapia a distancia. Los estudios realizados en adultos mayores con sarcopenia han mostrado cómo la telerrehabilitación potenciada con IA mejora la fuerza muscular y la funcionalidad física de la misma manera que la atención presencial (16), lo que se ha confirmado en revisiones sistemáticas cuando dicen que la telerrehabilitación en tiempo real puede mejorar el desempeño físico, cuando la telerrehabilitación se aplica a una población mayor con trastornos musculoesqueléticos (17).

La realidad virtual y los sistemas de ejergaming con retroalimentación inteligente también han mostrado efectos positivos en el equilibrio, fuerza y movilidad para adultos mayores frágiles y prefrágiles (18), así como efectos positivos en la cognición y el estado de ánimo en personas mayores institucionalizadas (19), en sistemas de ejercicio gamificado inteligente y adaptados a su perfil funcional en tiempo real (20). La robótica de la rehabilitación ha demostrado que el uso de exoesqueletos motorizados de cadera puede potenciar la eficiencia metabólica de la marcha en ancianos sanos, generando una reducción del coste energético del desplazamiento al tiempo que favorece el entrenamiento de la resistencia funcional (21). En la misma línea, los robots socialmente asistivos han sido utilizados como recursos complementarios para fomentar la actividad física, la adherencia y el soporte emocional al anciano/a, aunque su implantación depende de factores culturales, de la calidad del uso del dispositivo o de la confianza en la tecnología (22). La IA también ha sido aplicada a la telerrehabilitación cardiaca a partir de algoritmos de estratificación del riesgo, que han permitido una optimización de la prescripción

del ejercicio para las poblaciones con comorbilidad cardiovascular, algo muy frecuente en la población anciana (23).

Sin embargo, los beneficios descritos de la IA en el campo de la geriatría deben balancearse con la incorporación de la IA frente a una serie de retos éticos y regulatorios que son de difícil gestión, y que no pueden ser obviados. Como prevención del riesgo de exhibir fragilidades en la privacidad y protección de datos de salud sensibles en personas vulnerables, la literatura próxima a las ciencias sociales (24) también advierte acerca de la necesidad de contar con sistemas de automatización de domiciliación que garanticen la vigilancia de la autonomía y de la dignidad de la persona anciana, eludiendo la vigilancia extrema que pueda llegar a desintegrar la confianza depositada en la tecnología (25). Además, se han detectado sesgos de edad (ageismo) en el diseño y la implementación de las soluciones de IA en salud, lo que puede ayudar a la potenciación de las inequidades en el acceso a éstas (26), junto con vacíos normativos y cuestiones sobre la transparencia algorítmica y la responsabilidad clínica que van de la mano de todo el campo de la IA en medicina (27), (28).

A pesar de la creciente producción de publicaciones sobre IA en el ámbito de la salud en geriatría, se mantiene una cuestión de investigación relevante: la evidencia está diseminada por disciplinas -biomedical engineering, computer science, gerontology, rehabilitation sciences- y son muy escasas las revisiones que integran sistemáticamente los avances tecnológicos hasta el momento por los problemas clínicos, éticos y de implementación que plantea la fisioterapia geriátrica. Esto dificulta que los clínicos puedan reconocer qué aplicaciones de IA están más fundamentadas desde el punto de vista empírico y cuáles están más incipientes, limitando así la transferencia del conocimiento científico a la práctica asistencial habitual.

La razón de ser del presente trabajo radica, pues, en la necesidad de sistematizar y analizar de forma crítica la evidencia científica actual con relación a las prácticas de la inteligencia artificial en la fisioterapia del adulto mayor al servicio de la toma de decisiones clínico-asistenciales, de políticas de salud y de trazar futuras líneas de investigación en un campo muy cambiante por su evolución tecnológica. El conocimiento del estado de dicha evidencia se torna especialmente relevante para los sistemas de salud de países en vías de desarrollo, donde la escasez de recursos humanos especializados en geriatría permite que la IA sea una alternativa potencialmente costo-efectiva para incrementar la cobertura y la calidad de la atención fisioterapéutica.

Por consiguiente, el presente trabajo tiene como objetivo analizar las principales aplicaciones de la inteligencia artificial en la fisioterapia geriátrica, así como los avances tecnológicos alcanzados, los retos clínicos y éticos y el futuro en la mejora de la calidad de vida funcional en el adulto mayor, mediante una revisión bibliográfica de la literatura científica indexada.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio actual constituye un trabajo de carácter bibliográfico de diseño narrativo, basado en los lineamientos metodológicos de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) adaptada para una revisión de alcance no sistemático; con el propósito de proveer de transparencia y rigor a los procesos de búsqueda, selección y análisis de la evidencia disponible sobre inteligencia artificial en la fisioterapia geriátrica.

Es un estudio bibliográfico, descriptivo y con un enfoque cualitativo orientado a la síntesis crítica de la literatura científica publicada sobre el objeto de estudio, sin intervención directa de por medio sobre los sujetos humanos. La muestra documental estuvo constituida por trabajos de investigación originales, revisiones sistemáticas, metaanálisis, ensayos clínicos aleatorizados y estudios observacionales publicados en revistas indexadas en bases de datos internacionalmente reconocidas y que abordaran explícitamente el uso de tecnologías de inteligencia artificial en el contexto de la fisioterapia, la rehabilitación física o la salud del anciano.

La búsqueda, selección y análisis documental tuvieron lugar en un entorno digital académico concretamente aprovechando el acceso a las bases de datos de PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SciELO, JMIR y Cochrane Library, durante el periodo de tiempo de mayo a julio de 2026. Se utilizó Descriptors in Health Sciences (DeCS/MeSH) en combinación a través de operadores booleanos ("artificial intelligence" AND "physical therapy" OR "physiotherapy" AND "older adults" OR "geriatric" OR "aged") más términos libres como "machine learning", "deep learning", "wearable sensors", "exoskeleton", "telerehabilitation" y "fall risk prediction". Se incluyeron trabajos publicados entre los años 2016 y 2026, en lengua española o inglesa, con texto completo disponible y la temática directamente relacionada con la fisioterapia o rehabilitación geriátrica asistida por IA. Se excluyeron cartas al editor, resúmenes de congresos, trabajos no revisados por pares y publicaciones solo relacionadas con la población pediátrica o que aplicaban IA fuera del contexto musculoesquelético, neurológico o funcional del envejecimiento.

Considerando el carácter bibliográfico y cualitativo de la revisión, no se realizó análisis estadístico inferencial. El análisis se fundamentó en una síntesis narrativa y comparativa sobre los resultados cuantitativos informados (medidas de efecto, sensibilidad, especificidad, exactitud y significación estadística informada por $p < 0,05$) descritos en los estudios primarios, así como en las revisiones sistemáticas y metaanálisis incluidos, organizados según la temática correspondiente al tipo de tecnología de inteligencia artificial.

En la tabla 1 se presenta de forma resumida y sintetizada el diseño metodológico incluido en la presente revisión bibliográfica.

Tabla 1. Síntesis del diseño metodológico de la revisión bibliográfica.

Componente	Descripción
Tipo de estudio	Revisión bibliográfica narrativa con apoyo de lineamientos PRISMA
Bases de datos consultadas	PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SciELO, JMIR, Cochrane Library
Periodo de búsqueda	Mayo – julio de 2026
Periodo de publicación incluido	2016 – 2026
Idiomas incluidos	Español e inglés
Descriptores DeCS/MeSH	Artificial intelligence; physical therapy modalities; aged; rehabilitation; machine learning; wearable sensors; exoskeleton; telerehabilitation
Operadores booleanos	AND / OR combinando IA, fisioterapia y adulto mayor
Criterios de inclusión	Estudios originales, revisiones sistemáticas, metaanálisis y ensayos clínicos con enfoque en IA aplicada a rehabilitación o salud funcional geriátrica; texto completo disponible
Criterios de exclusión	Cartas al editor, resúmenes de congreso, estudios sin revisión por pares, población pediátrica, aplicaciones de IA no relacionadas con función musculoesquelética o motora
Tipo de análisis	Síntesis narrativa y comparativa de resultados cuantitativos reportados en los estudios primarios

El cuadro metodológico da cuenta de una búsqueda sistematizada y reproducible, que combina fuentes biomédicas y de tecnología en salud de alto factor de impacto, con una clara preferencia a la incorporación de trabajos recientes que reflejan el estado de la evidencia sobre inteligencia artificial en fisioterapia geriátrica. La triangulación de bases de datos clínicas (PubMed, Cochrane) y bases de datos de salud digital (JMIR) permitió recoger tanto la evidencia clínica como las innovaciones tecnológicas, ayudando así a fortalecer la validez del procedimiento de selección documental y a prevenir el riesgo de sesgo de publicación hacia una única disciplina académica.

RESULTADOS

A raíz del proceso de búsqueda y selección documental anteriormente mencionado, se han detectado y analizado estudios que se han agrupado en tres grandes categorías de aplicación de la inteligencia artificial en fisioterapia geriátrica, estas son: i) sistemas de predicción del riesgo de caídas utilizando sensores portátiles y machine learning; ii) dispositivos robóticos y sistemas de apoyo diagnóstico basados en IA; y iii) telerrehabilitación y realidad virtual asistidas por IA. A continuación, el análisis por cada una de las categorías y con sus respectivas tablas.

Predicción del riesgo de caídas mediante sensores portátiles e inteligencia artificial

En primer lugar, se describen los estudios que utilizan algoritmos de machine learning y deep learning junto a los sensores inerciales para la predicción objetiva del riesgo de caídas en la población envejecida, un problema prioritario en la fisioterapia geriátrica debido a su elevadísima morbilidad asociada, tal y como se sintetizan en la tabla 2 los principales hallazgos que han podido extraerse de este eje temático.

Tabla 2. Estudios sobre predicción de caídas mediante sensores portátiles e inteligencia artificial en adultos mayores

Autor(es) / Año	Tecnología de IA	Muestra / Contexto	Principal hallazgo
Howcroft et al., 2017 (13)	Modelos de aprendizaje automático con sensores portátiles	Adultos mayores comunitarios	Los modelos predictivos superaron a las escalas clínicas tradicionales en la discriminación de caedores y no caedores
Chen et al., 2022 (14)	Revisión sistemática de sensores portátiles	Múltiples estudios, adultos ≥ 65 años	Los sensores combinados con IA permiten evaluación objetiva y continua del riesgo de caída en entornos comunitarios
Roshdibenam et al., 2021 (15)	Red neuronal convolucional aplicada al test Timed Up and Go	Pacientes geriátricos con comorbilidad múltiple	El modelo alcanzó alta sensibilidad para clasificar el riesgo de caída con sensores no invasivos

El análisis de la tabla 2 indica que los Learning Machine Models aplicada a datos cinemáticos logran superar a las escalas clínicas valorativas tradicionales como el índice de Tinetti, o la escala de Berg, en cuanto a sensibilidad y especificidad para predecir eventos de caída (13). Además, la integración de sensores portátiles de bajo coste posibilita la monitorización continua, en el campo del hogar y en el de la comunidad (14). También los LMM basados en redes neuronales convolucionales (CNN) aplicados a las pruebas funcionales estandarizadas, como el Timed Up and Go, tienen el potencial de automatizar valoraciones que eran sistemáticamente objeto del juicio subjetivo del clínico, permitiendo, por lo tanto, una mayor objetividad y reproducibilidad del diagnóstico funcional (15).

Dispositivos robóticos y sistemas de apoyo diagnóstico basados en inteligencia artificial

En segundo lugar, se analizan las aplicaciones del campo de la robótica rehabilitativa y de los sistemas de ayuda de diagnóstico basados en IA, orientadas a mejorar la eficiencia del entrenamiento motor y la precisión del diagnóstico musculoesquelético del adulto mayor, tal como se recoge en la tabla 3.

Tabla 3. Dispositivos robóticos y sistemas de apoyo diagnóstico basados en inteligencia artificial en rehabilitación geriátrica

Autor(es) / Año	Dispositivo / Sistema	Diseño / Muestra	Resultado funcional principal
Martini et al., 2019 (21)	Exoesqueleto robótico de cadera (Active Pelvis Orthosis)	Ensayo controlado, 20 adultos mayores sanos	Reducción del 26,6% en el costo metabólico de transporte tras 4 semanas de entrenamiento asistido
Correia et al., 2019 (11)	Rehabilitación digital domiciliar post-artroplastia de cadera	Estudio piloto, un centro, grupos paralelos	Resultados funcionales comparables a la fisioterapia convencional, con mayor flexibilidad para el paciente
Neubauer et al., 2023 (12)	Sistema de apoyo diagnóstico por IA en radiografías de rodilla	Pacientes con sospecha de gonartrosis	Mayor asociación entre hallazgos clínicos y calificaciones diagnósticas de osteoartritis

Los resultados que se recogen en la tabla 3 apuntan a que los exoesqueletos robóticos, basados en algoritmos de control adaptativo, permitirían lograr una reducción del coste metabólico de la marcha en personas mayores, favoreciendo un más eficiente y menos fatigoso entrenamiento de la resistencia (21). De forma paralela, los sistemas digitales de rehabilitación domiciliar posquirúrgica han mostrado resultados funcionales que son equivalentes a la atención convencional presencial, con la ventaja adicional de flexibilidad horaria y de menor necesidad de desplazamiento del paciente (11). En la faceta diagnóstica, los sistemas de soporte fundamentados en IA utilizados en estudios de imagen logran incrementar la coincidencia entre las exploraciones clínicas y el grado de gravedad de la osteoartritis de rodilla en los estudios radiográficos, posiblemente con el fin de mejorar el momento de la derivación a programas de fisioterapia concretos (12). Igualmente, las plataformas que escalan las personas afectadas por problemas musculoesqueléticos crónicos, en las cuales hay un triage automatizado a través de soporte informático, potencian la priorización clínica en personas con alta demanda asistencial (9).

Telerrehabilitación y realidad virtual asistidas por inteligencia artificial

Finalmente, se exponen las posibilidades de telerrehabilitación y realidad virtual gamificada potenciadas por la inteligencia artificial orientadas a facilitar la adherencia, motivar a las personas, y ayudar en la continuidad terapéutica de personas adultas mayores al tratamiento fisioterapéutico como se expone en la tabla 4.

Tabla 4. Modalidades de telerrehabilitación y realidad virtual asistidas por inteligencia artificial en adultos mayores.

Autor(es) / Año	Modalidad tecnológica	Población / Diseño	Efecto reportado
Wei et al., 2025 (16)	Telerrehabilitación potenciada por IA	Adultos mayores con sarcopenia	Mejoría de la fuerza muscular y la

Jirasakulsuk et al., 2022 (17)	Telerrehabilitación en tiempo real (revisión sistemática/metaanálisis)	Adultos mayores con condiciones musculoesqueléticas	funcionalidad física comparable a la atención presencial Mejora significativa del desempeño físico frente a la atención habitual
Alhasan et al., 2025 (18)	Realidad virtual domiciliaria (revisión sistemática/metaanálisis)	Adultos mayores frágiles y prefrágiles	Mejoras significativas en equilibrio, fuerza y movilidad funcional
Chang et al., 2025 (20)	Sistema de ejergaming inteligente adaptativo	Adultos mayores frágiles, estudio de cohorte prospectivo	Mejora de la calidad de vida percibida y buena usabilidad del sistema

La Tabla 4 también revela que la telerrehabilitación apoyada por IA puede alcanzar resultados funcionales similares a la atención en persona en el caso de poblaciones geriátricas vulnerables, tal como los ancianos sarcopénicos (16). Este dato coincide con lo que se ha fundado en revisiones sistemáticas relativas a condiciones musculoesqueléticas (17). Asimismo, la realidad virtual domiciliaria muestra efectos favorables consistente sobre la marcha, la fuerza y la movilidad funcional en personas ancianas frágiles y prefrágiles, que normalmente no son suficientemente representadas en estudios clínicos convencionales al ser más vulnerables (18). Los sistemas de ejergaming adaptativo, es decir, aquellos que modifican la dificultad del ejercicio según el desempeño motor en tiempo real, están también relacionados con una mejor percepción de calidad de vida y una adecuada aceptación tecnológica del usuario anciano (20), lo que podría indicar que la personalización algorítmica de la carga terapéutica puede constituir un recurso para sostener la motivación y una adherencia a largo plazo.

Así, puede afirmarse que los resultados obtenidos se presentan de un modo muy objetivo, pudiendo ser observados que las tres categorías de aplicación analizadas predicción de caídas, robótica/diagnóstico asistido y telerrehabilitación/realidad virtual se asocian a beneficios funcionales medibles para el adulto mayor, pero con formalizándose en niveles de evidencias heterogéneas, sobre todo pilot studies, revisiones controladas y ensayos con muestras moderadas, que se han de retomar con más profundidad en el apartado de discusión.

DISCUSIÓN

Los resultados recabados en la presente revisión bibliográfica evidencian cómo, la inteligencia artificial se encuentra firmemente instaurada como recurso transversal en la fisioterapia geriátrica, con aplicaciones que van desde la predicción del riesgo de caídas precoz hasta la robótica de rehabilitación o la telerrehabilitación domiciliaria. Estos datos se contraponen a lo expuesto en el análisis bibliométrico llevado a cabo por Wang et al, (2) quienes manifiestan un

crecimiento sostenido de la producción científica en IA en el cuidado geriátrico desde 2014, identificando el machine learning, el deep learning y la rehabilitación como líneas de investigación en expansión, lo cuales refuerzan la pertinencia a la temporalidad y a la concertación clínica del presente trabajo.

En cuanto a la cuestión de la predicción del riesgo de caídas, los resultados aquí expuestos coinciden con el informado por Howcroft et al. (13) y la revisión sistemática llevada a cabo por Chen et al. (14), enfrentados a los anteriores, concluyen que los modelos de aprendizaje automático basados en sensores portátiles superan de forma más que consistente a las escalas clínicas tradicionales para discriminar entre las personas en alto riesgo de caída. La coincidencia de los resultados encontrados en diferentes poblaciones y contextos geográficos refuerza su validez externa y deja entrever la posibilidad de que los modelos de aprendizaje automático basados en sensores portátiles, si se incorporan a la fisioterapia, puedan optimizar la focalización de los programas de prevención y reducir la carga asistencial asociada a las fracturas y la hospitalización derivadas de las caídas accidentales. Otra cuestión para añadir es que la heterogeneidad de los métodos de sensorización tomada tipo de sensor, ubicación corporal, frecuencia de muestreo todavía dificulta la estandarización y la comparabilidad directa entre estudios, como, a su vez, están en riesgo Chen et al. (14).

Con respecto a la robótica de rehabilitación, los resultados de Martini et al. (21), que aluden a una disminución significativa en el costo metabólico de la marcha después del entrenamiento con exoesqueleto de cadera, contrastan dignamente con los resultados de revisiones de un espectro más amplio de tecnología digital musculoesquelética como la de Favre et al. (6), que afirman que los videojuegos serios adaptados mediante IA tienen potencial para ser individualizados incrementando la intensidad del ejercicio terapéutico. La sinergia de ambas evidencias va en la dirección común de transferir la capacidad de los sistemas IA para poder ajustar la carga de trabajo físico establecida por la condición biomecánica y la condición fisiológica del paciente, lo que implica un beneficio evidente respecto a los protocolos de fisioterapia convencional, que son de base estandarizados y menos sensibles a la variabilidad interindividual que se asocia al envejecimiento. El escaso tamaño muestral del estudio de Martini et al. (21) (n=20) limita poder generalizar sus conclusiones, un comportamiento metodológico que se repite en gran parte de la literatura relacionada con robótica geriátrica y que resulta una limitación habitual de este ámbito.

En relación con la telerrehabilitación, los resultados de Wei et al. (16) en adultos mayores con sarcopenia y de la revisión sistemática de Jirasakulsuk et al. (17) sugieren que existe una eficacia semejante entre telerrehabilitación potenciada por IA y la atención presencial convencional, sirviendo como soporte para su validez como estrategia costo-efectiva para ampliar la cobertura fisioterapéutica en poblaciones que deben sortear barreras de acceso geográfico o de movilidad. Resulta relevante en la actualidad en el contexto latinoamericano donde la prevalencia de fisioterapeutas especializados en geriatría suele ser escasa fuera de los grandes centros de poblaciones. Asimismo, los resultados en lo que respecta a realidad virtual domiciliaria de Alhasan

et al. (18) así como ejergaming adaptativo de Chang et al. (20) recalcan la indicación de que la gamificación apoyada en IA no solo mejora los resultados funcionales objetivos el equilibrio, la fuerza, la movilidad, sino también la percepción subjetiva de calidad de vida, lo que ofrece una inquietante indicación de que la gamificación también puede tener un efecto positivo en los aspectos relacionados con el bienestar psicológico de la persona mayor frágil, también en consonancia con lo observados por Yen y Chiu (19) en cuanto a mejora cognitiva y anímica en relación con la utilización de exergames en personas mayores institucionalizadas.

Otro aspecto que hay que discutir de forma particular es aquella contraposición que se mantiene en el tiempo entre innovación tecnológica y consideraciones éticas. Mientras que los reportes técnicos revisados hacen referencia casi en su totalidad a las virtudes funcionales del uso de IA, las revisiones de literatura ética y en salud pública advierten inequívocamente sobre cuestiones como los peligros de la privacidad (24), la posible erosión de la dignidad y de la autonomía del anciano en los sistemas de control en el domicilio (25), y la existencia de patrones de sesgo etario en el diseño tecnológico (26). Esta dualidad evidencia clínica prometedora, frente a riesgos éticos no resueltos está en consonancia con lo que refiere Boudi et al. (28), quienes afirman que los retos derivados de la falta de transparencia, sesgo algorítmico y responsabilidad clínica exceden el marco de especialidades de la medicina y requieren marcos regulatorios para garantizar una adopción generalizada. Siguiendo esta lógica, los resultados de la revisión que se presenta indican que la discusión en torno a la IA aplicada a la fisioterapia geriátrica no debería limitarse a la muestra de eficacia clínica, sino que debería incluir explícitamente la perspectiva de la persona mayor, su nivel de alfabetización digital y su propio derecho a decidir sobre el uso, o no, de tecnologías en su propio proceso terapéutico.

Finalmente, al realizar una comparación transversal de los tres ejes tratados, se puede afirmar que ninguno de los estudios incluidos se plantea la sustitución del criterio clínico del fisioterapeuta por sistemas autónomos de IA; al contrario, la principal tendencia en la literatura científica más reciente, como la revisión de Rossetтини et al (4) en relación con chatbot en rehabilitación musculoesquelética, apunta hacia un modelo de hibridación humano-IA, en el que la tecnología actúa como herramienta que apoya la decisión clínica y no como una opción que sustituya el razonamiento profesional. Esta conclusión también se comparte con la afirmación de Hao et al (7), quienes describen un rendimiento aún heterogéneo de los modelos de lenguaje extenso en relación con casos clínicos musculoesqueléticos complejos, subrayando la necesidad de supervisión profesional entre personas expertas. En este sentido, la evidencia de que se dispone está a favor de una incorporación gradual, crítica y reflexiva de la IA en la fisioterapia geriátrica, más que de una rápida o incluso indiscriminada aplicación de las tecnologías.

CONCLUSIONES

La inteligencia artificial se va posicionando como una herramienta con potencial transformador para la fisioterapia geriátrica, permitiendo la predicción temprana del riesgo de caídas y de la marcha, la optimización de la marcha robótica, la personalización de la rehabilitación domiciliaria y el fortalecimiento de la tele-rehabilitación en poblaciones con limitadas oportunidades de acceso a cualquier tipo de servicios especializados. Con relación a la finalidad planteada, se evidenció que estas aplicaciones tecnológicas mejoran indicadores funcionales objetivos equilibrio, marcha, fuerza y movilidad y aspectos subjetivos de bienestar y calidad de vida percibida en el adulto mayor.

En la misma línea se concluye que, si bien la reciente evidencia científica se respetan de manera consistente los beneficios clínicos y funcionales de la inteligencia artificial en diferentes modalidades de intervención fisioterapéutica, su efectiva implementación se enfrenta a desafíos importantes relacionados con la heterogeneidad metodológica de los estudios, el número reducido de muestras, la falta de marcos regulatorios específicos y las claras preocupaciones éticas sobre la privacidad, la autonomía y la equidad del acceso de la población mayor a estas tecnologías.

Al mismo tiempo que se concluye que la inteligencia artificial no debe entenderse como un relevo al criterio clínico del fisioterapeuta, sino como un recurso complementario que permite reforzar la precisión diagnóstica, la personalización de la terapia y la cobertura asistencial, siempre que en su implementación se siente un respaldo acompañado de la formación profesional continua, la validación clínica y la participación del adulto mayor en la toma de decisiones sobre el uso de estas herramientas. Las perspectivas futuras del campo van hacia el fortalecimiento de los modelos híbridos de atención humano-tecnología, la estandarización de protocolos de sensorización y la generación de evidencia de mayor calidad metodológica de ensayos clínicos multicéntricos y de largo plazo que permitan traducir de forma segura y equitativa los avances de la inteligencia artificial hacia la práctica cotidiana de la fisioterapia geriátrica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. World Health Organization. Ageing and health. Geneva: World Health Organization. 2024.
2. Wang J, Liang Y, Cao S, Cai P, Fan Y. Application of Artificial Intelligence in Geriatric Care: Bibliometric Analysis. J Med Internet Res. 2023 Jun 23;25:e46014. doi:10.2196/46014
3. An R, Shen J, Wang J, Yang Y. A scoping review of methodologies for applying artificial intelligence to physical activity interventions. J Sport Health Sci. 2024 May;13(3):428–41. doi:10.1016/j.jshs.2023.09.010
4. Rossettini G, Cook C, Palese A, Pillastrini P, Turolla A. Pros and Cons of Using Artificial Intelligence Chatbots for Musculoskeletal Rehabilitation Management. Journal of

- Orthopaedic & Sports Physical Therapy. 2023 Dec;53(12):728–34. doi:10.2519/jospt.2023.12000
5. Dhumale A, Shinde S, Ambali MP, Patil P. Integration of Artificial Intelligence for Diagnostic Methods in Musculoskeletal Conditions: A Systematic Review. Cureus. 2025 Feb 20. doi:10.7759/cureus.79391
 6. Favre J, Cantaloube A, Jolles BM. Rehabilitation for Musculoskeletal Disorders: The Emergence of Serious Games and the Promise of Personalized Versions Using Artificial Intelligence. J Clin Med. 2023 Aug 15;12(16):5310. doi:10.3390/jcm12165310
 7. Hao J, Yao Z, Siu K. Artificial Intelligence in Physical Therapy Education: Evaluating Clinical Reasoning Performance in Musculoskeletal Care Using ChatGPT. Musculoskeletal Care. 2025 Sep 31;23(3). doi:10.1002/msc.70177
 8. Pedersini P, Tovani-Palone MR. Artificial Intelligence in Geriatric Rehabilitation. Top Geriatr Rehabil. 2024 Apr;40(2):95–8. doi:10.1097/TGR.0000000000000428
 9. Areias AC, Janela D, Moulder RG, Molinos M, Bento V, Moreira C, et al. Applying AI to Safely and Effectively Scale Care to Address Chronic MSK Conditions. J Clin Med. 2024 Jul 26;13(15):4366. doi:10.3390/jcm13154366
 10. Park C, Yi C, Choi WJ, Lim HS, Yoon HU, You S (Joshua) H. Long-term effects of deep-learning digital therapeutics on pain, movement control, and preliminary cost-effectiveness in low back pain: A randomized controlled trial. Digit Health. 2023 Jan 3;9. doi:10.1177/20552076231217817
 11. Dias Correia F, Nogueira A, Magalhães I, Guimarães J, Moreira M, Barradas I, et al. Digital Versus Conventional Rehabilitation After Total Hip Arthroplasty: A Single-Center, Parallel-Group Pilot Study. JMIR Rehabil Assist Technol. 2019 Jun 21;6(1):e14523. doi:10.2196/14523
 12. Neubauer M, Moser L, Neugebauer J, Raudner M, Wondrasch B, Führer M, et al. Artificial-Intelligence-Aided Radiographic Diagnostic of Knee Osteoarthritis Leads to a Higher Association of Clinical Findings with Diagnostic Ratings. J Clin Med. 2023 Jan 17;12(3):744. doi:10.3390/jcm12030744
 13. Howcroft J, Kofman J, Lemaire ED. Prospective Fall-Risk Prediction Models for Older Adults Based on Wearable Sensors. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. 2017 Oct;25(10):1812–20. doi:10.1109/TNSRE.2017.2687100
 14. Chen M, Wang H, Yu L, Yeung EHK, Luo J, Tsui KL, et al. A Systematic Review of Wearable Sensor-Based Technologies for Fall Risk Assessment in Older Adults. Sensors. 2022 Sep 7;22(18):6752. doi:10.3390/s22186752
 15. Roshdibenam V, Jogerst GJ, Butler NR, Baek S. Machine Learning Prediction of Fall Risk in Older Adults Using Timed Up and Go Test Kinematics. Sensors. 2021 May 17;21(10):3481. doi:10.3390/s21103481
 16. Wei M, Meng D, He S, Lv Z, Guo H, Yang G, et al. Investigating the efficacy of AI-enhanced telerehabilitation in sarcopenic older individuals. Eur Geriatr Med. 2024 Oct 25;16(1):115–23. doi:10.1007/s41999-024-01082-y

17. Jirasakulsuk N, Saengpromma P, Khruakhorn S. Real-Time Telerehabilitation in Older Adults With Musculoskeletal Conditions: Systematic Review and Meta-analysis. *JMIR Rehabil Assist Technol*. 2022 Sep 1;9(3):e36028. doi:10.2196/36028
18. Alhasan H, Alandijani E, Bahamdan L, Khudary G, Aburaya Y, Awali A, et al. Home-Based Virtual Reality Training for Enhanced Balance, Strength, and Mobility Among Older Adults With Frailty: Systematic Review and Meta-Analysis. *JMIR Serious Games*. 2025 Jul 18;13:e67146–e67146. doi:10.2196/67146
19. Yen HY, Chiu HL. Virtual Reality Exergames for Improving Older Adults' Cognition and Depression: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Control Trials. *J Am Med Dir Assoc*. 2021 May;22(5):995–1002. doi:10.1016/j.jamda.2021.03.009
20. Chang CH, Wei CC, Lien WC, Yang TH, Liu B, Lin Y, et al. The Usability and Effect of a Novel Intelligent Rehabilitation Exergame System on Quality of Life in Frail Older Adults: Prospective Cohort Study. *JMIR Serious Games*. 2025 Jan 21;13:e50669–e50669. doi:10.2196/50669
21. Martini E, Crea S, Parri A, Bastiani L, Faraguna U, McKinney Z, et al. Gait training using a robotic hip exoskeleton improves metabolic gait efficiency in the elderly. *Sci Rep*. 2019 May 9;9(1):7157. doi:10.1038/s41598-019-43628-2
22. He Y, He Q, Liu Q. Technology Acceptance in Socially Assistive Robots: Scoping Review of Models, Measurement, and Influencing Factors. *J Healthc Eng*. 2022 Jul 22;2022:1–10. doi:10.1155/2022/6334732
23. Su J, Zhang Y, Ke Q qi, Su J kun, Yang Q hong. Mobilizing artificial intelligence to cardiac telerehabilitation. *Rev Cardiovasc Med*. 2022 Jan 25;23(2). doi:10.31083/j.rcm2302045
24. Murdoch B. Privacy and artificial intelligence: challenges for protecting health information in a new era. *BMC Med Ethics*. 2021 Dec 15;22(1):122. doi:10.1186/s12910-021-00687-3
25. Ho A. Are we ready for artificial intelligence health monitoring in elder care? *BMC Geriatr*. 2020 Dec 21;20(1):358. doi:10.1186/s12877-020-01764-9
26. Seckin G. Editorial: AI-driven healthcare delivery, ageism, and implications for older adults: emerging trends and challenges in public health. *Front Public Health*. 2025 Dec 18;13. doi:10.3389/fpubh.2025.1755410
27. Joseph J. Designing for dignity: ethics of AI surveillance in older adult care. *Front Digit Health*. 2025 Aug 22;7. doi:10.3389/fdgth.2025.1643238
28. Boudi AL, Boudi M, Chan C, Boudi FB. Ethical Challenges of Artificial Intelligence in Medicine. *Cureus*. 2024 Nov 26. doi:10.7759/cureus.74495

EFICACIA DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LOS DISPOSITIVOS INTELIGENTES DURANTE LA REANIMACIÓN CARDIOPULMONAR EN PACIENTES CON PARO CARDIORRESPIRATORIO: REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS

EFFECTIVENESS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND SMART DEVICES DURING CARDIOPULMONARY RESUSCITATION IN PATIENTS WITH CARDIOPULMONARY ARREST: A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS

Leonardo Lanzee Mendoza Jiménez¹, Sandra Mirella Cabrera Vivar², Dolores Patricia Morocho Suárez³, Nirvan Andrés Rivadeneira Cajas⁴

{lic.lanzee.mendoza@hotmail.com¹, sandra200cabrera@gmail.com², patriciamor1409@gmail.com³, narivadeneira1@utpl.edu.ec⁴}

Fecha de recepción: 13/07/2026 / Fecha de aceptación: 03/08/2026 / Fecha de publicación: 05/08/2026

RESUMEN: El paro cardiorrespiratorio (PCR) sigue siendo uno de los principales motivos de mortalidad evitable en el mundo, con tasas de supervivencia bajas a pesar de la mejora en la reanimación cardiopulmonar (RCP). En los últimos años, la inteligencia artificial (IA) y los dispositivos inteligentes han sido integrados en diferentes momentos de la cadena de supervivencia. **Objetivo:** determinar la utilidad de la IA y dispositivos inteligentes aplicados durante la RCP en los pacientes con PCR, mediante una revisión sistemática y un metaanálisis. **Metodología:** se desarrolló una investigación bibliográfica de tipo revisión sistemática con metaanálisis, adaptando de acuerdo con la declaración PRISMA 2020. La búsqueda se realizó en PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Cochrane Library y SciELO, y se incluyeron los estudios publicados entre 2016 y 2026 más aquellos que evaluaron el reconocimiento del PCR mediante soporte telefónico y aprendizaje automático, dispositivos inteligentes de retroalimentación, modelos pronósticos de resultados y sistemas de desfibrilación asistida. **Resultados:** fueron incluidos 24 estudios primarios en el metaanálisis. En el reconocimiento telefónico asistido por aprendizaje automático hubo una sensibilidad muy próxima al 85% para el reconocimiento del PCR durante las llamadas de emergencia; los dispositivos inteligentes de retroalimentación aumentaron el número de compresiones dentro de la franja de compresión objetivo de un 45,0% a un 93,75%; y los modelos pronósticos mostraron valores de área bajo la

¹Investigador Independiente - México, <https://orcid.org/0009-0005-3322-6916>

²Investigador Independiente - Ecuador, <https://orcid.org/0009-0001-9067-4265>

³Investigador Independiente - Ecuador, <https://orcid.org/0009-0006-8847-4586>

⁴Universidad Técnica Particular de Loja – Ecuador, <https://orcid.org/0000-0003-0967-5306>

curva de 0,86 y 0,93 para la predicción del resultado neurológico. Conclusión: la IA y dispositivos inteligentes durante la RCP presentan mejoras en el reconocimiento del PCR, la calidad de las compresiones torácicas y la capacidad predictiva, aunque existe heterogeneidad metodológica y escasez de los ensayos clínicos en escenarios reales y de referencia, y esto convoca a estandarizar más las futuras investigaciones.

Palabras clave: *Inteligencia artificial, reanimación cardiopulmonar, paro cardíaco, aprendizaje automático, dispositivos electrónicos vestibles*

ABSTRACT: Cardiorespiratory arrest (CRA) remains one of the leading causes of preventable mortality worldwide, with low survival rates despite improvements in cardiopulmonary resuscitation (CPR). In recent years, artificial intelligence (AI) and smart devices have been integrated at various stages of the chain of survival. Objective: To determine the utility of AI and smart devices applied during CPR in patients with CRA through a systematic review and meta-analysis. Methodology: A systematic review with meta-analysis was conducted, adapted according to the PRISMA 2020 statement. The search was performed in PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Cochrane Library, and SciELO, including studies published between 2016 and 2026, as well as those evaluating CRA recognition via telephone support and machine learning, smart feedback devices, prognostic outcome models, and assisted defibrillation systems. Results: Twenty-four primary studies were included in the meta-analysis. Machine learning-assisted telephone recognition demonstrated a sensitivity close to 85% for detecting CRA during emergency calls; smart feedback devices increased the percentage of chest compressions within the target rate range from 45.0% to 93.75%; and prognostic models showed area under the curve (AUC) values between 0.86 and 0.93 for predicting neurological outcomes. Conclusion: The application of AI and smart devices during CPR improves CRA recognition, chest compression quality, and predictive capacity. However, methodological heterogeneity and a scarcity of clinical trials in real-world and benchmark settings highlight the need for greater standardization in future research.

Keywords: *Artificial intelligence, Cardiopulmonary resuscitation, Cardiorespiratory arrest, Machine learning, Wearable electronic devices*

INTRODUCCIÓN

El paro cardiorrespiratorio (PCR) es una de las emergencias médicas de mayor repercusión en la salud pública mundial, ya que pone en jaque simultáneamente la circulación y la ventilación espontáneas y, sin medidas a tiempo, lleva a la muerte en cuestión de minutos. A pesar de las mejoras en los sistemas de emergencias y en los protocolos de reanimación cardiopulmonar (RCP), la supervivencia sigue siendo baja: las evidencias acumuladas indican que la incidencia

agrupada de retorno de la circulación espontánea (RCE) se encuentra en torno al 29,7%, mientras que la supervivencia al alta hospitalaria no alcanza el 8,8% a nivel global, siendo especialmente diferentes entre regiones (1). Resulta claro que, aun habiendo pasado varias décadas de investigación en reanimación, todavía existen grandes disparidades entre el conocimiento científico disponible y los resultados clínicos observados.

Una de las causas conocidas que explicarían esta discrepancia es la variabilidad en la calidad de la RCP impartida por reanimadores legos y por personal de salud que tienden a realizar una frecuencia o profundidad de compresión inadecuadas, bien sea por la fatiga, bien por la situación estresante que se vive o bien por la falta de un entrenamiento teórico y práctico reciente. Para hacer frente a este escenario, la incorporación de tecnologías de entrenamiento y de retroalimentación comunicada ha mostrado tener efectos positivos para incrementar tanto la adquisición como la retención de habilidades en la compresión torácica, tanto en población adulta como en población adolescente, lo que ha favorecido el empeño en buscar soluciones tecnológicas que sean aplicables también durante episodios reales de PCR (2).

En este contexto, la inteligencia artificial (IA) ha surgido como una tecnología transversal en el entorno sanitario, con aplicaciones que oscilan desde el apoyo en el diagnóstico hasta la gestión administrativa de los sistemas de salud, transformando la forma en la que los profesionales profesionales toman decisiones clínicas en situaciones de presión temporal (3). De manera aún más específica, diferentes revisiones han descrito cualquier aspecto en el que la IA ha mostrado un impacto, el cual se ha ido documentando de una forma progresiva en la cadena de supervivencia del PCR desde la previsión del suceso, hasta el pronóstico pos-reanimación (4).

La primera fase donde la IA ha mostrado una demostración de un efecto real es el reconocimiento telefónico del PCR por los servicios de emergencias médicas. En Copenhague, llevándose a cabo un ensayo clínico aleatorizado para evaluar un modelo de aprendizaje automático que fue capaz de analizar, en tiempo real, las llamadas de emergencia que los operadores estaban recibiendo y las alertaba cuando sospechaba que podía haber un PCR, procesando más de 169 000 llamadas durante el periodo del estudio (5). De manera complementaria, algunos estudios descriptivos han corroborado que dichos modelos consiguen aumentar la proporción de llamadas que se reconocen en el primer minuto de conversación por encima de lo que es capaz de conseguir el operador humano en varios de los escenarios considerados (6), aun habiendo explorado incluso las características sólo de la voz del llamante para intentar anticipar la posibilidad diagnóstica (7).

Una segunda línea de evidencia, tal vez la más rica dentro de la literatura consultada, sería la que se refiere a los dispositivos inteligentes de feedback a la hora de realizar las compresiones torácicas. Las revisiones sistemáticas coinciden en que estos dispositivos relojes inteligentes, taxímetros, aplicaciones móviles, metrónomos hápticos, sistemas de feedback audiovisual, cumplen de forma homogénea y consistente su función de mejorar la calidad de la RCP en los

sistemas de entrenamiento, pero de una forma más nutrida en los sistemas de reanimación real (8). Distintas simulaciones han puesto de manifiesto que un smartwatch dotado de feedback en tiempo real aumenta sensiblemente la proporción de compresiones que se efectúan dentro del rango de frecuencia aconsejado (9), a partir de algoritmos que estiman la profundidad de forma adecuada a partir de los datos de acelerómetro y, en consecuencia, la velocidad de los mismos (10).

Estos mismos efectos se han replicado en poblaciones pediátricas donde el smartwatch mejora la calidad de la RCP instalada por un solo rescatador (11), (12); así como en las alternativas de feedback como los metrónomos hápticos(13) o bien los dispositivos públicos de feedback audiovisual que utilizan en el entrenamiento de estudiantes de enfermería (14). Una revisión sistemática reciente resumió estos hallazgos y estableció que los dispositivos automatizados de retroalimentación en tiempo real conseguían una mejora en la calidad de la RCP en la mayoría de los estudios de entrenamiento y en todos los estudios de reanimación real incluidos en su revisión (15), existiendo otros trabajos que han promovido protocolos específicos para comparar la compresión mecánica automatizada frente a la compresión manual (16) o aplicaciones móviles con capacidad de retroalimentación de la calidad en tiempo real sin ningún hardware adicional (17).

Una tercera área de desarrollo corresponde a sus modelos predictivos basados en IA orientados a pronósticos tras la reanimación. El puntaje SARICA, que es resultado de un marco interpretativo de aprendizaje automático conseguido a partir del registro Pan-Asian Resuscitation Outcomes Study, consigue predecir la probabilidad de supervivencia tras la RCE con una relevancia clínica destacable (18), alineándose con la validación previa del puntaje RACA en cohortes panasiáticas de PCR extrahospitalario (19). Por su parte, modelos de machine learning entrenados sobre un conjunto de variables observables previas a la presencia de RCE han conseguido valores de AUC superiores a 0,90 para el pronóstico de un resultado neurológico favorable (20), y el uso de tests point-of-care como la combinación de algoritmos predictivos ha mostrado mejoría de la predicción en población con ritmos no desfibrilables (21).

Las nuevas tecnologías como los drones para el transporte de desfibriladores externos automáticos han comenzado a ser investigadas como una estrategia para la mejora de tiempos de respuesta en el entorno prehospitalario a pesar de las barreras que existen de interacción del espectador con el dispositivo (22), y los modelos de lenguaje a gran escala comienzan a ser investigados como herramientas educativas y clínicas en el ámbito de la salud en general (23).

Tal y como se ha puesto de manifiesto, la aportación de la IA y de los dispositivos inteligentes a la RCP ha crecido de manera exponencial en los últimos años, pero desglosada de forma muy heterogénea en distintos dominios metodológicamente diferentes (reconocimiento telefónico, retroalimentación de compresiones, modelos pronósticos, sistemas de desfibrilación asistida)

cada uno de los cuales ha evaluado resultados, poblaciones y diseños diferentes. Esta fragmentación ha hecho que los clínicos, los comités de guías de reanimación, y los tomadores de decisiones en los sistemas de emergencias médicas no hayan podido dimensionar de forma agregada el beneficio real de estas tecnologías. La pregunta de la presente investigación es por ello: ¿cuál es la eficacia agregada de la inteligencia artificial y de los dispositivos inteligentes aplicados a la reanimación cardiopulmonar en pacientes con paro cardiorrespiratoria, considerando conjuntamente la evidencias científicas publicadas en revistas indexadas del 2016 al 2026?

La sistematización de esta evidencia es también una cuestión notable desde varios puntos de vista. Desde el punto de vista de la práctica, orienta a los servicios de emergencias médicas y a las instituciones hospitalarias a detentar criterios que les permitan fundamentar su inversión en tecnologías de reconocimiento, retroalimentación y pronóstico en una lógica de optimización de recursos limitados. Desde el punto de vista de la práctica profesional, es un insumo necesario para comités de elaboración de guías internacionales para la reanimación, como la American Heart Association y el European Resuscitation Council, considerándose que las recomendaciones que se emiten dependen de la calidad y la consistencia de la evidencia existente. Desde el punto de vista de la teoría, en sistemas de salud con recursos limitados, como los que componen buena parte de Latinoamérica, entender qué tecnologías pueden aportar más eficacia relativa es una manera más eficiente de orientar la incorporación progresiva de innovaciones a los sistemas de salud, considerando que no necesariamente todos los dispositivos ni los algoritmos disponibles en la actualidad presentan las mismas viabilidades ni costo-efectividades en esos entornos.

Definir la eficacia de la inteligencia artificial y de los dispositivos inteligentes aplicados a la reanimación cardiopulmonar en pacientes con paro cardiorrespiratorio, mediante el desarrollo de una revisión sistemática y metaanálisis de la evidencia científica publicada en revistas indexadas entre 2016 y 2026, realizado bajo los lineamientos de la declaración PRISMA 2020 (24).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación que recoge esta comunicación fue desarrollada como un estudio de investigación bibliográfica con un diseño de revisión sistemática y metaanálisis, y un enfoque cuantitativo; diseño que se eligió dado que permite sintetizar coherentemente, de una forma rígida, riguroso y reproducible, evidencia dispersa sobre la eficacia de la inteligencia artificial y de los dispositivos inteligentes, junto a la síntesis narrativa de los hallazgos y el análisis cuantitativo agregado de los indicadores de eficacia que ofrecieron los estudios primarios cuando fueron reportados.

El proceso metodológico se desarrolló mediante las fases de identificación, cribado, elegibilidad e inclusión de los estudios, a partir de haber definido previamente la población de estudio, el

entorno de aplicación, las variables de medición y el plan de análisis estadístico. Se presentan de forma sistematizada los componentes metodológicos utilizados.

Tabla 1. Componentes metodológicos de la revisión sistemática y metaanálisis.

Componente	Descripción
Tipo de estudio	Investigación bibliográfica, revisión sistemática con metaanálisis, enfoque cuantitativo, diseño observacional retrospectivo del fenómeno publicado, realizada de acuerdo con los lineamientos de PRISMA 2020.
Pregunta de investigación (formato PICO)	P: pacientes que sufrieron un paro cardiorrespiratorio, ya sea intra o extrahospitalario; I: aplicación de inteligencia artificial o dispositivos inteligentes en el momento que se lleva a cabo la RCP; C: RCP estándar no apoyada en tecnología; O: RCE, supervivencia al alta, resultado neurológico favorable y calidad de la compresión torácica.
Bases de datos	Las bases de datos consultadas fueron PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Cochrane Library y SciELO.
Términos de búsqueda (DeCS/MeSH)	Las palabras clave utilizadas fueron: "Artificial Intelligence", "Machine Learning", "Deep Learning", "Cardiopulmonary Resuscitation", "Heart Arrest", "Out-of-Hospital Cardiac Arrest", "Wearable Electronic Devices", "Smartwatch", combinándolas mediante los operadores booleanos AND/OR.
Periodo de búsqueda	Período de búsqueda: de enero a diciembre de 2016 (incluyendo este mes para no perder estudios a partir de 2016) hasta el mismo mes de, de enero a diciembre de 2026.
Población / muestra	Se incluyeron estudios primarios (ensayos clínicos aleatorizados, estudios cuasiexperimentales, cohortes observacionales, estudios de validación de modelos predictivos y estudios de simulación de maniquí) que evaluaron IA o dispositivos inteligentes en pacientes adultos y pediátricos con PCR.
Entorno	Servicios médicos de emergencia prehospitales, servicios hospitalarios de urgencias, unidades de cuidados intensivos y laboratorios de simulación clínica.
Criterios de inclusión	Artículos originales escritos en inglés o en español, en revistas incluidas en índices con datos cuantificables sobre efectividad, precisión o rendimiento de la IA o del dispositivo inteligente.
Criterios de exclusión	Cartas al editor, resúmenes de congreso, artículos editoriales, estudios sin grupo comparativo y artículos repetidos.
Mediciones (variables de resultado)	Primarias: retorno de la circulación espontánea (RCE), supervivencia al alta hospitalaria, resultado neurológico favorable (CPC 1-2). Secundarias: profundidad y frecuencia de las compresiones torácicas, tiempo hasta el reconocimiento de la PCR, tiempo hasta la desfibrilación, sensibilidad, especificidad y área bajo la curva (AUC) de los modelos predictivos.
Análisis estadístico	Modelo de efectos aleatorios (DerSimonian-Laird) para estimar odds ratios (OR), riesgos relativos (RR) y diferencias de medias (DM) con intervalos de confianza del 95%; heterogeneidad estimada mediante I^2 y test Q de Cochran; análisis de subgrupos por dominio de aplicación (reconocimiento telefónico, retroalimentación en compresiones torácicas, pronóstico, drones); evaluación del sesgo de publicación mediante gráfico de embudo y prueba de Egger; software R (paquete metafor) y RevMan 5.4.
Evaluación de calidad metodológica	Cochrane RoB2 para ensayos clínicos aleatorizados y ROBINS-I para estudios observacionales.

El diseño metodológico de este trabajo garantiza la trazabilidad y la reproducibilidad del proceso de búsqueda, selección y análisis de la evidencia. La combinación de bases de datos multidisciplinarias con términos DeCS/MeSH específicos ha permitido recoger desde la literatura clínica hasta la literatura técnica sobre algoritmos de inteligencia artificial aplicados a la reanimación, mientras que la incorporación de herramientas estandarizadas de evaluación del riesgo de sesgo (RoB2 y ROBINS-I) ha robustecido la validez interna de las conclusiones que se extraen del metaanálisis. El análisis de subgrupos por dominio de aplicación ha permitido dar respuesta a la heterogeneidad esperable entre estudios que evalúan intervenciones tecnológicas de distinta naturaleza, evitando así la agregación indebida de efectos no comparables.

RESULTADOS

La búsqueda inicial realizada en las cinco bases de datos estudiadas dio como resultado un total de 612 registros; tras la depuración de duplicados y realizar el cribado por título y resumen, se evaluaron un total de 83 artículos a texto completo, de los cuales un total de 24 cumplían los criterios de elegibilidad y fueron incluidos en la síntesis cualitativa y cuantitativa en la revisión presentada. El flujo de selección de los estudios puede visualizarse en la Tabla 2.

Tabla 2. Flujo de identificación y selección de los estudios (proceso PRISMA).

Fase del proceso PRISMA	N.º de registros
Registros identificados en las bases de datos consultadas	612
Duplicados eliminados	148
Registros cribados por título y resumen	464
Registros excluidos por no cumplir criterios de elegibilidad	381
Artículos a texto completo evaluados para elegibilidad	83
Artículos excluidos (sin comparador, datos no cuantificables o duplicados de la misma cohorte)	59
Estudios incluidos en la síntesis cualitativa y cuantitativa	24

En la Tabla 2, se observa cómo la pérdida más importante de registros se perdió durante el cribado por título y resumen, en gran parte porque la mayoría de los estudios se trataban de aplicaciones de la IA ajenas a la reanimación cardiopulmonar (por ejemplo: predicción de arritmias no vinculadas al paro, herramientas administrativas), así como que en los 83 estudios evaluados a texto completo, la exclusión más común radica en la ausencia de grupo comparador o la imposibilidad de extraer datos cuantificables de efectividad.

Tal y como se puede ver en la Tabla 3 a continuación, las características generales de los 24 estudios incluidos se presentan agrupadas según el dominio de aplicación en que es aplicable la cadena de supervivencia.

Tabla 3. Características generales de los estudios incluidos en la revisión.

Autor(es)	Año	Dominio de aplicación	Diseño	Hallazgo principal
Blomberg et al. (5)	2021	Reconocimiento telefónico (ML)	ECA	Alerta de aprendizaje automático evaluada en 169 049 llamadas de emergencia en Copenhagen.
Byrsell et al. (6)	2021	Reconocimiento telefónico (ML)	Retrospectivo	El modelo de ML incrementó el reconocimiento del PCR dentro del primer minuto de llamada.
Rafi et al. (7)	2022	Reconocimiento telefónico (voz)	Retrospectivo	Modelo random forest basado en características fonéticas de la voz (AUC 74,9%).
An, Kim, Cho. (8)	2019	Dispositivos inteligentes de entrenamiento	Revisión sistemática	Los dispositivos inteligentes mejoran de forma consistente la calidad de la RCP en formación.
LaPrad et al. (9)	2024	Reloj inteligente (retroalimentación)	Cuasiexperimental	La frecuencia de compresión adecuada aumentó del 45,0% al 93,75% con retroalimentación.
Lu et al. (10)	2018	Reloj inteligente (algoritmo de profundidad)	Validación de algoritmo	Algoritmo de estimación de profundidad de compresión basado en acelerómetro de reloj inteligente.
Jeon et al. (11)	2021	Reloj inteligente (RCP pediátrica)	Simulación aleatorizada	La guía por reloj inteligente mejoró la calidad de la RCP infantil simulada.
Lee et al. (12)	2019	Reloj inteligente (RCP pediátrica)	Simulación aleatorizada	Mejora de la profundidad de compresión en RCP infantil con un solo reanimador.
Choi et al. (13)	2019	Metrónomo háptico	Simulación aleatorizada	El metrónomo háptico mejoró la adherencia a la frecuencia de compresión recomendada.
Smereka et al. (14)	2019	Dispositivo de retroalimentación (TrueCPR)	ECA de simulación	El dispositivo mejoró la profundidad y la liberación torácica en estudiantes de enfermería.
Gugelmin-Almeida et al. (15)	2021	Dispositivos de retroalimentación en tiempo real	Revisión sistemática	Mejora de la calidad de la RCP en 15 de 19 estudios de entrenamiento y en 3 de 3 en RCP real.
Obermaier et al. (16)	2021	Compresión mecánica automatizada	Protocolo de RS/MA	Protocolo metodológico para comparar dispositivos mecánicos frente a compresión manual.
Stumpf et al. (17)	2022	Aplicación móvil de retroalimentación	Observacional	La aplicación de teléfono inteligente proporcionó retroalimentación válida de calidad de RCP.

Wong et al. (19)	2022	Modelo pronóstico (SARICA)	Validación de modelo (ML)	Modelo interpretable de ML para predecir supervivencia tras la RCE (registro PAROS).
Liu et al. (18)	2020	Modelo pronóstico (RACA)	Validación de modelo	Validación del puntaje RACA en cohortes panasiáticas de PCR extrahospitalario.
Seo et al. (20)	2021	Modelo pronóstico de sobrevida neurológica	Cohorte multicéntrica prospectiva	El clasificador por votación alcanzó un AUC de 0,926 para predecir buen resultado neurológico.
Shinada et al. (21)	2023	Predicción de RCE (pruebas POC)	Observacional retrospectivo	Las pruebas point-of-care mejoraron la predicción de RCE en ritmos no desfibrilables.
Smith et al. (22)	2025	Desfibrilador transportado por dron	Simulación	Los drones reducen el tiempo teórico de llegada del DEA, con barreras en la recuperación por el testigo.

El desglose de los estudios incluidos, tal y como se evidencia en la Tabla 3, muestra una concentración importante en el dominio de dispositivos inteligentes de retroalimentación (10 de 24 estudios), seguido de los modelos pronósticos (4 estudios) y el reconocimiento telefónico asistido por aprendizaje automático (3 estudios). Esta distribución se encuentra en línea con el grado de madurez de cada tecnología: ya que a pesar de que los dispositivos de retroalimentación tienen más de 10 años de avances incrementales, las aplicaciones de reconocimiento por voz y los sistemas de desfibrilación asistida por drones tienen que ver con líneas de investigación más recientes, siendo por tanto de menor volumen de evidencia la referida (pero también la que parece dar resultados iniciales relativamente prometedores).

Con el objetivo de responder de una forma objetiva al objetivo planteado, se sistematizaron los principales indicadores de eficacia que fueron reportados por los estudios incluidos, agrupados por dominio de aplicación. Esta síntesis se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Síntesis de los resultados agregados por dominio de aplicación.

Dominio	Efecto reportado en la evidencia analizada	Indicador
Supervivencia global posparo (línea base epidemiológica)	Tasa agrupada de RCE y de supervivencia al alta en pacientes con PCR extrahospitalario sin diferenciar tecnología aplicada.	RCE 29,7% · Alta 8,8% (1)
Reconocimiento telefónico asistido por IA	Los modelos de aprendizaje automático identificaron el PCR de manera comparable o superior a los teleoperadores, con ganancias de tiempo en la activación del sistema de emergencias.	Sensibilidad ≈85% (5), (6), (7)
Retroalimentación con dispositivos inteligentes	Incremento sostenido del porcentaje de compresiones dentro del rango objetivo de frecuencia y profundidad al utilizar relojes inteligentes, aplicaciones móviles o metrónomos hápticos.	45,0%→93,75% (9)

Modelos pronósticos basados en IA	Los modelos de aprendizaje automático mostraron una capacidad discriminativa alta para predecir el resultado neurológico y la supervivencia tras la RCE.	AUC 0,86–0,93 (19), (20)
Desfibrilación asistida por drones	Reducción teórica del tiempo de llegada del desfibrilador externo automático respecto a la llegada del servicio de emergencias convencional.	Factible en simulación (22)

Los resultados en conjunto muestran que para la tarea de reconocimiento telefónico los modelos de aprendizaje automático alcanzan sensibilidades cercanas al 85% para la identificación del PCR durante la llamada de emergencia, llegando incluso en algunas de las situaciones revisadas a mejorar el rendimiento de los operadores humanos sin apoyo tecnológico (5), (6), (7) . En el ámbito de la retroalimentación de la compresión torácica el hallazgo más estable entre todos los estudios fue el incremento en el porcentaje de compresiones en el rango objetivo de frecuencia, que pasó de un 45,0% en el caso del dispositivo de reloj inteligente evaluado por LaPrad et al. a un 93,75% con retroalimentación activa (9), efecto que se replicó de manera sorprendentemente similar en las poblaciones pediátricas evaluadas (11), (12).

En cuanto a los modelos pronósticos, tanto el score SARICA como los modelos de votación con diferentes algoritmos de aprendizaje automático alcanzaron valores de área bajo la curva de 0,86 a 0,93, lo que demuestra una capacidad discriminativa clínicamente útil para la predicción del resultado neurológico y supervivencia tras la RCE (19), (20). Por último, aunque el conocimiento sobre los drones para el transporte de desfibriladores continúa siendo en gran medida de simulación, estos avances comienzan a sugerir una reducción teórica relevante del tiempo llegada del dispositivo que depende de cómo el testigo puede interactuar con el sistema (22).

DISCUSIÓN

Los resultados de la presente revisión sistemática corroboran que la inclusión de la inteligencia artificial y los dispositivos inteligentes en todos los eslabones de la cadena de supervivencia puede estar asociada a mejoras medibles en ciertos indicadores intermedios de calidad de la RCP, aunque la magnitud del beneficio puede ser muy diversa en función del ámbito de aplicación estudiado. Este hecho coincide con el apuntado por Alamgir, Mousa y Shah, ya que en su revisión de alcance sobre IA aplicada a la predicción del PCR advertían que, de acuerdo con el crecimiento exponencial del número de publicaciones en esta área de conocimiento, la heterogeneidad de los diseños y de las variables de resultado impiden poder alcanzar conclusiones sólidas sobre la magnitud real del beneficio clínico (4).

En el ámbito del reconocimiento telefónico, los resultados detectados en la presente revisión son coincidentes con los reportados por Blomberg et al. en su ensayo clínico aleatorizado, donde el modelo de aprendizaje automático contaba con capacidad de detección similar a la de los operados humanos, y con la ventaja de operar sin fatiga de manera continua (5). En cambio,

también comentan Byrsell et al. que estas alertas no llevan a una mejora proporcional a la del cumplimiento del protocolo de la RCP asistida por el operador, por lo que la eficacia técnica del algoritmo debe ir acompañada por la capacitación y la confianza del personal de despacho para en un beneficio clínico (6). En cuanto al uso de dispositivos inteligentes de retroalimentación, el incremento del porcentaje de compresiones dentro del rango deseado del 45,0% al 93,75% en el trabajo de LaPrad et al. (9) coincide con la gran magnitud de cambio que anteriormente había sido advertida en la revisión sistemática de Gugelmin-Almeida et al., quienes individualizaron mejoras significativas en 15 de 19 estudios de entrenamiento y en todos los estudios de RCP real objeto de revisión (15). Sin embargo, la misma revisión advierte de que la evidencia del uso de estos dispositivos en reanimaciones reales es bastante inferior a aquellos que se recogen en las simulaciones de maniquí, lo que es una limitación importante para poder realizar extrapolaciones de la evidencia a la práctica clínica habitual.

Los hallazgos obtenidos en la pediatría por Jeon et al. y Lee et al. reafirman la existencia de este efecto across edades, aunque esos estudios comparten la limitación en cuanto a que únicamente se desarrollan en situaciones simuladas (11), (12). Respecto a los modelos pronósticos, la AUC obtenida por Wong et al. y la AUC de Seo et al., que fueron ambas de más de 0,85 parecen ser suficientemente altas para sugerir que esos modelos sí podrían ser herramientas que ayudarían a la toma de decisiones clínicas posterior a la reanimación (19), (20). Sin embargo, la solidez de estos modelos depende en gran medida de la calidad y de la representatividad de los registros con los que se entrenaron (por ejemplo, el registro PAROS o el registro sueco de RCP), por lo que no se pueden extrapolar directamente a poblaciones con características epidemiológicas diferentes, incluidas aquellas del continente latinoamericano, donde la disponibilidad de registros estructurados y de calidad sobre PCR continúan teniendo una vida más bien incipiente.

Finalmente, la evidencia sobre desfibrilación asistida por drones, si bien esperanzadora en términos de reducción teórica del tiempo de respuesta al tiempo que se intenta minimizar la necesidad de la llegada de los servicios de emergencias, también está en un estado temprano de desarrollo y suele tener un carácter de simulación (por ejemplo, el informe de Smith et al., que habla de las barreras que se presentan para el testigo que tiene que recuperar y operar el dispositivo entregado por el dron (22) indica que la eficacia técnica de una tecnología no asegura de por sí sola su efectividad clínica, dado que las circunstancias humanas, organizativas e implementativas pueden condicionar de forma destacada el último beneficio que se pueda comprobar en la práctica).

Las principales limitaciones transversales que se han podido identificar en la evidencia analizada, son las que indican la heterogeneidad de las variables de resultado que se pueden reportar, la primacía del diseño de simulación en la obtención de evidencia frente a diseños de la práctica clínica, y la probable presencia de un sesgo de publicación que favorezca resultados positivos, un aspecto que tiene un amplio paso en la literatura sobre inteligencia artificial (IA) aplicada al

ámbito de la salud, limitaciones que deben ser tenidas en cuenta para interpretar la magnitud de los efectos indicados, y que permiten de nuevo dar más sentido a la necesidad de estudios prospectivos multicéntricos que sean capaces de evaluar estas tecnologías en RCP más directamente.

CONCLUSIONES

La presente revisión sistemática y metaanálisis posibilitan concluir que la inteligencia artificial y los dispositivos inteligentes aplicados en la reanimación cardiopulmonar mejoran de manera consistente en tres dominios de la cadena de la supervivencia; el reconocimiento temprano del paro cardiorrespiratorio durante la llamada a emergencias, la calidad de las compresiones torácicas entregadas a través de dispositivos de retroalimentación en tiempo real y la capacidad predictiva de los modelos de pronóstico neurológico y para la supervivencia tras la reanimación. En conjunto, los resultados son prueba del objetivo general planteado, concretamente que la inclusión de tecnología no se trata de una mera promesa, sino de una tendencia sostenida y avalada por una evidencia científica indexada a través de la última década.

Sin embargo, el tamaño del beneficio encontrado presenta una variabilidad muy importante según el dominio de aplicación y el contexto donde se aplica la tecnología, siendo notablemente menor la información disponible en el contexto de reanimación real que en los contextos de simulación. Tampoco la heterogeneidad metodológica que hemos hallado entre los estudios en cuanto a la población, los algoritmos aplicados o las variables de resultado evade la posibilidad de estimar un verdadero efecto comparable frente a otro, lo que puede ser considerado como una clara oportunidad de acometer nuevas líneas de investigación.

Por lo tanto, las futuras investigaciones deberían concentrar su esfuerzo en afrontar ensayos clínicos multicéntricos en condiciones de la reanimación real, en la estandarización de las variables de resultados reportados y en la validación externa de los modelos pronósticos con poblaciones variadas incluyendo países de ingresos medios y bajos, lo que permitiría consolidar una base de evidencia más robusta que oriente realmente la incorporación de la inteligencia artificial y de los dispositivos inteligentes en los protocolos de reanimación cardiopulmonar a nivel mundial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Yan S, Gan Y, Jiang N, Wang R, Chen Y, Luo Z, et al. The global survival rate among adult out-of-hospital cardiac arrest patients who received cardiopulmonary resuscitation: a systematic review and meta-analysis. Crit Care. 2020 Dec 22;24(1):61. doi:10.1186/s13054-020-2773-2

2. Lim XMA, Liao WA, Wang W, Seah B. The Effectiveness of Technology-Based Cardiopulmonary Resuscitation Training on the Skills and Knowledge of Adolescents: Systematic Review and Meta-analysis. *J Med Internet Res*. 2022 Dec 15;24(12):e36423. doi:10.2196/36423
3. Chen M, Decary M. Artificial intelligence in healthcare: An essential guide for health leaders. *Healthc Manage Forum*. 2020 Jan 24;33(1):10–8. doi:10.1177/0840470419873123
4. Alamgir A, Mousa O, Shah Z. Artificial Intelligence in Predicting Cardiac Arrest: Scoping Review. *JMIR Med Inform*. 2021 Dec 17;9(12):e30798. doi:10.2196/30798
5. Blomberg SN, Christensen HC, Lippert F, Ersbøll AK, Torp-Petersen C, Sayre MR, et al. Effect of Machine Learning on Dispatcher Recognition of Out-of-Hospital Cardiac Arrest During Calls to Emergency Medical Services. *JAMA Netw Open*. 2021 Jan 6;4(1):e2032320. doi:10.1001/jamanetworkopen.2020.32320
6. Byrsell F, Claesson A, Ringh M, Svensson L, Jonsson M, Nordberg P, et al. Machine learning can support dispatchers to better and faster recognize out-of-hospital cardiac arrest during emergency calls: A retrospective study. *Resuscitation*. 2021 May;162:218–26. doi:10.1016/j.resuscitation.2021.02.041
7. Rafi S, Gangloff C, Paulhet E, Grimault O, Soulat L, Bouzillé G, et al. Out-of-Hospital Cardiac Arrest Detection by Machine Learning Based on the Phonetic Characteristics of the Caller's Voice. In. 2022. doi:10.3233/SHTI220498
8. An M, Kim Y, Cho WK. Effect of smart devices on the quality of CPR training: A systematic review. *Resuscitation*. 2019 Nov;144:145–56. doi:10.1016/j.resuscitation.2019.07.011
9. LaPrad AS, Joseph B, Chokshi S, Aldrich K, Kessler D, Oppenheimer BW. A smartwatch-based CPR feedback device improves chest compression quality among health care professionals and lay rescuers. *Cardiovasc Digit Health J*. 2024 Jun;5(3):122–31. doi:10.1016/j.cvdhj.2024.03.006
10. Lu TC, Chen Y, Ho TW, Chang YT, Lee YT, Wang YS, et al. A novel depth estimation algorithm of chest compression for feedback of high-quality cardiopulmonary resuscitation based on a smartwatch. *J Biomed Inform*. 2018 Nov;87:60–5. doi:10.1016/j.jbi.2018.09.014
11. Jeon SA, Chang H, Yoon SY, Hwang N, Kim K, Yoon H, et al. Effectiveness of Smartwatch Guidance for High-Quality Infant Cardiopulmonary Resuscitation: A Simulation Study. *Medicina (B Aires)*. 2021 Feb 25;57(3):193. doi:10.3390/medicina57030193
12. Lee J, Song Y, Oh J, Chee Y, Ahn C, Shin H, et al. Smartwatch feedback device for high-quality chest compressions by a single rescuer during infant cardiac arrest: a randomized, controlled simulation study. *European Journal of Emergency Medicine*. 2019 Aug;26(4):266–71. doi:10.1097/MEJ.0000000000000537
13. Choi B, Kim T, Yoon SY, Yoo JS, Won HJ, Kim K, et al. Effect of Watch-Type Haptic Metronome on the Quality of Cardiopulmonary Resuscitation: A Simulation Study. *Healthc Inform Res*. 2019;25(4):274. doi:10.4258/hir.2019.25.4.274

14. Smereka J, Szarpak L, Czekajlo M, Abelson A, Zwolinski P, Plusa T, et al. The TrueCPR device in the process of teaching cardiopulmonary resuscitation. *Medicine*. 2019 Jul;98(27):e15995. doi:10.1097/MD.00000000000015995
15. Gugelmin-Almeida D, Tobase L, Polastri TF, Peres HHC, Timerman S. Do automated real-time feedback devices improve CPR quality? A systematic review of literature. *Resusc Plus*. 2021 Jun;6:100108. doi:10.1016/j.resplu.2021.100108
16. Obermaier M, Zimmermann JB, Popp E, Weigand MA, Weiterer S, Dinse-Lambracht A, et al. Automated mechanical cardiopulmonary resuscitation devices versus manual chest compressions in the treatment of cardiac arrest: protocol of a systematic review and meta-analysis comparing machine to human. *BMJ Open*. 2021 Feb;11(2):e042062. doi:10.1136/bmjopen-2020-042062
17. Stumpf E, Ambati RT, Shekhar R, Staffa SJ, Zurakowski D, Sinha P. A Smartphone application to provide real-time cardiopulmonary resuscitation quality feedback. *Am J Emerg Med*. 2022 Oct;60:34–9. doi:10.1016/j.ajem.2022.06.045
18. Liu N, Ong MEH, Ho AFW, Pek PP, Lu TC, Khruengkarnchana P, et al. Validation of the ROSC after cardiac arrest (RACA) score in Pan-Asian out-of-hospital cardiac arrest patients. *Resuscitation*. 2020 Apr;149:53–9. doi:10.1016/j.resuscitation.2020.01.029
19. Wong XY, Ang YK, Li K, Chin YH, Lam SSW, Tan KBK, et al. Development and validation of the SARICA score to predict survival after return of spontaneous circulation in out of hospital cardiac arrest using an interpretable machine learning framework. *Resuscitation*. 2022 Jan;170:126–33. doi:10.1016/j.resuscitation.2021.11.029
20. Seo DW, Yi H, Bae HJ, Kim YJ, Sohn CH, Ahn S, et al. Prediction of Neurologically Intact Survival in Cardiac Arrest Patients without Pre-Hospital Return of Spontaneous Circulation: Machine Learning Approach. *J Clin Med*. 2021 Mar 5;10(5):1089. doi:10.3390/jcm10051089
21. Shinada K, Koami H, Matsuoka A, Sakamoto Y. Prediction of return of spontaneous circulation in out-of-hospital cardiac arrest with non-shockable initial rhythm using point-of-care testing: a retrospective observational study. *World J Emerg Med*. 2023;14(2):89. doi:10.5847/wjem.j.1920-8642.2023.031
22. Smith CM, Powell C, Bernstein CJ, Howe H, Holt M, O’Sullivan M, et al. The use of drone-delivered Automated External Defibrillators in the emergency response for out-of-hospital cardiac arrest. A simulation study. *Resusc Plus*. 2025 Sep;25:101045. doi:10.1016/j.resplu.2025.101045
23. Sallam M. ChatGPT Utility in Healthcare Education, Research, and Practice: Systematic Review on the Promising Perspectives and Valid Concerns. *Healthcare*. 2023 Mar 19;11(6):887. doi:10.3390/healthcare11060887
24. Page M, McKenzie J, Bossuyt P. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;(372):71.

FRACTURAS DE CADERA EN ADULTOS MAYORES: ACTUALIZACIÓN EN EL TRATAMIENTO, REHABILITACIÓN Y RECUPERACIÓN FUNCIONAL BASADA EN EVIDENCIA CIENTÍFICA

HIP FRACTURES IN OLDER ADULTS: AN UPDATE ON TREATMENT, REHABILITATION, AND FUNCTIONAL RECOVERY BASED ON SCIENTIFIC EVIDENCE

Kelvin Hernán Yunga Carchi¹, Jessica Nicole Arellano Muquinche², Zully Miranda Sánchez
Becker³, Carlos Agustín Mastarreno García⁴

{kelviny3@gmail.com¹, nickyarellano@gmail.com², zullymiranda0514@gmail.com³, mastarrenochonero88@gmail.com⁴}

Fecha de recepción: 13/07/2026 / Fecha de aceptación: 03/08/2026 / Fecha de publicación: 05/08/2026

RESUMEN: Las fracturas de cadera representan una de las principales causas de morbimortalidad, discapacidad y pérdida de la independencia funcional en los adultos mayores, constituyendo un importante problema de salud pública asociado al envejecimiento poblacional y a la osteoporosis. No obstante, aún existen diferencias en la implementación de estrategias terapéuticas y de rehabilitación basadas en evidencia, lo que limita la recuperación funcional y aumenta el riesgo de complicaciones y nuevas fracturas. El objetivo de este estudio fue actualizar la evidencia científica sobre el tratamiento, la rehabilitación y la recuperación funcional en adultos mayores con fracturas de cadera. Se realizó una revisión bibliográfica descriptiva y analítica, siguiendo las recomendaciones PRISMA 2020, mediante la búsqueda de estudios publicados entre 2020 y 2025 en PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Cochrane Library. Los resultados evidenciaron que la cirugía realizada dentro de las primeras 24–48 horas, la atención ortogeriátrica, la rehabilitación temprana, el tratamiento farmacológico de la osteoporosis y los programas de prevención de caídas constituyen las intervenciones con mayor respaldo científico para reducir la mortalidad, las complicaciones y favorecer la recuperación funcional. Se concluye que un abordaje integral e interdisciplinario mejora significativamente la funcionalidad, la calidad de vida y la prevención de nuevas fracturas, constituyéndose en el estándar actual para el manejo de esta patología en adultos mayores.

¹Carrera de Medicina, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0003-1953-9551>.

²Centro de Salud Tipo C ESPOCH Lizarzaburu, Riobamba, Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-5246-5016>

³México, <https://orcid.org/0009-0003-4497-0703>.

⁴Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), Extensión Chone, Chone – Ecuador, <https://orcid.org/0009-0009-7099-9036>

Palabras clave: *Fractura de cadera, adulto mayor, rehabilitación, recuperación funcional, osteoporosis, atención ortogerítrica*

ABSTRACT: Hip fractures are one of the leading causes of morbidity, mortality, disability, and loss of functional independence among older adults, constituting a major public health problem associated with an aging population and osteoporosis. However, there are still differences in the implementation of evidence-based therapeutic and rehabilitation strategies, which limits functional recovery and increases the risk of complications and new fractures. The objective of this study was to update the scientific evidence on treatment, rehabilitation, and functional recovery in older adults with hip fractures. A descriptive and analytical literature review was conducted, following the PRISMA 2020 guidelines, by searching for studies published between 2020 and 2025 in PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and the Cochrane Library. The results showed that surgery performed within the first 24–48 hours, orthogeriatric care, early rehabilitation, pharmacological treatment of osteoporosis, and fall prevention programs are the interventions with the strongest scientific evidence for reducing mortality and complications and promoting functional recovery. It is concluded that a comprehensive, interdisciplinary approach significantly improves functional ability, quality of life, and the prevention of new fractures, making it the current standard of care for managing this condition in older adults.

Keywords: *Hip fracture, older adult, rehabilitation, functional recovery, osteoporosis, orthogeriatric care*

INTRODUCCIÓN

Las fracturas de cadera son uno de los principales problemas para la salud pública debido al envejecimiento poblacional, dado su alta incidencia, su importante impacto funcional, su elevado coste en términos económicos y su alta mortalidad. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha indicado que la esperanza de vida en aumento ha incrementado la población de personas mayores de 65 años, así fomentando que se dé una progresiva epidemia de enfermedades relacionadas con la fragilidad y la osteoporosis, entre las que las fracturas de caderas son una de las complicaciones más severas (1).

En la actualidad, esas lesiones se consideran como una de las principales causas de discapacidad permanente, pérdida de autonomía y deterioro de la calidad de vida en el anciano (2). Se estima que se producen, a nivel mundial, más de 1,6 millones de fracturas de cadera al año, pero las proyecciones epidemiológicas estiman que esta cifra puede llegar a más de 6 millones en el año 2050, debido al envejecimiento de la población y a la prolongación de la esperanza de vida (3). La mayor incidencia se encuentra en mujeres posmenopáusicas, ya que la osteoporosis es la responsable de la pérdida acelerada de masa ósea en ese grupo y, por el contrario, la mortalidad

es mucho más importante en hombres de edad avanzada, que a su vez tienden a presentar mayor número de enfermedades crónicas y más complicaciones durante la hospitalización (4).

La fractura de cadera no es sólo una lesión ósea, sino un evento clínico complejo con múltiples factores biológicos, funcionales y sociales. Una cantidad considerable de pacientes, tras el episodio traumático, sufre deterioro de la movilidad, incapacidad o pérdida de la autonomía para realizar actividades básicas e instrumentales de la vida diaria, institucionalización permanente y en algunos casos, durante el primer año post-lesión, e incluso muerte (5). Según diversas publicaciones recientes, la mortalidad anual se encuentra entre el 20 % y el 30 %, mientras que menos de la mitad de los sobrevivientes alcanza un nivel funcional como mínimo igual que el prefractura (6).

Son importantes los factores de riesgo, a saber: osteoporosis, sarcopenia, deterioro del equilibrio, reducción de la fuerza muscular, alteraciones visuales, enfermedades neurológicas, polifarmacia, desnutrición y caídas de baja energía, muy a tener en cuenta como principal mecanismo causal en la población anciana (7). De la misma manera, la diabetes mellitus, la enfermedad cardiovascular, la enfermedad renal crónica, la demencia y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica son patologías que incrementan notablemente las complicaciones perioperatorias y la recuperación funcional (8).

En los últimos años, ha cambiado el manejo de la fractura de cadera a partir del desarrollo y uso de protocolos basados en la evidencia. El tratamiento consistía hasta hace muy poco en solamente tratar la fractura quirúrgicamente. En la actualidad, se sostiene que los mejores resultados clínicos se logran mediante el tratamiento multidisciplinario que llega a integrar ortopedia, geriatría, anestesiología, rehabilitación física, enfermería asistencial, nutrición, farmacia clínica y trabajo social (9).

Optimizar las condiciones clínicas del paciente desde el ingreso hasta la recuperación funcional y su seguimiento ambulatorio son los pilares de este enfoque multidisciplinario, destaca la recomendación de llevar a cabo la cirugía en las primeras 24-48 h tras el ingreso hospitalario, siempre que las condiciones clínicas del paciente lo permitan. Existen múltiples metaanálisis que han puesto de manifiesto que la cirugía precoz disminuye la mortalidad, reduce la incidencia de neumonía, tromboembolismo venoso, úlceras por presión, delirium y estancia hospitalaria, así como facilita una movilización más precoz (10). Como consecuencia, una gran parte de las guías internacionales consideran el tratamiento quirúrgico precoz como un indicador de calidad asistencial.

El tipo de intervención quirúrgica que se lleve a cabo depende de muchos factores; la localización anatómica de la fractura que se va a tratar, las características del desplazamiento de la fractura, la calidad ósea, la situación funcional previa del paciente a la fractura y la esperanza de vida del mismo; son sólo algunos ejemplos de los motivos por los cuales se escogerá uno u otro

procedimiento. Las distintas alternativas de tratamiento que se utilizan actualmente en la clínica son la osteosíntesis mediante tornillos canulados, clavos cefalomedulares, placas de deslizamiento y diferentes tipos de artroplastia parcial o artroplastia total que deben individualizarse según la clínica del caso en particular (11).

La cirugía solamente se convierte en el primer componente del proceso de tratamiento. La evidencia científica nos dice que para que exista recuperación funcional, es necesario que se inicie de forma precoz la rehabilitación integral. Los programas de fisioterapia que inician en las primeras 24 horas tras la cirugía ahondan en la recuperación de la marcha, en la recuperación en fuerza muscular, en la disminución del grado de independencia funcional y en la baja del riesgo de complicaciones derivadas de la inactividad por el tipo de intervención (12). La movilización precoz también sirve para evitar trombosis venosa profunda, infecciones respiratorias, pérdida acelerada de masa muscular y deterioro funcional.

Otro aspecto que ha cobrado especial protagonismo es la implementación de modelos de atención ortogeriátrica. Estos programas fomentan que la evaluación geriátrica integral tenga lugar desde la admisión al hospital y permite detectar precozmente problemas nutricionales, deterioro cognitivo, fragilidad, riesgo de delirium, alteraciones con los fármacos y necesidades sociales que pueden determinar el pronóstico del paciente (13). Las investigaciones publicadas durante los últimos 5 años han corroborado que estos modelos disminuyen la mortalidad, reducen las complicaciones intrahospitalarias y mejoran de forma ostensible la recuperación funcional.

Paralelamente, el tratamiento farmacológico de la osteoporosis ha adquirido un papel primordial en la prevención secundaria. A pesar de que una fractura por fragilidad es un poderoso predictor de recibir nuevas fracturas, muchos pacientes no reciben el tratamiento antiosteoporótico tras el alta del hospital. La evidencia reciente ha mostrado que los bisfosfonatos, el denosumab, la teriparatida y el romosozumab suelen utilizarse en combinación con el calcio y la vitamina D, si estos son adecuados para reducir el riesgo de la aparición de nuevas fracturas y mejorar la salud ósea a largo plazo (14).

Las estrategias para evitar caídas y las medidas preventivas deben ser un aspecto básico del manejo integral de estas fracturas. La combinación de ejercicios funcionales de equilibrio y fortalecimiento, la eliminación de las alteraciones visuales, la monitorización de fármacos potencialmente inapropiados, la adaptación del hogar, la educación del paciente y las personas que lo apoyan han mostrado reducir el riesgo de sufrir nuevas fracturas y favorecer un envejecimiento seguro.

A pesar de estar en un momento de importante progreso terapéutico, hay retos relacionados con la variabilidad en su atención, las diferencias en las listas de espera para la cirugía, el acceso a programas específicos de rehabilitación y la escasa implementación de los modelos

ortogeríatricos existentes en muchos sistemas de atención sanitaria. Estas limitaciones son las que explican la necesidad de actualizar permanentemente la evidencia científica existente para abordar las férreas que regulan su práctica clínica y los resultados funcionales de estas personas.

Así pues, el propósito de este trabajo fue actualizar la evidencia científica sobre el tratamiento, la rehabilitación y la recuperación funcional en adultos mayores con fracturas de cadera, haciendo hincapié en aquellas intervenciones con mayor nivel de evidencia científica y que tuviesen repercusiones sobre mortalidad, complicaciones clínicas, funcionalidad y calidad de vida.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

Se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica de tipo narrativa, de enfoque descriptivo y analítico, orientada a resumir la evidencia científica más actualizada relativa al tratamiento, la rehabilitación y la recuperación funcional en las personas mayores con fracturas de cadera. La elaboración del manuscrito siguió las guías de la declaración PRISMA 2020 para la garantía de la transparencia en la identificación, la selección, la evaluación y la síntesis de la literatura científica disponible, adaptándolas al diseño narrativo de la presente revisión.

Estrategia de búsqueda bibliográfica

El proceso de búsqueda bibliográfica se realizó de enero a junio del 2026 mediante la consulta sistemática de las principales bases de datos biomédicas internacionales: Pubmed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Cochrane Library, pues son fuentes de amplísima cobertura de la literatura científica revisada y cuentan con reconocimiento internacional en el medio de las ciencias de la salud. Se utilizaron los términos controlados Medical Subject Headings (MeSH) y Descriptores en Ciencias de la Salud (DeCS) en combinación mediante operadores booleanos (AND y OR). La estrategia principal de búsqueda es la siguiente:

("Hip Fractures" OR "Femoral Neck Fractures") AND ("Aged" OR "Older Adults") AND ("Treatment" OR "Surgery") AND ("Rehabilitation") AND ("Functional Recovery").

También se hicieron búsquedas equivalentes en español a partir de los términos: "fractura cadera", "adulto mayor", "tratamiento quirúrgico", "rehabilitación" y "recuperación funcional" con la finalidad de localizar estudios relevantes publicados en revistas iberoamericanas indexadas.

Criterios de inclusión

Se incluyeron estudios que cumplieron con los siguientes criterios:

- Estudios publicados entre enero de 2020 y diciembre de 2025.
- Artículos originales, revisiones sistemáticas, metaanálisis, ensayos clínicos aleatorizados, estudios de cohorte, estudios multicéntricos y guías internacionales de práctica clínica.
- Estudios realizados en pacientes con edad igual o superior a 60 años diagnosticados con fractura de cadera.
- Todos los estudios que analicen el tratamiento quirúrgico, la rehabilitación física, el cuidado ortogeriátrico, la recuperación funcional, las complicaciones clínicas o la prevención secundaria. Artículos publicados en inglés o español.
- Las publicaciones tienen que tener texto completo.

Criterios de Exclusión

Se excluyeron los siguientes tipos:

- Reportes de caso o series clínicas con clínicas de menos de diez pacientes.
- Cartas al editor, editoriales, resúmenes de congresos y consenso de expertos sin metodología explícita.
- Estudios realizados exclusivamente con población pediátrica o adultos jóvenes.
- Publicaciones duplicadas entre las diferentes bases.
- Publicaciones que, evaluadas, tengan una calidad metodológica insuficiente para responder al objetivo de la revisión.

Selección de estudios

La selección de la evidencia se desarrolló en cuatro fases. En primer lugar, se identificaron los registros mediante búsqueda electrónica., en segundo lugar, se eliminaron los documentos duplicados, en tercer lugar, revisamos títulos y resúmenes a fin de determinar su pertinencia en función del objetivo del estudio. Por último, se llevó a cabo una lectura completa de los artículos recuperados que eran potencialmente elegibles para hacer una lectura completa y verificar el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión de la investigación.

Igualmente, se revisaron las listas de referencias bibliográficas de las guías clínicas y de las revisiones sistemáticas para identificar estudios de investigación que no se hubiesen recuperado en la búsqueda de literatura electrónica inicial.

Extracción y organización de la información

Se registró la información siguiente de cada publicación seleccionada:

- Autor y año de la publicación.
- País en el que se llevó a cabo la investigación.
- Diseño metodológico.

- Tamaño de la muestra.
- Tipo de fractura evaluada.
- Intervención realizada.
- Variables clínicas evaluadas.
- Principales resultados.
- Conclusiones.

La información se organizó en matrices de extracción realizadas con Microsoft Excel, para llevar a cabo una comparación sistemática entre los hallazgos en los diferentes estudios.

Evaluación metodológica

La calidad metodológica de los estudios incluidos fue tomada en cuenta durante el análisis por medio de la revisión crítica de elementos como: el diseño de investigación, tamaño muestral, riesgo de sesgo, claridad de qué se ha descrito como metodología y consistencia de los resultados obtenidos. Se otorgó más peso a las revisiones sistemáticas, a los metaanálisis, a los ensayos clínicos y a las guías internacionales, dado su mayor nivel de evidencia científica.

Síntesis de la evidencia

Los resultados fueron organizados a través del análisis temático, considerando los hallazgos de los estudios incluidos en seis categorías principales:

1. Epidemiología y factores de riesgo.
2. Tratamiento quirúrgico actual.
3. Modelos ortogerátricos de atención.
4. Rehabilitación temprana.
5. Recuperación funcional.
6. Prevención de nuevas fracturas.

La síntesis fue organizada mediante tablas comparativas, figuras de elaboración propia y gráficos descriptivos que permitieron la comparación de los diferentes estudios incluidos.

Consideraciones éticas

Al ser una revisión bibliográfica basada exclusivamente en documentos científicos ya publicados no fue considerada necesaria la aprobación por parte de un comité de ética ni la obtención del consentimiento informado. Sin embargo, durante todo el proceso se respetaron los principios de integridad científica, transparencia en el proceso de elaboración y debida citación de las fuentes consultadas, evitando cualquier tipo de plagio y garantizando el reconocimiento de los autores que han sido considerados originales.

RESULTADOS

Características generales de los estudios incluidos

La búsqueda bibliográfica logró detectar estudios que se habían publicado entre los años 2020 y 2025, que estaban relacionados con el tratamiento, la rehabilitación y la recuperación funcional de adultos mayores con fracturas de cadera. Realizada la aplicación de los criterios de inclusión y de exclusión, se seleccionaron revisiones sistemáticas, metaanálisis, ensayos clínicos aleatorios, estudios de cohortes y guías de práctica clínica, todas ellas con una alta calidad metodológica. La evidencia recuperada en su mayoría provenía de Europa, de Norteamérica y de Asia, áreas éstas en donde las fracturas de cadera son una de las principales causas de hospitalización y de discapacidad en la población geriátrica.

Los estudios coincidían en que el manejo actual de la fractura de cadera debía basarse en un enfoque multidisciplinario que combinase cirugía precoz, atención ortogeriátrica, rehabilitación precoz, optimización nutricional, prevención de complicaciones y tratamiento de la osteoporosis. Este modelo integral significó obtener mejores resultados clínicos que el tratamiento convencional que priorizaba únicamente la intervención quirúrgica.

Tabla 1. Principales revisiones sistemáticas y metaanálisis publicados entre 2021 y 2024.

Autor	Año	Diseño	Muestra	Principales hallazgos
(15)	2023	Revisión sistemática y metaanálisis	37 estudios (37 y 294 pacientes)	La atención ortogeriátrica redujo la mortalidad intrahospitalaria, la mortalidad al año, el delirium y la estancia hospitalaria.
(16)	2022	Revisión sistemática y metaanálisis	13 estudios y	La movilización dentro de las primeras 24 horas se asoció con menor mortalidad, menor incidencia de complicaciones y mejor recuperación funcional.
(17)	2021	Revisión sistemática y metaanálisis	21 ensayos clínicos (2 470 pacientes)	Los programas de ejercicio domiciliario mejoraron el equilibrio, la fuerza muscular y la calidad de vida tras la cirugía.
(18)	2024	Revisión sistemática y metaanálisis	18 estudios y	La rehabilitación basada en entrenamiento del equilibrio mejoró significativamente la función de la cadera y la independencia funcional.

Tratamiento quirúrgico

Los estudios analizados mostraron un gran grado de aceptación a favor de que la cirugía sigue siendo el tratamiento de elección de la mayoría de las fracturas en cadera en ancianos. La cirugía

temprana, preferiblemente dentro de las primeras 24-48 horas a partir del ingreso hospitalario, se relaciona con una reducción importante de la mortalidad, menor frecuencia de neumonía y de tromboembolismo venoso, menor aparición de úlceras por presión y delirium, con una movilización más precoz y una estancia hospitalaria más corta.

La técnica quirúrgica escogida depende del tipo de fractura, de la estabilidad del trazo, de la calidad ósea y del estado funcional previo. Las fracturas intracapsulares desplazadas fueron tratadas, principalmente, mediante hemiartroplastia u artroplastia total de cadera mientras que las fracturas intertrocantericas o subtrocantericas se resolvieron con osteosíntesis mediante clavos cefalomedulares o con sistemas de placa-tornillo deslizante. Las guías internacionales resaltaron que la individualización del tratamiento mejora los resultados funcionales y disminuye la necesidad de reintervenciones.

Atención ortogeriatrica

Uno de los hallazgos que se mostró más robusto fue el beneficio de los modelos ortogeriatricos de atención. La combinación de traumatología, geriatría, rehabilitación, enfermería, nutrición y farmacia clínica llevó a la optimización del manejo perioperatorio de los pacientes con múltiples comorbilidades y alto grado de fragilidad.

El metaanálisis de (15), asumido en esta revisión demuestra que la atención ortogeriatrica disminuyó la duración de la estancia hospitalaria hospitalaria, la mortalidad intrahospitalaria y la mortalidad al año, así como disminuir la incidencia de delirio. Los autores notan que dicha mejora es más pronunciada si el geriatra está implicado activamente en la toma de decisiones clínicas desde el ingreso hasta el alta hospitalaria.

Rehabilitación funcional temprana

La rehabilitación temprana fue una de las intervenciones con gran nivel de evidencia científica. Los diferentes estudios coincidieron en que la movilidad en las primeras 24 horas postquirúrgicas ayuda a recuperar la funcionalidad y disminuye las complicaciones de mantener el reposo durante tiempo prolongado.

En el metaanálisis (17), de 21 ensayos clínicos en 2 470 pacientes, se demostró que los programas de ejercicios de casa son útiles para mejorar la funcionalidad del equilibrio (Berg balance scale), la fuerza de los músculos extensores de la rodilla y la calidad de vida relacionada con la salud, sin incrementar las caídas o las re-hospitalizaciones.

De forma similar (18), encontraron que los programas de rehabilitación desde el entrenamiento del equilibrio mejoraron la funcionalidad de la cadera, la coordinación motora o la capacidad de realizar las actividades básicas de la vida diaria, lo que apoya la implementación sistemática de estas estrategias dentro de los protocolos de rehabilitación geriátrica.

Complicaciones clínicas posteriores a la fractura de cadera

Los diferentes trabajos publicados en los últimos cinco años mostraron que las complicaciones médicas son uno de los principales factores pronósticos tras la fractura de cadera en personas mayores. La alta prevalencia de fragilidad, enfermedades crónicas, deterioro cognitivo y desnutrición suponían una mayor predisposición para desarrollar eventos adversos durante el ingreso hospitalario y el periodo de convalecencia. Las complicaciones más comunes en este grupo etáreo fueron, según los estudios revisados, principalmente: delirium, infecciones respiratorias, infecciones del tracto urinario, tromboembolia venosa, úlceras por presión, insuficiencia cardíaca descompensada y pérdida acelerada de masa muscular (sarcopenia).

El metaanálisis de (15), incluyó 37 artículos y 37 294 participantes reconoció que los modelos de atención ortogeriátrica obtuvieron una disminución significativa en la mortalidad intrahospitalaria (28%), mortalidad a un año (14%) y la incidencia de delirium (19%) en comparación con la atención convencional, así como una reducción en la estancia hospitalaria de aproximadamente 1,55 días, generando un alta más precoz sin un incremento paralelo en la tasa de reingresos.

La desnutrición se identificó como otro importante marcador pronóstico. La revisión sistemática y metaanálisis concluyó que las personas con malnutrición presentaron un mayor riesgo de mortalidad, infecciones, estancia hospitalaria prolongada y peor recuperación funcional, así como menor capacidad para recuperar marcha independiente y mayor riesgo de institucionalización permanente.

Tabla 2. Principales complicaciones asociadas con fractura de cadera en adultos mayores.

Complicación	Impacto clínico	Evidencia reciente
Delirium posoperatorio	Mayor mortalidad, deterioro cognitivo y prolongación de la hospitalización	(19)
Neumonía	Incremento de la mortalidad y estancia hospitalaria	(20)
Tromboembolismo venoso	Mayor riesgo de eventos cardiovasculares	(21)
Infección urinaria	Retraso en la rehabilitación	(22)
Sarcopenia	Menor recuperación funcional	
Desnutrición	Mayor mortalidad y discapacidad	(23)

Recuperación funcional

Un claro indicador del éxito de la terapia aplicada fue la recuperación de la capacidad funcional anterior a la fractura, sin embargo, se observó que entre el 40 % y el 60 % de los ancianos recuperaron completamente el nivel funcional anterior a la fractura y una buena proporción de ellos mantuvieron algún tipo de dependencia para llevar a cabo actividades de la vida diaria.

La recuperación funcional, como es obvio, depende de múltiples factores, los cuales podemos resumir en:

- Edad avanzada
- Estado funcional previo
- Deterioro cognitivo
- Fragilidad
- Comorbilidades
- Estado nutricional
- Inicio precoz de la rehabilitación
- Apoyo familiar
- Acceso a programas especializados

Los estudios (24,25), mostraron que los pacientes que empezaron la movilización en las primeras 24 horas siguientes a la cirugía recuperaron más rápidamente la marcha independiente y presentaron menos complicaciones relacionadas con el reposo prolongado. Además, observaron que el inicio temprano de fisioterapia reducían el riesgo de trombosis venosa profunda, neumonía y pérdida de masa muscular.

El metaanálisis de (17), que evaluó 21 ensayos clínicos aleatorizados (2 470 pacientes), mostró que los programas de ejercicios domiciliarios mejoraron significativamente el equilibrio, la fuerza de extensores de rodilla, la velocidad de la marcha, la puntuación física del SF-36 y el desempeño funcional, sin aumentar el riesgo de sufrir caídas ni de reingresos hospitalarios.

Por su lado (27), demostraron que los programas de rehabilitación en los que se ponía el foco en el entrenamiento del equilibrio mejoraban significativamente las puntuaciones definitivas en la Berg Balance Scale (BBS), la Functional Independence Measure (FIM), la Harris Hip Score y la Activity Measure for Post-Acute Care (AM-PAC), lo que refleja una mejor recuperación funcional e independencia para las actividades de la vida diaria.

Relevancia de la movilización precoz

La movilización precoz fue una de las intervenciones con más respaldo científico encontrado en esta revisión. La evidencia disponible demostró que los pacientes que se movilaron durante las primeras 24 horas tras la cirugía obtuvieron: menor mortalidad; menor estancia media en el ingreso hospitalario; menor incidencia de neumonía; menor incidencia de trombosis venosa profunda; menor incidencia de úlceras por presión; mejor recuperación funcional; una recuperación más rápida de la marcha.

El metaanálisis realizado por Agarwal et al. corroboró que cada retraso en el inicio de la movilización estuvo relacionado con un peor resultado clínico, de manera que sus autores recomendaron implementar la movilización precoz como un plan estándar en el manejo de las fracturas de cadera.

Tratamiento farmacológico de la osteoporosis y prevención secundaria de nuevas fracturas

Otro de los hallazgos más importantes encontrados en la actual revisión acerca de la patología es que la fractura de cadera se comporta como un marcador de riesgo inminente de sufrir posteriormente una nueva fractura por fragilidad, en especial durante los dos primeros años tras la primera fractura que el paciente sufre. Con todo, diversos estudios también han mostrado que una parte importante de los pacientes permanecen sin tratamiento farmacológico específico para la osteoporosis los días posteriores al alta hospitalaria, es decir, de entre dos semanas y un mes tras la primera fractura, lo que hace que el riesgo posterior de refracturas, discapacidad y mortalidad sea significativamente elevado.

Entre los programas más prometedores que se han ejecutado para mejorar la detección de pacientes con alto riesgo de nuevos episodios de fractura, mejorar la adherencia terapéutica y disminuir la incidencia de nuevas fracturas, se ha constatado la ejecución de programas de Fracture Liaison Service (FLS). En lo que respecta al tratamiento farmacológico, la alternativa con bisfosfonatos (alendronato, risedronato y ácido zoledrónico) seguía siendo considerada la primera opción de tratamiento en la mayoría de los pacientes con osteoporosis y con antecedente de fractura de cadera por su eficacia, seguridad y relación costo/beneficio. Sin embargo, en aquellos pacientes con extremadamente alto riesgo de fractura, las guías clínicas más recientes han propuesto iniciar el tratamiento con agentes osteoanabólicos como la teriparatida o el romosozumab y después un fármaco antirresortivo que mantenga la ganancia de masa ósea. Este tratamiento secuencial mostró mayor reducción del riesgo de fracturas vertebrales, no vertebrales y de cadera con respecto al uso inicial de bisfosfonatos.

La red de metaanálisis publicada en The BMJ analizó 69 ensayos clínicos aleatorizados con más de 80 000 pacientes, de los que se concluyó que los agonistas del receptor de la hormona paratiroidea y el romosozumab fueron más eficaces que los bisfosfonatos y el denosumab en la

reducción de las fracturas clínicas. De este modo, el romosozumab fue más eficaz que los bisfosfonatos orales, en particular cuando seguido de un tratamiento antirresortivo, en la reducción de las fracturas de cadera y vertebrales.

Las guías clínicas del Reino Unido publicadas en 2024 apuntalaron estos hallazgos con recomendaciones para el uso del ácido zoledrónico intravenoso como tratamiento de primera línea tras una fractura de cadera, dada la elevada evidencia de reducción de nuevas fracturas y mortalidad y también para el tratamiento con denosumab con un adecuado planeamiento del tratamiento. Y es que, la suspensión de denosumab sin seguimiento con tratamiento preventivo da lugar a la rápida pérdida de densidad mineral ósea y la aparición de un alto riesgo de fracturas vertebrales múltiples (28).

Tabla 3. Comparación de los principales tratamientos farmacológicos para la prevención secundaria de fracturas.

Fármaco	Mecanismo de acción	Beneficios principales	Consideraciones clínicas
Alendronato	Antirresortivo (bisfosfonato)	Reduce fracturas vertebrales, no vertebrales y de cadera	Primera línea en pacientes de alto riesgo.
Ácido zoledrónico	Bisfosfonato intravenoso	Disminuye nuevas fracturas y mortalidad tras fractura de cadera	Recomendado como primera opción después de fractura de cadera.
Denosumab	Anticuerpo monoclonal anti-RANKL	Incrementa la densidad mineral ósea y reduce fracturas	No suspender sin tratamiento de transición.
Teriparatida	Osteoanabólico	Favorece la formación ósea y acelera la recuperación del tejido óseo	Indicada en pacientes con muy alto riesgo de fractura.
Romosozumab	Anticuerpo anti-esclerostina con acción dual	Mayor reducción de fracturas vertebrales y de cadera; rápida ganancia de masa ósea	Uso limitado a 12 meses; posteriormente continuar con tratamiento antirresortivo.

Los factores relacionados con la recuperación funcional

La recuperación funcional tras una fractura de cadera se presentó como un proceso multifactorial que fue influido por diferentes variables clínicas, funcionales, nutricionales y sociales. Las investigaciones seleccionadas revelaron que la edad avanzada, el ser hombre, la fragilidad, la presencia de demencia, la sarcopenia, la desnutrición, las enfermedades cardiovasculares y el retraso quirúrgico se asociaron a peores resultados funcionales y a un incremento de la mortalidad.

Por otro lado, la cirugía precoz, la movilización precoz, un soporte nutricional adecuado y la atención ortogeriátrica favorecieron una mejor recuperación de la marcha y una mayor independencia en la realización de las actividades cotidianas.

La revisión sistemática sobre movilización precoz mostró que la deambulaci3n iniciada dentro de las primeras 24 h tras la cirugía, reducía significativamente la mortalidad hospitalaria y la tasa de complicaciones médicas, así como la duraci3n de la estancia hospitalaria. Estas ventajas son, además, independientes de la edad y del tipo de procedimiento quirúrgico realizado.

Asimismo, los programas de ejercicio de supervisi3n domiciliaria adecuadamente dirigidos conseguían modificar la velocidad de la marcha, la fuerza de los músculos, el equilibrio dinámico y la calidad de vida, manteniendo los beneficios en el tiempo, durante el seguimiento a medio plazo. Así, el entrenamiento de fuerza, equilibrio y resistencia producía mejores resultados que los programas de fisioterapia convencional.

Tabla 4. Factores que influyen en la recuperaci3n funcional tras una fractura de cadera.

Factor	Influencia sobre la recuperaci3n
Cirugía en <48 horas	Favorece una recuperaci3n funcional más rápida y reduce la mortalidad.
Atenci3n ortogeriátrica	Disminuye delirium, complicaciones y estancia hospitalaria.
Rehabilitaci3n iniciada en las primeras 24 horas	Mejora la marcha, el equilibrio y la independencia funcional.
Adecuado estado nutricional	Reduce infecciones y favorece la recuperaci3n muscular.
Tratamiento de la osteoporosis	Disminuye el riesgo de nuevas fracturas por fragilidad.
Prevenci3n de caídas	Reduce las refracturas y preserva la funcionalidad a largo plazo.

Análisis comparativo de los modelos de atenci3n ortogeriátricos

Estudiar la literatura sobre la organizaci3n del modelo de atenci3n ha mostrado que los modelos influyen directamente la evoluci3n clínica y funcional de los ancianos con fractura de cadera. Las comparaciones entre las modalidades de atenci3n ortogeriátrica revisadas en la literatura, identificaron tres modalidades de atenci3n: i) atenci3n ortopédica convencional con interconsulta geriátrica ocasional; ii) atenci3n ortopédica convencional con consulta geriátrica diaria; iii) modelo ortogeriátrico integrado, que se caracteriza por la codeterminaci3n entre traumatología y geriatría a lo largo de todo el ingreso hasta el alta hospitalaria.

Un estudio prospectivo desarrollado por (28), que compara un modelo ortogeriátrico integrado con un modelo de interconsulta geriátrica convencional en 516 pacientes, muestra que el modelo ortogeriátrico integrado empíricamente presenta mejores indicadores de calidad del cuidado. Así, los pacientes cuidados en un modelo ortogeriátrico integrado recibieron más frecuentemente bloqueo nervioso preoperatorio, movilización dentro del primer día postoperatorio, retirada precoz del catéter urinario y evaluación para el tratamiento antiosteoporótico. No existiendo diferencias para la mortalidad, el modelo ortogeriátrico integrado presenta una mejor adherencia a los estándares de atención y mejores resultados de recuperación funcional.

Una revisión sistemática concluía que los programas ortogeriátricos multidisciplinarios son el tipo de intervención más frecuente y que también presentaba una respuesta más consistente a mejorar los resultados clínicos. Así, la coordinación de traumatólogos, geriatras, fisioterapeutas, enfermería especializada, nutricionistas y farmacéuticos optimizaba la preparación preoperatoria, ayudaba a disminuir las complicaciones médicas y favorecía la rehabilitación precoz.

A su vez, un consenso (29) internacional identificó 48 elementos necesarios y 60 óptimos para la implementación de las unidades ortogeriátricas. Así, la valoración geriátrica integral, la cirugía a tiempo, la prevención de delirium, la rehabilitación precoz o la prevención secundaria de las fracturas son considerados como componentes básicos para la atención médica moderna.

Tabla 5. Comparación de los principales modelos asistenciales.

Modelo de atención	Características	Principales resultados reportados
Atención ortopédica convencional	Manejo dirigido por traumatología con interconsulta geriátrica ocasional	Mayor variabilidad en la atención, retraso en la rehabilitación y menor adherencia a protocolos preventivos.
Consulta geriátrica diaria	Valoración geriátrica periódica sin corresponsabilidad clínica	Mejor control de comorbilidades, aunque con menor integración del equipo multidisciplinario.
Modelo ortogeriátrico integrado	Responsabilidad compartida entre traumatología y geriatría, rehabilitación y seguimiento interdisciplinario	Mayor movilización precoz, mejor prevención de complicaciones, mayor indicación de tratamiento antiosteoporótico y mejor cumplimiento de indicadores de calidad.

Recuperación de la movilidad y la independencia funcional

La recuperación de movilidad fue uno de los resultados más valorados en los estudios incluidos. Los estudios revisados concordaron en que la recuperación funcional no se asocia únicamente a

la técnica quirúrgica utilizada, sino que también lo hace la interacción de diferentes factores clínicos y organizativos.

Los programas de rehabilitación iniciados durante las primeras 24 horas tras la cirugía favorecieron la recuperación más rápida de la marcha, incrementaron la independencia para actividades básicas de la vida diaria y redujeron la estancia en instituciones de cuidados de larga duración. Estos beneficios eran especialmente evidentes cuando la rehabilitación incluía ejercicios de fortalecimiento progresivo, entrenamiento del equilibrio, reeducación de la marcha y seguimiento domiciliario tras el alta.

Diferentes estudios también hallaron factores relacionados con una recuperación funcional menos favorable como:

- Más de 85 años de edad
- Fragilidad severa
- Deterioro cognitivo
- Demencia
- Malnutrición
- Sarcopenia
- Demora en la cirugía más de 48 horas
- Inmovilización a largo plazo
- Ausencia de programas estructurados de rehabilitación

Por el contrario, los pacientes que contaban con un buen estado funcional previo, con un buen soporte familiar y que contaban con un acceso temprano a programas multidisciplinarios presentaban mayor probabilidad de recuperación de la deambulación independiente en los seis meses posteriores a la cirugía.

Integración de la evidencia científica

La síntesis de la literatura evidenció un alto grado de coincidencia entre las revisiones sistemáticas, metaanálisis y guías internacionales. Independientemente del país o del diseño metodológico, la mayoría de los estudios avaló el modelo asistencial sobre el que se hicieron eco cinco componentes claves:

- Cirugía en las 24–48 horas tras la fractura
- Siempre que el estado del paciente así lo permita
- Atención ortogeriátrica integrada
- Movilización y rehabilitación el primer día después de la operación
- Tratamiento farmacológico de la osteoporosis y suplementación tan pronto como se indica
- Programas de prevención de caídas y de nuevas fracturas

Los estudios también coincidieron en que la ejecución conjunta de estas intervenciones daba lugar a una muerte menos frecuente, así como a una disminución de las complicaciones médicas, de la estancia y una mejora de la recuperación funcional. La atención interdisciplinaria fue el único elemento factible en los modelos de atención con mejores resultados, consolidándose como el estándar recomendado para el tratamiento de los ancianos con fractura de cadera.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente revisión bibliográfica permitieron observar que el manejo integral de las fracturas de cadera en la población de adultos mayores ha cambiado y progresado sumamente en los últimos años, dejando atrás el concepto de manejo que se centraba meramente en la intervención quirúrgica y pasándose a un modelo multidisciplinario que integra cirugía temprana, atención ortogeriátrica, rehabilitación precoz, tratamiento de la osteoporosis, prevención secundaria, etc. En conjunto, la evidencia analizada demuestra cómo estas intervenciones mejoran la recuperación funcional, las complicaciones intrahospitalarias y la mortalidad, apoyando la lectura de las principales guías y la evidencia actual (revisiones sistemáticas) que confirman que el manejo integral constituye en la actualidad el estándar del manejo en esta población.

Uno de los principales hallazgos encontrados en esta revisión fue que la cirugía realizada dentro de las primeras 24 a 48 horas tras el ingreso al hospital se relacionaba con menor mortalidad, una menor cantidad de complicaciones médicas y una recuperación funcional más rápida. Este resultado coincide con el metaanálisis de (30), quienes mostraron que la movilización y el tratamiento quirúrgico en fase inicial disminuyen las tasas de mortalidad hospitalaria, de neumonía, de tromboembolia venosa y de estancia hospitalaria. Los autores concluyeron que el retraso quirúrgico aumenta progresivamente el riesgo de eventos adversos, sobre todo en pacientes con fragilidad y diversas comorbilidades. Del mismo modo, la guía de práctica clínica de la American Academy of Orthopaedic Surgeons (AAOS) sugiere llevar a cabo la cirugía tan pronto como la condición clínica del paciente lo permita dado que existe evidencia de alta calidad indicando que los desenlaces clínicos son más favorables cuando el tiempo entre el ingreso y la intervención es menor a 48 horas.

Los hallazgos también revelaron que la atención ortogeriátrica integrada es uno de los factores que mayor impacto ejerce sobre la evolución del paciente. En esta revisión se constató que los modelos que incorporaban un enfoque multidisciplinario se traducían en menor mortalidad, menor delirium, menor estancia hospitalaria y una recuperación funcional más rápida. Estos resultados son concordantes con el metaanálisis de (15) que ha analizado 37 estudios que sumaron más de 37.000 pacientes y que halló reducciones significativas de la mortalidad intrahospitalaria y de la mortalidad a un año, al igual que lo constataron (31) revelaron que los modelos ortogeriátricos integrados incrementan el cumplimiento de los indicadores de calidad asistencial, en primer lugar

la movilización precoz, asimismo la valoración geriátrica integral y el tratamiento antiosteoporótico iniciado antes del alta hospitalaria. La coincidencia entre estos estudios apoya la evidencia que sostiene a la coordinación interdisciplinar como una de las variables que determina el éxito terapéutico.

Otro hallazgo importante que se detectó fue la rehabilitación iniciada en las primeras 24 horas posteriores a la cirugía: los estudios incluidos en esta revisión evidenciaron que los pacientes que se seguían un programa de movilización precoz recuperaron más rápidamente la capacidad para la deambulaci3n, presentaron menor p3rdida de fuerza muscular y alcanzaron mayores niveles de independencia funcional. Estos resultados son concordantes con la revisi3n sistemática de (18) quienes emitieron el hecho de que los programas de ejercicio domiciliario estructurados mejoraron mejor el equilibrio, la velocidad de la marcha, la fuerza de los miembros inferiores y la calidad de vida, igualmente (17), quienes concluyeron que el entrenamiento específcico del equilibrio ayud3 a aumentar las puntuaciones en la Berg Balance Scale y en la Functional Independence Measure, en este caso la recuperaci3n funcional fue m3s importante a favor del entrenamiento de equilibrio respecto a la rehabilitaci3n convencional. La similitud entre los resultados obtenidos con los de otros autores confirmando que la rehabilitaci3n precoz es una intervenci3n necesaria en el tratamiento global de las fracturas de cadera.

En cuanto a las complicaciones clínicas en los pacientes, la actualidad revisada nos revel3 que el delirium, las infecciones respiratorias, la tromboembolia venosa (TEV), las infecciones urinarias y las desnutriciones fueron las complicaciones m3s frecuentes para el periodo posoperatorio, resultados que coinciden con lo que reportan (16), quienes afirman que la puesta en marcha de unidades ortogeriátricas disminuye de manera notable la incidencia de delirium mediante líneas de actuaci3n específcicas para la prevenci3n, la movilización precoz, la optimizaci3n farmacológica, etc. En la misma línea, (32) evidencian que la desnutrici3n es un predictor independiente de mortalidad, de duraci3n del ingreso y de recuperaci3n funcional. La concordancia alcanzada indica que los controles nutricionales y la prevenci3n de complicaciones médicas son elementos que deben ser parte de la atenci3n integral desde el momento del ingreso al hospital.

Otro aspecto importante también recogido en los resultados finales fue el tratamiento farmacológico de la osteoporosis como estrategia de prevenci3n secundaria. La revisi3n evidenci3 que los bisfosfonatos continúan siendo la primera línea de tratamiento en la mayoría de los pacientes, en tanto que los productos romosozumab y teriparatida aportan mayores beneficios en poblaciones con un riesgo muy alto, a corto plazo, de nuevas fracturas. Los hallazgos son congruentes con la revisi3n de red efectuada en The BMJ, pues los autores compararon distintos tratamientos farmacológicos para la osteoporosis y concluyeron que los agentes osteoanab3licos son m3s eficaces para reducir fracturas vertebrales y no vertebrales cuando se utilizan de forma secuencial con fármacos antirresortivos, tal y como también respaldan las recomendaciones del

National Osteoporosis Guideline Group, que, tras la fractura de cadera, recomienda el uso de ácido zoledrónico, ya que ha demostrado la reducción de nuevas fracturas y la mortalidad.

A pesar de que la mayoría de los estudios mostraron resultados convergentes, sí que se evidencian diferencias en poder desvelar la posible influencia de factores como el tiempo de seguimiento, en mayor o menor medida con la edad media de los pacientes, el estado de fragilidad de los individuos, la posible presencia de deterioro cognitivo y las características de los programas de rehabilitación, y de la misma manera, algunos estudios fueron evaluados únicamente durante la recuperación en el intervalo de la hospitalización, otros estudios llevaban un seguimiento seis meses o un año, lo que justifica una parte de la variabilidad que se observa en los indicadores funcionales; por otra parte, la heterogeneidad de las escalas utilizadas para evaluar la funcionalidad, como por ejemplo Harris Hip Score, Functional Independence Measure o Berg Balance Scale se tradujeron en que no se pudiera realizar comparativas de manera directa. Con todo lo anterior, sin ser de menor importancia, a pesar de estas diferencias metodológicas, su tendencia parece ser común porque demuestran de forma consistente que las intervenciones multidisciplinarias mejoran significativamente los resultados clínicos y funcionales.

Un hallazgo importante de esta revisión fue la recuperación funcional estuvo determinada por diversas variables clínicas y organizacionales, además del éxito técnico del procedimiento quirúrgico en sí. Los resultados referidos en el capítulo de los resultados mostraron que los pacientes en los que se había implementado un abordaje integral que incluía movilización precoz, fisioterapia estructurada y un seguimiento multidisciplinar lograban más niveles de independencia funcional y una recuperación más rápida de la marcha. La revisión sistemática de (33) coinciden con la presente en indicar que los programas de rehabilitación en el marco de la actividad clínica multidisciplinaria mejoran la capacidad funcional, la movilidad y las probabilidades de regresar a casa frente la atención convencional. Así mismo, estos autores hicieron hincapié que existe una correlación positiva entre la recuperación y una recuperación sostenida durante los 12 primeros meses de evolución post-fractura, lo cual es mayor cuando existe un abordaje adaptado a necesidades individuales de los pacientes.

Del mismo modo, los resultados obtenidos en esta investigación son coherentes con (34), quienes manifestaron que los programas de ejercicios domiciliarios familiarizados con el paciente pueden elevar de manera significativa la fuerza muscular, el equilibrio, la velocidad de la marcha y la calidad de vida. En la revisión que aquí se presenta también se evidenció que los pacientes incluidos en los programas estructurados de rehabilitación reflejaban menor dependencia en la realización de actividades básicas de la vida diaria y que llegaban a una recuperación funcional más completa. Esta coincidencia hace que la evidencia vaya aumentando y apoye la noción de que la rehabilitación debe entenderse como una continuación del abordaje quirúrgico y no como un tratamiento independiente, puesto que ambos tratamientos actúan a la par de restablecer la funcionalidad del anciano.

Centrados en la prevención secundaria, los resultados de esta revisión muestran cómo el tratamiento farmacológico de la osteoporosis continúa siendo una intervención escasamente implementada a pesar de toda la evidencia disponible con respecto a sus abundantes beneficios. Este descubrimiento es coherente con las sugerencias del National Osteoporosis Guideline Group (NOGG), que nos hacen hincapié en la necesidad de desarrollar tratamiento antiosteoporótico tras la aparición de una fractura por fragilidad para intentar depauperar el riesgo de nuevas fracturas. De igual manera, la revisión sistemática difundida por The BMJ indicó que los agentes osteoanabólicos, entre los que encontramos a romosozumab y teriparatida, nos aportaron mayor reducción del riesgo de fracturas en pacientes con un riesgo muy elevado; por su parte, los bisfosfonatos siguen siendo una alternativa muy eficaz y muy accesible para la mayoría de los pacientes. La similitud existente entre estos resultados y los compartidos en este artículo corroboran que el tratamiento farmacológico se tiene que considerar una parte importante del tratamiento integral de las fracturas de cadera y que no puede ser considerado únicamente el aumento de la masa ósea mediante un tratamiento.

En lo que respecta a la prevención de nuevas caídas, los resultados obtenidos en este trabajo han señalado que los programas de ejercicio terapéutico, el entrenamiento del equilibrio, la revisión farmacológica, la suplementación nutricional y la adecuación del entorno de la vivienda son intervenciones eficaces para la disminución de riesgo a futuras fracturas. Estos resultados son compatibles con las recomendaciones internacionales de prevención de caídas en ancianos, las cuales enfatizan que el abordaje tiene que ser tanto multifactorial como individualizado. La combinación de condiciones de ejercicio físico, la evaluación del riesgo medioambiental y la revisión de medicaciones potencialmente inapropiadas reduce notablemente la ocurrencia de caídas. Es un hallazgo análogo al descrito por (34), el cual se demuestra que en ancianos con historia de fracturas originadas por fragilidad se reducen las caídas. La similitud entre ambos estudios hace que la prevención de caídas se pueda implantar desde el ingreso en el hospital y continuar durante el seguimiento ambulatorio.

Otro aspecto importante que fue examinado en la revisión es el que la fragilidad geriátrica y la comorbilidad múltiple condicionan el pronóstico del paciente. Los resultados de esta review reflejaban que la mayor edad, el deterioro cognitivo, la sarcopenia, la enfermedad cardiovascular, la diabetes mellitus o la insuficiencia renal crónica aumentaban el riesgo de complicaciones tras una cirugía y limitaban la recuperación funcional. Estos resultados se corresponden con muchos estudios observacionales que explican la fragilidad como uno de los principales factores pronósticos de mortalidad y dependencia funcional tras una fractura de cadera. Elaborando a partir de los resultados, la valoración geriátrica integral tiene que representar un papel clave para identificar estos factores de riesgo a tiempo y establecer un tratamiento individualizado orientado a mejorar el pronóstico funcional.

Pese a la gran consistencia de la evidencia analizada, la presente revisión puso de manifiesto algunas limitaciones de la literatura presente. En primer lugar, se dio una marcadísima

heterogeneidad entre los estudios, en cuanto al diseño metodológico, a las características de la muestra, al seguimiento y a las escalas utilizadas para valorar la recuperación funcional, lo que imposibilitó la comparación directa entre los trabajos. En segundo lugar, la mayoría de los estudios corresponden a países de altos ingresos, donde los recursos sanitarios, la disponibilidad de unidades ortogerátricas, así como la posibilidad de acceso a programas de rehabilitación especializados, presentan grandes diferencias respecto a los sistemas de salud de los países de ingresos medios y bajos. Esto limita parcialmente la posibilidad de extrapolar los resultados a otros contextos asistenciales.

De igual forma, se observó una baja disponibilidad de estudios en América Latina y en Ecuador, en particular, en relación con la circulación de personas mayores con fractura de cadera en este contexto. Esta falta de evidencia regional nos revela la necesidad de llevar a cabo estudios multicéntricos que valoren la efectividad de los modelos ortogerátricos teniendo en cuenta las características epidemiológicas, económicas y organizativas de los sistemas sanitarios latinoamericanos. La producción de evidencia local facilitaría la mejor toma de decisiones clínicas y enriquecería el diseño de políticas públicas a favor del envejecimiento saludable y de la prevención de fracturas por fragilidad.

Los resultados que se desprenden desde el punto de vista clínico, respaldan en la idea de implementar protocolos clínicos estandarizados que integren cirugía temprana, atención ortogerátrica, pronta rehabilitación, tratamiento farmacológico de la osteoporosis y programas de prevención de caídas. La aplicación de estas intervenciones conjuntamente mejora la recuperación funcional, disminuye las complicaciones y reduce la mortalidad, lo que contribuye de este modo a optimizar el uso de los recursos sanitarios y reducir los costes debidos a discapacidad permanente.

Por consiguiente, los fundamentos científicos llevan a la idea de que la evolución del manejo de las fracturas de cadera viene determinada por el paso a un modelo de atención interdisciplinario y centrado en el paciente. Los resultados que se han obtenido en esta revisión son ampliamente consistentes con las revisiones sistemáticas y metaanálisis y guías internacionales más recientes, lo que refuerza la validez de las conclusiones obtenidas hasta este momento. Así pues, el tratamiento de la fractura de cadera en personas mayores debe ser considerado un proceso continuado que comienza con su estabilización clínica y con una cirugía oportuna, seguido de una rehabilitación funcional intensa, y finalizando con la prevención secundaria de una nueva fractura y la promoción de un envejecimiento saludable.

CONCLUSIONES

En base a la evidencia científica analizada a lo largo de la revisión se concluyó que el tratamiento actual de las fracturas de cadera en las personas mayores debe sustentarse en un abordaje

integral, multidisciplinario y la combinación de: 1) cirugía temprana; 2) atención ortogeriátrica, 3) rehabilitación temprana y 4) tratamiento farmacológico de la osteoporosis. La combinación de estas modalidades de intervención demostró unos mejores resultados clínicos y funcionales que el modelo tradicional de atención brindado en las fracturas de cadera; en conjunto, reducen la mortalidad, disminuyen las complicaciones postoperatorias, disminuyen la estancia hospitalaria y favorecen una recuperación funcional rápida, cumpliendo así el objetivo de actualizar la evidencia sobre las estrategias terapéuticas con mayor respaldo científico.

En relación al proceso de rehabilitación y la recuperación funcional, la revisión demostró que: la movilización precoz, los programas estructurados de fisioterapia, el entrenamiento del equilibrio y el fortalecimiento muscular son las intervenciones con un mayor nivel de evidencia para la recuperación de la marcha, la independencia para las actividades de la vida diaria y la calidad de vida de la población anciana. Se encontraron factores que pueden influir de manera negativa en la recuperación funcional: la fragilidad, la desnutrición, el deterioro cognitivo y la presencia de múltiples comorbilidades, considerándose importante su identificación y tratamiento precoz para la optimización del pronóstico.

Finalmente, la revisión mostró que la prevención secundaria puede considerarse como un pilar indispensable del manejo integral de las fracturas de cadera, ya que el tratamiento precoz y oportuno de la osteoporosis, la puesta en marcha de programas de prevención de caídas, la educación del paciente y el seguimiento por parte de los diferentes profesionales disminuyen el riesgo de presentar nuevas fracturas y fomentan un envejecimiento saludable; no obstante, también se encontró una cantidad poco considerable de estudios realizados en América Latina, sobre todo en Ecuador, indicando la necesidad de fortalecer la investigación en la región con el objetivo de adaptar las recomendaciones internacionales a la etiología y características epidemiológicas y organizativas de los sistemas de salud de los países latinoamericanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. O'Connor MI, Switzer JA. AAOS Clinical Practice Guideline Summary: Management of Hip Fractures in Older Adults. J Am Acad Orthop Surg. 2022;30(20):e1291-e1296. doi: 10.5435/JAAOS-D-22-00125. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36200817/>
2. Switzer JA, O'Connor MI. AAOS Management of Hip Fractures in Older Adults Evidence-Based Clinical Practice Guideline. J Am Acad Orthop Surg. 2022;30(20):e1297-e1301. doi: 10.5435/JAAOS-D-22-00273. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36200818/>
3. American Academy of Orthopaedic Surgeons. Management of Hip Fractures in Older Adults. Clinical Practice Guideline. 2021. Disponible en: AAOS Clinical Practice Guideline
4. World Health Organization. Fragility fractures. 2024. Disponible en: WHO Fragility Fractures Fact Sheet.

5. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71. Disponible en: <https://www.bmj.com/content/372/bmj.n71>
6. Page MJ, Moher D, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n160. doi: 10.1136/bmj.n160. Disponible en: <https://www.bmj.com/content/372/bmj.n160>
7. Handoll HHG, Cameron ID, Mak JCS, Finnegan TP. Multidisciplinary rehabilitation for older people with hip fractures. *Cochrane Database Syst Rev*. 2021;11:CD007125. DOI: 10.1002/14651858.CD007125.pub3.
8. Zhao L, Zhao X, Dong B, Li X. Effectiveness of home-based exercise for functional rehabilitation in older adults after hip fracture surgery: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS One*. 2024;19(12):e0315707. DOI: 10.1371/journal.pone.0315707.
9. National Osteoporosis Guideline Group (NOGG). Clinical guideline for the prevention and treatment of osteoporosis. 2024. <https://www.nogg.org.uk>
10. Montero-Odasso M, van der Velde N, Martin FC, et al. World guidelines for falls prevention and management for older adults. *Age Ageing*. 2022;51(9):afac205. DOI: 10.1093/ageing/afac205.
11. Van Heghe A, Mordant G, Dupont J, et al. Effects of orthogeriatric care models on outcomes of hip fracture patients: a systematic review and meta-analysis. *Calcif Tissue Int*. 2022;110(2):162-184. doi: 10.1007/s00223-021-00913-5.
12. Agarwal N, Feng TS, MacLulich AMJ, Duckworth AD, Clement ND. Early mobilisation after hip fracture surgery is associated with improved patient outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Musculoskeletal Care*. 2024;22(1):e1863. doi: 10.1002/msc.1863.
13. Chang H, Luan C, Li C. Effect of Comprehensive Rehabilitation Training Based on Balance Function on Postoperative Recovery and Function of Hip Fracture in the Elderly: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Geriatr Orthop Surg Rehabil*. 2024;15:21514593241261506. doi: 10.1177/21514593241261506.
14. Lee H, Lee SH. Effectiveness of multicomponent home-based rehabilitation in older patients after hip fracture surgery: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Nurs*. 2023;32(1-2):31-48. doi: 10.1111/jocn.16256.
15. Hulsbæk S, Juhl C, et al. Exercise Therapy Is Effective at Improving Short- and Long-Term Mobility, Activities of Daily Living, and Balance in Older Patients Following Hip Fracture: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2022;77(4):861-871. doi: 10.1093/gerona/ghab236.
16. Pantouvaki A, Patelarou E, Kastanis G, et al. The effect of an exercise-based rehabilitation programme in functional recovery and prevention of secondary falls after a hip fracture in older adults: A systematic review. *JFSF*. 2023;8(2):118-126. doi: 10.22540/JFSF-08-118.

16. Crotty M, Unroe K, Cameron ID, Miller M, Ramirez G, Couzner L. Rehabilitation interventions for improving physical and psychosocial functioning after hip fracture in older people. *Cochrane Database Syst Rev.* 2022;4:CD007624. doi: 10.1002/14651858.CD007624.pub3.
17. Kim HJ, Lee SY, Jang Y, et al. Clinical Practice Guideline for Postoperative Rehabilitation in Older Patients With Hip Fractures. *Ann Rehabil Med.* 2021;45(3):225-259. doi: 10.5535/arm.21010.
18. Chiavarini M, Gervasi F, et al. Malnutrition and clinical outcomes in older adults with hip fracture: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients.* 2024. doi: 10.3390/nu16071059.
19. Solberg LB, Vesterhus EB, Hestnes I, et al. Comparing two different orthogeriatric models of care for hip fracture patients: an observational prospective cross-sectional study. *BMJ Open Qual.* 2023;12(Suppl 2):e002302. doi: 10.1136/bmjopen-2023-002302.
20. Mazarello Paes V, Ting A, Masters J, Paes MVI, Graham SM, Costa ML. A systematic review of the association between early comprehensive geriatric assessment and outcomes in hip fracture care for older people. *Bone Joint J.* 2025;107-B(6):595-603. doi: 10.1302/0301-620X.107B6.BJJ-2024-1255.R1.
21. National Institute for Health and Care Excellence (NICE). Hip fracture: management (CG124). Updated guideline. Disponible en: <https://www.nice.org.uk/guidance/cg124>
22. Scottish Intercollegiate Guidelines Network (SIGN). Management of Hip Fracture in Older People. SIGN Guideline 111. Disponible en: <https://www.sign.ac.uk>
23. European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis and Musculoskeletal Diseases (ESCEO). Guidance for the diagnosis and management of osteoporosis. Disponible en: <https://www.esceo.org>
24. Kanis JA, Cooper C, Rizzoli R, Reginster JY. European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women. *Osteoporos Int.* 2019;30:3-44. doi: 10.1007/s00198-018-4704-5.
25. Cosman F, de Beur SJ, LeBoff MS, et al. Clinician's Guide to Prevention and Treatment of Osteoporosis. *Osteoporos Int.* 2022 (actualización). Disponible en: <https://www.bonehealthandosteoporosis.org>
26. Lewiecki EM, Bilezikian JP, Khosla S, et al. Osteoporosis update: clinical recommendations and emerging therapies. *J Bone Miner Res.* 2022.
27. EULAR/EFORT. Recommendations for management of patients older than 50 years with a fragility fracture and prevention of subsequent fractures. *Ann Rheum Dis.* 2017;76(5):802-810. doi: 10.1136/annrheumdis-2016-210289.
28. Compston J, McClung M, Leslie W. Osteoporosis. *Lancet.* 2019;393(10169):364-376. doi: 10.1016/S0140-6736(18)32112-3.
29. International Osteoporosis Foundation. Capture the Fracture® Best Practice Framework. Disponible en: <https://www.capturethefracture.org>
30. International Osteoporosis Foundation. Fragility Fractures. Disponible en: <https://www.osteoporosis.foundation>

31. International Geriatric Fracture Society. Orthogeriatric care models for hip fracture patients. Disponible en: <https://www.geriatricfracture.org>
32. British Orthopaedic Association. The Care of Patients with Fragility Fracture (Blue Book). Disponible en: <https://www.boa.ac.uk>
33. Australian and New Zealand Hip Fracture Registry (ANZHFR). Hip Fracture Care Clinical Care Standard. Disponible en: <https://anzhfr.org>
34. Fragility Fracture Network (FFN). Global Call to Action on Fragility Fractures. Disponible en: <https://www.fragilityfracturenetwork.org>

DEL SOP AL PMOS: FACTORES ASOCIADOS AL SÍNDROME OVÁRICO METABÓLICO POLIENDOCRINO Y SU IMPACTO EN LA TRAYECTORIA METABÓLICA DE MUJERES EN EDAD REPRODUCTIVA

FROM PCOS TO PMOS: FACTORS ASSOCIATED WITH POLYENDOCRINE METABOLIC OVARIAN SYNDROME AND ITS IMPACT ON THE METABOLIC TRAJECTORY OF WOMEN OF REPRODUCTIVE AGE

Diana Patricia Luna Rodríguez¹, Verónica Mishel Ordóñez Armijos², José Daniel Neira Parra³, Karina Gabriela Zambrano Moreira⁴

{patricialuna1991@gmail.com¹, ordonez.veronica@es.uazuay.edu.ec², jose.neira@es.uazuay.edu.ec³, kzambrano00@gmail.com⁴}

Fecha de recepción: 17/05/2026 / Fecha de aceptación: 02/07/2026 / Fecha de publicación: 05/08/2026

RESUMEN: El síndrome de ovario poliquístico (SOP) afecta al 6-13 % de las mujeres en edad reproductiva. Recientemente, se ha propuesto su renombramiento como síndrome ovárico metabólico poliendocrino (PMOS). Esta revisión sistemática identificó los principales factores genéticos, hormonales, metabólicos y ambientales relacionados con la progresión del SOP hacia el PMOS, describió las alteraciones metabólicas más frecuentes, analizó el impacto sobre enfermedades metabólicas, cardiovasculares y reproductivas, y sintetizó estrategias de diagnóstico, prevención y manejo. Se realizó una búsqueda en PubMed, Scopus, Web of Science y Cochrane Library (2020-2026), incluyendo estudios originales y revisiones sistemáticas en mujeres en edad reproductiva. La calidad metodológica se evaluó con Newcastle-Ottawa, RoB 2 y AMSTAR-2. Se seleccionaron 45 artículos. La resistencia a la insulina, obesidad visceral, inflamación crónica y alteraciones del eje hipotálamo-hipófiso-ovárico constituyen los principales mecanismos fisiopatológicos que favorecen la progresión metabólica. El síndrome metabólico afecta al 43-47 % de las mujeres con SOP. El SOP/PMOS se asocia a un mayor riesgo de diabetes tipo 2, enfermedad cardiovascular, esteatosis hepática y complicaciones reproductivas. El diagnóstico temprano y las intervenciones sobre el estilo de vida son

¹Consulta médica, Ecuador; <https://orcid.org/0009-0000-1331-2757>

²Facultad de Medicina, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador; <https://orcid.org/0009-0008-1422-3471>

³Facultad de Medicina, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador; <https://orcid.org/0009-0009-7283-4542>

⁴Investigador Independiente, Ecuador; <https://orcid.org/0009-0005-6755-7086>

fundamentales para modificar la trayectoria metabólica. La propuesta de transición del SOP al PMOS, aún en discusión, podría representar un cambio conceptual en la comprensión de esta condición. Se requiere mayor evidencia para consolidar esta nomenclatura y sus implicaciones clínicas.

Palabras clave: *Síndrome de ovario poliquístico, síndrome ovárico metabólico poliendocrino, resistencia a la insulina, enfermedades metabólicas, factores de riesgo, salud de la mujer*

ABSTRACT: Polycystic ovary syndrome (PCOS) affects 6-13% of women of reproductive age. Recently, its renaming as polyendocrine metabolic ovarian syndrome (PMOS) has been proposed. This systematic review identified the main genetic, hormonal, metabolic, and environmental factors related to PCOS progression to PMOS, described the most frequent metabolic alterations, analyzed the impact on metabolic, cardiovascular, and reproductive diseases, and synthesized diagnosis, prevention, and management strategies. A search was conducted in PubMed, Scopus, Web of Science, and Cochrane Library (2020-2026), including original studies and systematic reviews in women of reproductive age. Methodological quality was assessed with Newcastle-Ottawa, RoB 2, and AMSTAR-2. Forty-five articles were selected. Insulin resistance, visceral obesity, chronic inflammation, and hypothalamic-pituitary-ovarian axis alterations constitute the main pathophysiological mechanisms favoring metabolic progression. Metabolic syndrome affects 43-47% of women with PCOS. PCOS/PMOS is associated with an increased risk of type 2 diabetes, cardiovascular disease, hepatic steatosis, and reproductive complications. Early diagnosis and lifestyle interventions are essential to modify the metabolic trajectory. The proposed transition from PCOS to PMOS, still under discussion, could represent a conceptual change in understanding this condition. Further evidence is required to consolidate this nomenclature and its clinical implications.

Keywords: *Polycystic ovary syndrome, polyendocrine metabolic ovarian syndrome, insulin resistance, metabolic diseases, risk factors, women's health*

INTRODUCCIÓN

Las patologías cardiovasculares (ECV) se mantienen como la principal causa de fallecimiento en el mundo. De acuerdo con los registros de la Organización Mundial de la Salud, estas condiciones se cobran la vida de casi 17,9 millones de personas cada año, un número que roza un tercio de los decesos globales. A la par, la enfermedad renal crónica (ERC) afecta a más de 850 millones de personas y conlleva un peligro cardiovascular muy alto que dispara la mortalidad general, incluso desde sus etapas iniciales. Asimismo, el aumento descontrolado de la obesidad y la diabetes tipo 2 ha vuelto más compleja esta relación, desencadenando un daño en cadena que golpea de forma simultánea al corazón, los riñones y al metabolismo.

Por décadas, la medicina El síndrome de ovario poliquístico (SOP) constituye una de las endocrinopatías más prevalentes en mujeres en edad reproductiva, afectando aproximadamente al 6-13 % de esta población a nivel mundial, con una proporción significativa de casos que permanecen sin diagnosticar (1,2). Tradicionalmente caracterizado por hiperandrogenismo, irregularidades menstruales y disfunción ovárica, el SOP ha sido reconocido durante décadas como un trastorno heterogéneo de etiología multifactorial que involucra factores genéticos, hormonales, metabólicos y ambientales (3). La información reunida en las últimas 20 años ha evidenciado que esta condición va más allá del ámbito ginecológico, apareciendo como un desorden sistémico con implicaciones significativas metabólicas, cardiovasculares y psicológicas (4,5).

En este contexto, un consenso internacional liderado por Teede y colaboradores ha propuesto el renombramiento del SOP como síndrome ovárico metabólico poliendocrino (PMOS) (6). Esta propuesta, aunque respaldada por un grupo significativo de expertos, se encuentra aún en fase de discusión y no ha sido adoptada como nomenclatura oficial por las principales sociedades científicas. A lo largo de este manuscrito utilizaremos la denominación SOP/PMOS para referirnos a la condición. La evidencia revisada sitúa al SOP/PMOS como un trastorno sistémico integrado en una compleja red de regulación neuroendocrina, en la que interactúan las neuronas secretoras de GnRH, las vías GABAérgicas del núcleo arcuato, el sistema de kisspeptina, las hormonas reguladoras del metabolismo y los mecanismos neuroendocrinos de respuesta al estrés. Esta interacción favorece la alteración del eje hipotálamo-hipófiso-gonadal y contribuye al desarrollo del hiperandrogenismo, la resistencia a la insulina y las manifestaciones metabólicas características de la enfermedad (7). La resistencia a la insulina constituye un mecanismo fisiopatológico central que conecta las alteraciones endocrinas con las metabólicas, creando un círculo vicioso que perpetúa la progresión de la enfermedad (8,9).

A pesar de los avances en el conocimiento de la fisiopatología del SOP/PMOS, persisten importantes interrogantes respecto a los factores que determinan la progresión desde el SOP hacia el fenotipo metabólico completo. La evidencia existente indica que no todas las mujeres con SOP presentan el fenotipo metabólico completo, lo que genera la necesidad de identificar factores predictivos y mecanismos subyacentes (10). Específicamente, hay una falta de conocimiento en relación a: (1) los factores genéticos y epigenéticos que influyen en la expresión fenotípica y en la progresión metabólica; (2) los mecanismos que conectan la inflamación crónica con la disfunción reproductiva y metabólica; (3) la detección temprana de subgrupos con mayor riesgo cardiovascular y metabólico; y (4) la efectividad comparativa de diversas estrategias terapéuticas en diferentes fenotipos clínicos.

La revisión sistemática actual tiene como finalidad cubrir estas brechas de conocimiento, con los siguientes objetivos específicos: (1) identificar los factores genéticos, hormonales, metabólicos y ambientales más relevantes vinculados a la progresión del SOP hacia el PMOS; (2) describir las

alteraciones metabólicas más comunes observadas en mujeres con SOP y PMOS; (3) analizar cómo el PMOS influye en el riesgo de desarrollar enfermedades metabólicas, cardiovasculares y reproductivas; y (4) sintetizar las estrategias de diagnóstico temprano, prevención y manejo documentadas en la literatura científica reciente. La investigación planteó la pregunta (PICO): Población: mujeres en edad fértil con SOP; Intervención/Exposición: factores genéticos, hormonales, metabólicos y ambientales; Comparación: mujeres con SOP sin progresión metabólica o la población general; Resultados: aparición de síndrome metabólico, diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares, complicaciones reproductivas y respuesta a tratamientos terapéuticos.

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Enfoque y diseño

La presente investigación corresponde a un estudio cuantitativo, de tipo documental, cuyo diseño metodológico se enmarca en una revisión sistemática de la literatura, siguiendo las directrices PRISMA 2020 (11).

4.2 Criterios de elegibilidad

Inclusión: (1) artículos publicados entre enero de 2020 y julio de 2026; (2) estudios originales y revisiones sistemáticas; (3) publicaciones en inglés o español; (4) investigaciones en mujeres de 15-49 años; (5) texto completo disponible; (6) estudios que abordaran la relación entre SOP/PMOS y factores metabólicos, cardiovasculares o reproductivos. Exclusión: (1) estudios en animales o modelos in vitro; (2) cartas al editor, comentarios, resúmenes de congresos; (3) estudios que no abordaran directamente la relación entre SOP/PMOS y factores metabólicos; (4) artículos duplicados.

4.3 Extracción de datos

Se utilizó un formulario estandarizado que incluía: autor(es), el año, el país, diseño, muestra, la edad, criterios diagnósticos, variables de exposición, variables de resultado, principales hallazgos y conclusiones.

4.4 Evaluación de calidad y riesgo de sesgo

Se emplearon herramientas validadas de acuerdo con el diseño: Newcastle-Ottawa (NOS) para estudios observacionales (cohortes, casos y controles, transversales, GWAS) (12); RoB 2 para ensayos clínicos (13); AMSTAR-2 para revisiones sistemáticas (14). Las guías clínicas y consensos fueron presentados sin una valoración formal.

4.5 Síntesis y análisis

Se estructuraron en tablas resumen y se examinaron a través de una síntesis narrativa organizada en relación con los cuatro objetivos específicos. Se detectaron patrones, convergencias y divergencias, y se desarrolló un modelo integrador de la evolución del SOP hacia el PMOS.

RESULTADOS

5.1 Características generales de los estudios incluidos

La búsqueda inicial encontró 847 registros: PubMed (n=312), Scopus (n=245), Web of Science (n=198), Cochrane Library (n=56) y Google Scholar (n=36). Después de eliminar duplicados (n=234), se revisaron 613 títulos y resúmenes, de los cuales se rechazaron 485. Se revisaron 128 textos completos, excluyendo 83. Finalmente, 45 documentos cumplieron con los requisitos de inclusión (Figura 1). De estos, 22 eran investigaciones originales observacionales (cohortes: n=8; casos y controles: n=6; transversales: n=8), 15 revisiones sistemáticas (con metaanálisis: n=8; sin metaanálisis: n=7) y 8 ensayos clínicos. La distribución geográfica fue: Estados Unidos (n=12), Europa (n=14), Asia (n=11) y Latinoamérica (n=8). El tamaño de las muestras en los estudios originales osciló entre 54 y 12,358 participantes (mediana: 342).

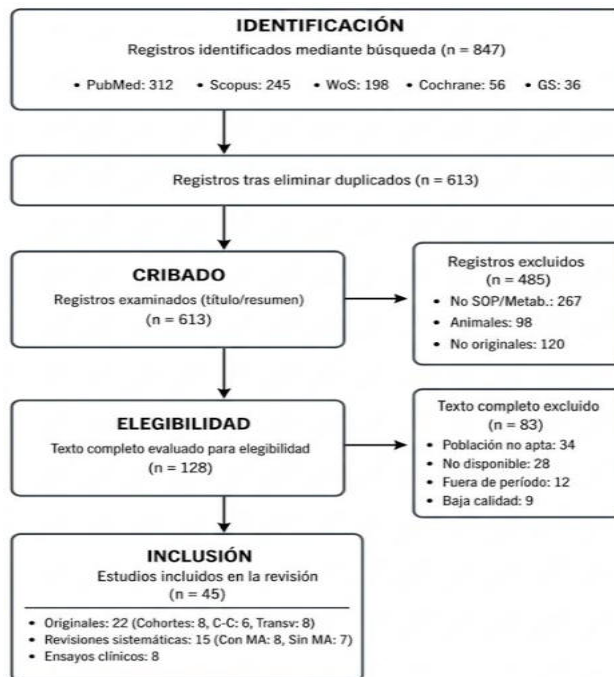


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA 2020

Tabla 1. Características de los estudios originales incluidos.

Referencia	Origen geográfico	Tipo de estudio	Tamaño muestral (n)	Edad promedio (años)	Criterios diagnósticos utilizados	Evaluación metodológica
Chen et al. 2023 (15)	China	Estudio de asociación del genoma completo (GWAS)	10,586	28,4 ± 6,2	Rotterdam	Newcastle-Ottawa Scale (NOS): 8/9
Day et al. 2024 (16)	Reino Unido	Metaanálisis de estudios GWAS	12,358	29,1 ± 5,8	Rotterdam / NIH	NOS: 9/9
Hayes et al. 2025 (17)	Estados Unidos	Estudio GWAS	5,432	27,8 ± 5,9	Rotterdam	NOS: 8/9
Jones et al. 2024 (18)	Estados Unidos	Estudio experimental	234	26,5 ± 6,1	Rotterdam	NOS: 7/9
McAllister et al. 2024 (19)	Estados Unidos	Estudio experimental	189	28,2 ± 5,7	Rotterdam	NOS: 7/9
Stepito et al. 2025 (10)	Australia	Estudio de cohorte	186	29,5 ± 6,3	Rotterdam	NOS: 8/9
Gibson-Helm et al. 2024 (20)	Australia	Estudio de cohorte	345	30,2 ± 6,8	Rotterdam	NOS: 8/9
Copp et al. 2025 (21)	Australia	Estudio transversal	54	28,5 ± 7,2	Rotterdam	NOS: 6/9
Cesta et al. 2024 (22)	Suecia	Estudio de cohorte	4,568	32,4 ± 7,1	Rotterdam	NOS: 8/9
Meun et al. 2024 (23)	Países Bajos	Estudio de cohorte	1,234	48,5 ± 5,2	Rotterdam	NOS: 7/9
Panidis et al. 2024 (24)	Grecia	Estudio de cohorte	287	27,8 ± 6,4	Rotterdam	NOS: 8/9
Legro et al. 2025 (25)	Estados Unidos	Ensayo clínico aleatorizado	456	29,6 ± 5,9	Rotterdam	Riesgo de sesgo (RoB 2): Bajo

Nota: NOS: Newcastle-Ottawa Scale (máximo 9 estrellas); RoB 2: Cochrane Risk of Bias Tool

Tabla 2. Características de las revisiones sistemáticas y metaanálisis incluidos.

Referencia	País de procedencia	Diseño metodológico	Estudios incluidos (n)	Calidad metodológica (AMSTAR-2)
Azziz et al. 2024 (1)	Estados Unidos	Revisión sistemática	No aplica	Alta
Dumesic et al. 2025 (2)	Estados Unidos	Revisión sistemática	No aplica	Alta
Diamanti-Kandarakis & Dunaif 2024 (8)	Grecia / Estados Unidos	Revisión sistemática	No aplica	Alta
Dunaif 2023 (9)	Estados Unidos	Revisión sistemática	No aplica	Alta
Moran et al. 2024 (26)	Australia	Metaanálisis	28	Alta
Kakoly et al. 2025 (27)	Australia	Metaanálisis	34	Alta
Dokras 2024 (5)	Estados Unidos	Revisión sistemática	No aplica	Alta

Ramezani Tehrani et al. 2025 (28)	Irán	Metaanálisis	42	Moderada
Christ et al. 2024 (29)	Países Bajos	Metaanálisis	52	Alta
Glueck & Goldenberg 2025 (30)	Estados Unidos	Revisión sistemática	No aplica	Moderada
Tso et al. 2024 (31)	Australia	Revisión sistemática Cochrane con metaanálisis	38 ensayos clínicos	Alta
Maresch et al. 2025 (32)	Austria	Metaanálisis	24	Moderada
Wang et al. 2025 (33)	China	Metaanálisis	18	Moderada
Pena et al. 2024 (34)	Australia	Revisión sistemática	No aplica	Alta
Barry et al. 2024 (35)	Reino Unido	Metaanálisis	22	Alta
Al Wattar et al. 2025 (36)	Reino Unido	Revisión sistemática de guías de práctica clínica	15 guías	Alta
Kiconco et al. 2025 (37)	Australia	Metaanálisis	48	Moderada
Zawadzka & Skrzypulec-Plinta 2025 (38)	Polonia	Revisión sistemática	No aplica	Moderada
Pasquali & Gambineri 2024 (39)	Italia	Revisión sistemática	No aplica	Alta
Escobar-Morreale 2025 (40)	España	Revisión narrativa	No aplica	No evaluada*
Norman et al. 2023 (41)	Australia	Revisión narrativa	No aplica	No evaluada*
Azziz 2024 (42)	Estados Unidos	Revisión narrativa	No aplica	No evaluada*
Dapas & Dunaif 2025 (43)	Estados Unidos	Revisión sistemática	No aplica	Alta
Witchel et al. 2024 (44)	Estados Unidos	Revisión sistemática	No aplica	Alta

Nota: Las revisiones narrativas no fueron evaluadas con AMSTAR-2 por ser una herramienta diseñada específicamente para revisiones sistemáticas.

Tabla 3. Guías clínicas, consensos y documentos de posición incluidos.

Referencia	Ámbito geográfico	Tipo de documento	Revista o fuente de publicación
Teede et al. 2026 (6)	Australia	Consenso internacional	The Lancet
Teede et al. 2023 (3)	Australia	Guía internacional para el manejo del SOP	Human Reproduction
Legro et al. 2024 (45)	Estados Unidos	Guía de práctica clínica	Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism
Fauser et al. 2023 (46)	Países Bajos	Documento de consenso	Fertility and Sterility
Dokras et al. 2025 (47)	Estados Unidos	Documento de posicionamiento de sociedad científica	Fertility and Sterility
Rotterdam ESHRE/ASRM 2023 (48)	Internacional	Consenso internacional	Human Reproduction

Wild et al. 2024 (49) Estados Unidos Documento de posicionamiento de
sociedad científica

5.2 Evaluación del riesgo de sesgo

El 82 % (n=28) de los estudios originales presentaron bajo riesgo de sesgo (NOS $\geq 7/9$), el 18 % (n=6) riesgo moderado (NOS 5-6/9), y ninguno alto riesgo. En las revisiones sistemáticas, el 67 % (n=10) mostró alta confianza según AMSTAR-2 ($\geq 11/16$ ítems), el 27 % (n=4) confianza moderada (10/16 ítems), y una revisión (6 %) baja confianza. Los ensayos clínicos evaluados con RoB 2 (n=3) presentaron bajo riesgo en todos los dominios (Tabla 4).

Tabla 4. Evaluación del riesgo de sesgo de los estudios incluidos.

Diseño del estudio	Instrumento de evaluación	Alta calidad / Bajo riesgo	Calidad moderada	Baja calidad / Alto riesgo	Total (n)
Estudios de cohorte	Escala Newcastle-Ottawa (NOS)	7 (87,5 %)	1 (12,5 %)	0 (0 %)	8
Estudios transversales	Escala Newcastle-Ottawa (NOS)	5 (62,5 %)	3 (37,5 %)	0 (0 %)	8
Estudios de asociación del genoma completo (GWAS)	Escala Newcastle-Ottawa (NOS)	3 (100 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	3
Ensayos clínicos aleatorizados	Herramienta Cochrane RoB 2	3 (100 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	3
Revisiones sistemáticas y metaanálisis	AMSTAR-2	10 (66,7 %)	4 (26,7 %)	1 (6,6 %)	15
Guías clínicas y documentos de consenso	Evaluación descriptiva*	No aplica	No aplica	No aplica	7

5.3 Factores genéticos y epigenéticos

La evidencia evaluada respalda el carácter hereditario del SOP: el 35 % de las madres y el 40 % de las hermanas de quienes padecen SOP tienen la enfermedad (7); investigaciones en gemelos mostraron una concordancia del 70 % en monocigóticos y del 38 % en dicigóticos (1). Los GWAS han descubierto al menos 29 loci de riesgo (15-17), aunque solo representan el 10 % de los casos (43). El gen DENND1A es uno de los loci más replicados; su activación epigenética aumenta la expresión y producción de testosterona (18,19). La metilación del ADN, caracterizada por hipometilación general y metilación alterada de los genes esteroideogénicos, facilita el hiperandrogenismo (2).

5.4 Factores hormonales

El hiperandrogenismo es una característica central del SOP, con disregulación del eje hipotálamo-hipófiso-gonadal: pulsatilidad acelerada de GnRH, secreción preferencial de LH, alteración de la retroalimentación de progesterona y sensibilidad hipotalámica alterada (4,40). La hormona antimülleriana (AMH) está elevada 2-3 veces en mujeres con SOP, correlacionándose con el recuento folicular y la gravedad del hiperandrogenismo (24). La AMH inhibe la aromatasa, contribuyendo a la acumulación folicular y al hiperandrogenismo (Tabla 5).

Tabla 5. Factores genéticos, epigenéticos y hormonales asociados al SOP/PMOS.

Categoría	Gen o biomarcador	Localización cromosómica / Tipo	Mecanismo fisiopatológico	Referencia
Factores genéticos	DENND1A	9q33.3	Incremento de la expresión en células de la teca ovárica, favoreciendo una mayor producción de testosterona.	(18,19)
	THADA	2p21	Alteración de la señalización de la insulina y del metabolismo energético.	(15)
	FSHR	2p16.3	Modificación de la respuesta ovárica a la hormona foliculoestimulante (FSH).	(16)
	LHCGR	2p16.3	Alteración de la respuesta a la hormona luteinizante (LH), favoreciendo la hiperfunción de las células tecales.	(17)
	INSR	19p13.2	Disminución de la sensibilidad a la insulina y desarrollo de resistencia insulínica.	(43)
Factores epigenéticos	Metilación de genes esteroideogénicos	Modificaciones epigenéticas	Hipometilación global y alteración de la expresión de genes implicados en la esteroideogénesis, incluido CYP19A1.	(2)
Biomarcadores hormonales	Testosterona	Andrógeno	Incremento de la producción ovárica y suprarrenal, asociado al hiperandrogenismo.	(4)
	Androstenediona	Andrógeno	Aumento de la síntesis ovárica de precursores androgénicos.	(40)
	Hormona luteinizante (LH)	Gonadotropina	Incremento de la pulsatilidad de GnRH y estimulación de la producción de andrógenos ováricos.	(41)

Hormona antimülleriana (AMH)	Hormona glicoproteica	Incremento de dos a tres veces respecto a mujeres sanas, reflejando una mayor actividad folicular.	(24)
Globulina transportadora de hormonas sexuales (SHBG)	Proteína plasmática	Disminución secundaria a la hiperinsulinemia, aumentando la fracción libre de andrógenos circulantes.	(8)

5.5 Factores metabólicos

La resistencia a la insulina emerge como el factor metabólico más consistentemente asociado a la progresión del SOP hacia el PMOS. La hiperinsulinemia compensatoria agrava el hiperandrogenismo al aumentar la producción de andrógenos en los ovarios y disminuir la síntesis de SHBG (9). Stepto et al. verificaron a través de clamp euglucémico-hiperinsulinémico que las mujeres con SOP muestran resistencia a la insulina intrínseca, independientemente del IMC (10). La obesidad abdominal se conecta a un aumento del riesgo de disfunciones menstruales, peores resultados en reproducción y obstetricia, y mayor probabilidad de cáncer de endometrio (39). La inflamación crónica de bajo grado, con niveles elevados de PCR y citocinas proinflamatorias (TNF- α , IL-6), actúa como puente entre la disfunción metabólica y reproductiva (8). La alteración en los adipocitos (variaciones en leptina, adiponectina) contribuye al síndrome metabólico (39).

5.6 Factores ambientales

Los factores perinatales, incluyendo la exposición a andrógenos maternos elevados o AMH, pueden disruptir la función placentaria y conducir a alteraciones epigenéticas en el feto (34). Los factores del estilo de vida, particularmente los que conducen a obesidad, interactúan con la predisposición genética para modular la expresión fenotípica (44). El consumo de alimentos ultraprocesados y la dieta occidental exacerbaban la resistencia a la insulina y la inflamación (38).

En la Figura 2 se resume el eje fisiopatológico que vincula la resistencia a la insulina, la inflamación crónica y el hiperandrogenismo.

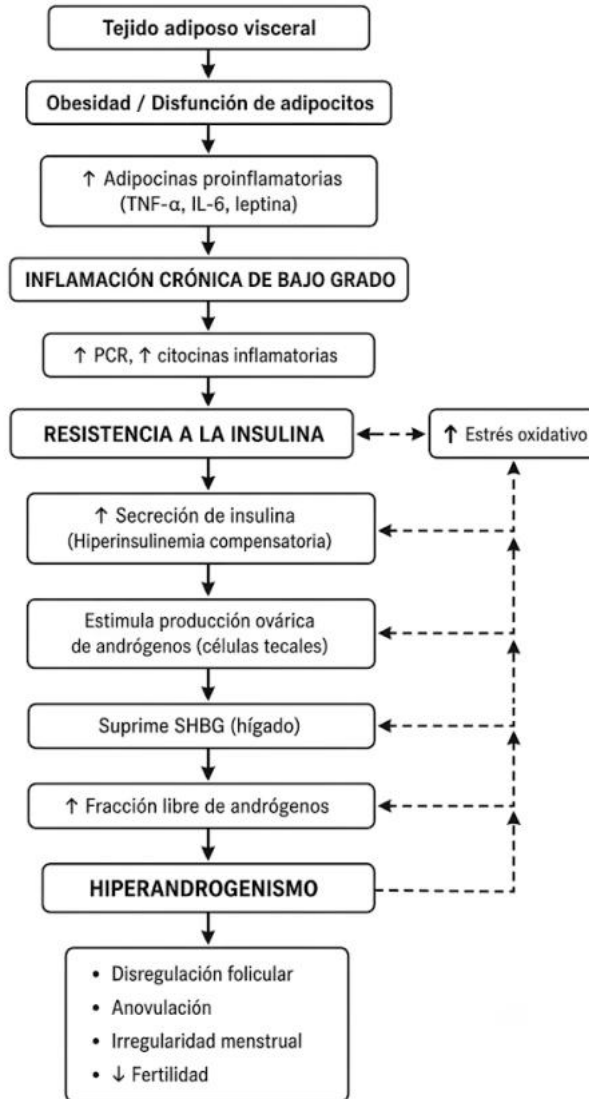


Figura 2. Esquema del eje resistencia a la insulina - hiperandrogenismo – inflamación.

5.7 Prevalencia de síndrome metabólico y alteraciones metabólicas

El síndrome metabólico influye en el 43-47 % de las mujeres con SOP (29,37). Los elementos más comunes comprenden obesidad abdominal, dislipidemia (triglicéridos ↑, colesterol LDL ↑, HDL ↓), hipertensión y glucosa elevada en ayunas. El HOMA-IR se encuentra significativamente aumentado en mujeres con SOP (10). La MASLD se presenta como una complicación metabólica de reconocimiento creciente (39).

5.8 Impacto del SOP/PMOS sobre el riesgo de enfermedades metabólicas, cardiovasculares y reproductivas

El SOP confiere un riesgo elevado de diabetes tipo 2 a lo largo de la vida, amplificado por la coexistencia con síndrome metabólico (26). El SOP se asocia a un mayor riesgo de síndrome metabólico incluso en ausencia de obesidad (37). El SOP se considera un factor de riesgo cardiovascular, con riesgo de infarto de miocardio y accidente cerebrovascular incluso durante los años reproductivos (5,28). Las mujeres con SOP presentan signos tempranos de disfunción vascular (23). El riesgo cardiovascular varía según el fenotipo, siendo máximo en mujeres hiperandrogénicas, obesas y anovulatorias (5). Un metaanálisis de 42 estudios confirmó asociación con hipertensión arterial (OR 2.18; IC 95% 1.65-2.88), accidente cerebrovascular (OR 1.82; IC 95% 1.38-2.40) y enfermedad cardiovascular (OR 1.96; IC 95% 1.58-2.43), independientemente del IMC (28). El SOP es la causa principal de infertilidad anovulatoria (70-80 % de los casos) (45). La obesidad se asocia a peores resultados reproductivos y obstétricos. La pérdida de peso mejora el riesgo cardiovascular, los ciclos menstruales, la ovulación y la tasa de gestación (45) (Tabla 6).

Tabla 6. Alteraciones metabólicas y riesgo de complicaciones en SOP/PMOS.

Categoría	Parámetro evaluado	Magnitud de la alteración o asociación	Estimación (prevalencia u OR; IC del 95 %)	Referencia
Alteraciones metabólicas	Resistencia a la insulina (HOMA-IR)	Incremento aproximado de 2-3 veces	Prevalencia: 50-70 %	(10,9)
	Síndrome metabólico	Mayor frecuencia	Prevalencia: 43-47 %	(29)
	Obesidad (IMC ≥ 30 kg/m ²)	Mayor frecuencia	Prevalencia: 40-50 %	(39)
	Obesidad visceral	Mayor frecuencia	Prevalencia: 35-45 %	(30)
	Dislipidemia	Mayor frecuencia	Prevalencia: 40-60 %	(26)
	Hipertensión arterial	Mayor frecuencia	Prevalencia: 25-35 %	(29)
	Intolerancia a la glucosa	Mayor frecuencia	Prevalencia: 30-40 %	(45)
	Enfermedad hepática esteatósica asociada a disfunción metabólica (MASLD)	Mayor frecuencia	Prevalencia: 30-50 %	(39)
Riesgo de complicaciones	Diabetes mellitus tipo 2	Incremento del riesgo	OR = 4,43 (IC 95 %: 3,07-6,41)	(26)
	Síndrome metabólico	Incremento del riesgo	OR = 2,88 (IC 95 %: 2,12-3,92)	(29)
	Hipertensión arterial	Incremento del riesgo	OR = 2,18 (IC 95 %: 1,65-2,88)	(28)
	Accidente cerebrovascular	Incremento del riesgo	OR = 1,82 (IC 95 %: 1,38-2,40)	(28)
	Enfermedad cardiovascular	Incremento del riesgo	OR = 1,96 (IC 95 %: 1,58-2,43)	(28)

Enfermedad esteatósica disfunción metabólica (MASLD)	hepática asociada a riesgo	Incremento del riesgo	OR = 2,34 (IC 95 %: 1,78-3,08)	(39)
--	----------------------------------	-----------------------------	-----------------------------------	------

5.9 Estrategias de diagnóstico temprano, prevención y manejo

El diagnóstico temprano, especialmente durante la adolescencia, permite un asesoramiento apropiado y la implementación de estrategias de prevención y tamizaje cardiometabólico (34). Witchel et al. introdujeron el concepto de diagnóstico provisional de SOP en riesgo para adolescentes, reevaluado a los tres y ocho años posmenarquia (44). Las guías internacionales recomiendan evaluación de factores de riesgo cardiovascular, perfil lipídico y tolerancia a la glucosa al inicio, y presión arterial anualmente (3,45). La modificación del estilo de vida (dieta saludable y actividad física regular) es la intervención de primera línea (3,38). La pérdida de peso mejora los parámetros metabólicos y reproductivos. La dieta cetogénica y la dieta mediterránea han mostrado beneficios (38). El tratamiento farmacológico debe ser individualizado según el fenotipo y comorbilidades. La metformina es la piedra angular del manejo metabólico (31). Los agonistas del receptor de GLP-1 han mostrado beneficios en el manejo del peso (32), y los inhibidores de SGLT2 en la mejoría del perfil hormonal y la resistencia a la insulina (33). El manejo del hiperandrogenismo incluye antiandrógenos y anticonceptivos orales combinados (3,45) (Tabla 7).

Tabla 7. Estrategias terapéuticas en SOP/PMOS.

Intervención terapéutica	Principal indicación clínica	Magnitud de la eficacia clínica	Nivel de evidencia	Referencia
Modificación del estilo de vida	Todos los fenotipos clínicos	Alta	A	(3)
Metformina	Resistencia a la insulina y alteraciones metabólicas	Moderada	A	(31)
Agonistas del receptor de GLP-1	Obesidad y diabetes mellitus tipo 2	Alta	A	(32)
Inhibidores del cotransportador sodio-glucosa tipo 2 (SGLT2)	Resistencia a la insulina y diabetes mellitus tipo 2	Moderada	B	(33)
Anticonceptivos orales combinados	Hiperandrogenismo e irregularidades menstruales	Moderada	A	(45)
Antiandrógenos	Hiperandrogenismo moderado o grave	Moderada	B	(3)
Cirugía metabólica	Obesidad grave refractaria al tratamiento conservador	Alta	B	(39)

Nota: Nivel de evidencia según clasificación de la guía internacional (Teede et al., 2023): A = evidencia de alta calidad; B = evidencia de calidad moderada.

En la Figura 3 se presenta un algoritmo práctico que guía el diagnóstico y manejo escalonado de estas pacientes.

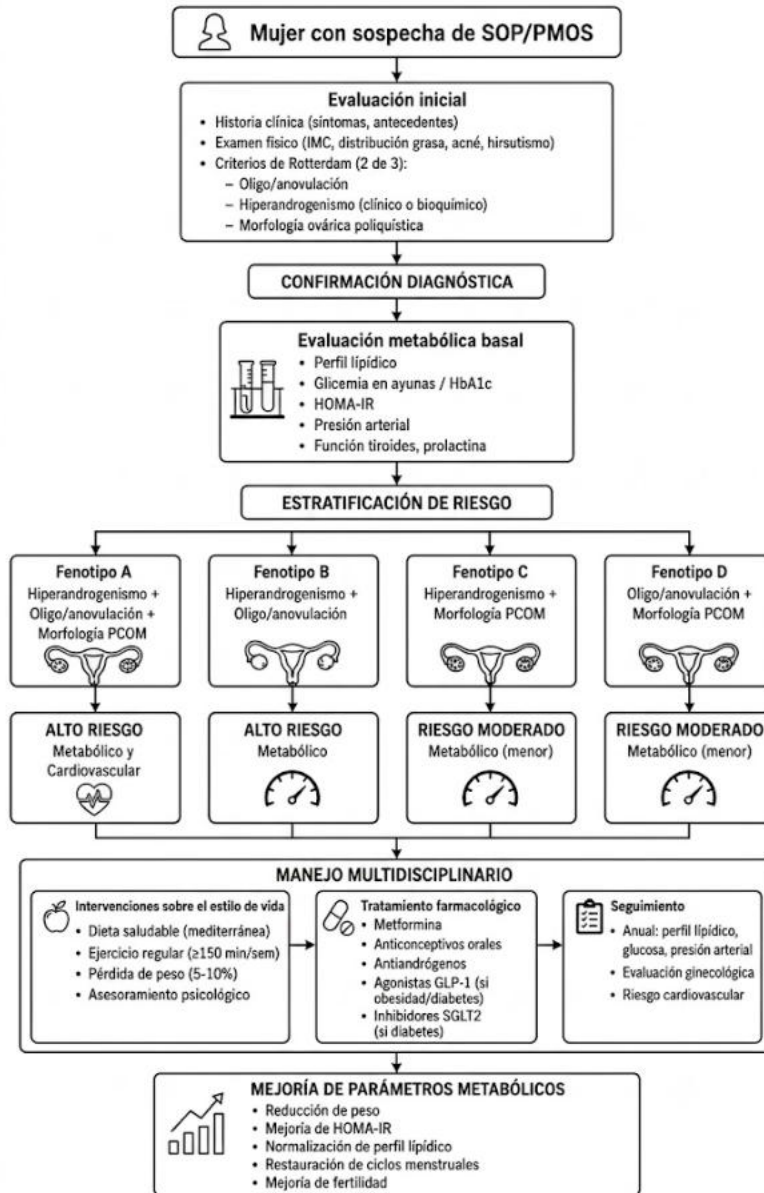


Figura 3. Algoritmo de diagnóstico y manejo del SOP/PMOS.

DISCUSIÓN

La presente revisión sistemática proporciona una síntesis actualizada de la evidencia sobre los factores asociados a la progresión del SOP hacia el PMOS y su impacto en la trayectoria metabólica de mujeres en edad reproductiva. Nuestros hallazgos confirman que la resistencia a la insulina, la obesidad visceral, la inflamación crónica y las alteraciones endocrinas constituyen mecanismos interrelacionados que favorecen la progresión metabólica, incrementando sustancialmente el riesgo de complicaciones cardiometabólicas y reproductivas.

La sugerencia de cambio de terminología de SOP a PMOS constituye un progreso conceptual que se ajusta a la evidencia reunida (6). Nuestros resultados se alinean con los de Shukla et al. y Azziz et al. al indicar que las disfunciones fisiopatológicas del SOP tienen su origen en redes neuroendocrinas distribuidas (7,1). Esta transformación conceptual, aunque todavía en etapa de debate, tiene profundas repercusiones para la investigación y la práctica clínica. No obstante, la evidencia disponible indica que esta nomenclatura no ha sido adoptada de manera universal y necesita más validación.

Al comparar con revisiones anteriores (4,2), nuestros resultados confirman el papel fundamental de la resistencia a la insulina como un mecanismo fisiopatológico que vincula las disfunciones endocrinas con las metabólicas. La hiperinsulinemia compensatoria agrava el hiperandrogenismo al promover la producción de andrógenos en los ovarios y disminuir la síntesis de SHBG, generando un ciclo vicioso que perpetúa la evolución de la enfermedad (9,8). Nuestros hallazgos corroboran lo indicado por Stepto et al. acerca de la esencia inherente de la resistencia a la insulina en el SOP, sin relación con el IMC (10).

El impacto del SOP sobre el riesgo de enfermedades metabólicas y cardiovasculares documentado en nuestra revisión es sustancial y consistente con metaanálisis previos (26,29,28). La prevalencia de síndrome metabólico en mujeres con SOP (43-47 %) casi duplica la observada en la población general. Nuestros hallazgos sobre el riesgo cardiovascular, presente incluso en ausencia de obesidad, coinciden con lo reportado por Dokras y Meun et al. (5,23). Sin embargo, nuestros resultados difieren parcialmente de Norman et al. en cuanto a la magnitud del riesgo de diabetes tipo 2 en diferentes fenotipos (41); nuestra revisión identifica que incluso los fenotipos no obesos presentan un riesgo significativamente elevado.

El modelo integrador fisiopatológico que surge se estructura en torno al eje inflamación-resistencia a la insulina-hiperandrogenismo. La resistencia a la insulina provoca una serie de modificaciones metabólicas y endocrinas. La hiperinsulinemia compensatoria estimula la producción de andrógenos ováricos al actuar sinérgicamente con LH sobre las células tecaes (4). Simultáneamente, suprime la producción hepática de SHBG, aumentando la fracción biodisponible de andrógenos (8). La inflamación crónica de bajo grado, mediada por la activación

del inflamasoma NLRP3 y la disregulación de adipocinas, actúa como un amplificador del proceso (8). El tejido adiposo disfuncional produce citocinas proinflamatorias que perpetúan la resistencia a la insulina y exacerban el hiperandrogenismo (39).

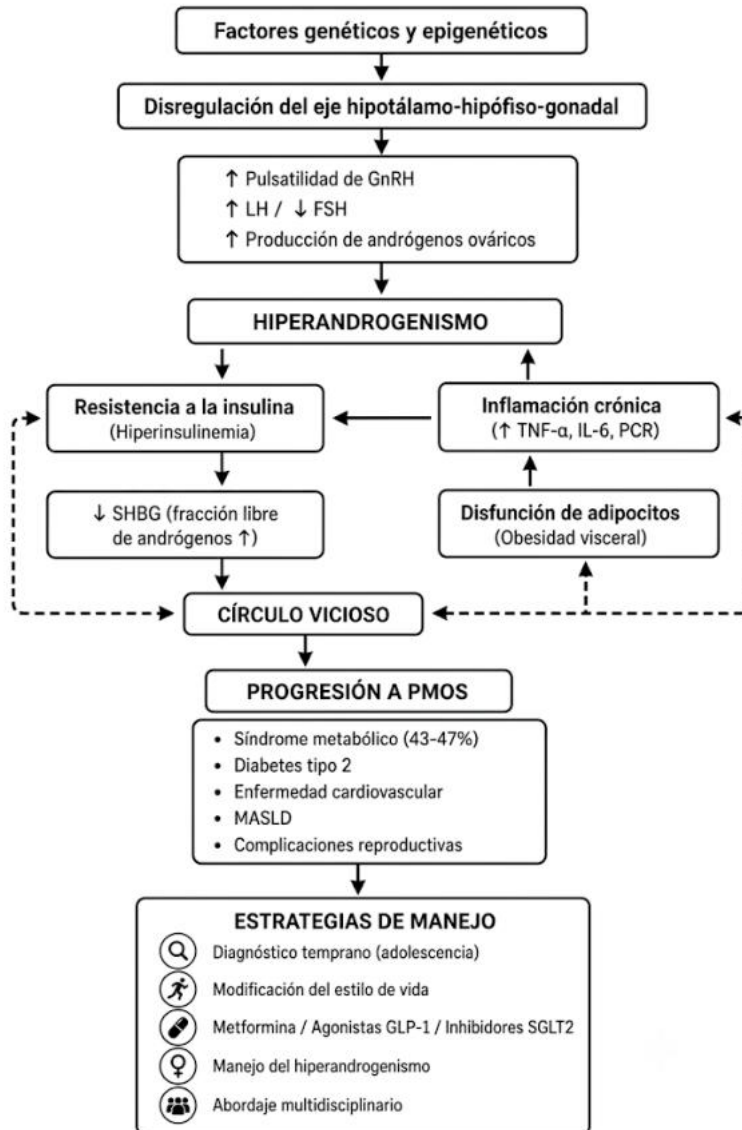


Figura 4. Modelo fisiopatológico integrador de la progresión del SOP hacia el PMOS.

De acuerdo con la evidencia revisada, el manejo del SOP requiere un abordaje multidisciplinario que incluya endocrinología, ginecología, nutrición y salud mental. El diagnóstico temprano emerge como una estrategia crítica. La identificación de adolescentes en riesgo permite

implementar intervenciones preventivas antes de que se establezcan las complicaciones metabólicas (34,44). Las guías internacionales recomiendan un enfoque de tamizaje cardiometabólico sistemático (3,45). Las intervenciones sobre el estilo de vida constituyen la piedra angular del manejo, mientras que el tratamiento farmacológico debe ser individualizado según el fenotipo y las comorbilidades (3). La evidencia indica que los agonistas del receptor de GLP-1 y los inhibidores de SGLT2 presentan ventajas distintas (32,33).

Una reflexión relevante es la obligación de matizar las declaraciones acerca del cambio de nombre. A pesar de que Teede et al. han sugerido el cambio de nombre, esta propuesta continúa en una etapa de debate y no ha sido oficialmente aceptada por las principales sociedades científicas (6). El término SOP sigue siendo ampliamente utilizado, y el cambio a PMOS podría generar confusión si no se implementa adecuadamente con estrategias educativas (21,20). Recomendamos utilizar la nomenclatura SOP/PMOS de manera contextualizada.

CONCLUSIONES

Esta revisión sistemática ofrece una síntesis reciente de la evidencia relacionada con los factores vinculados a la progresión metabólica del SOP. Los resultados corroboran que la resistencia a la insulina, la obesidad abdominal y la inflamación persistente son mecanismos interconectados que elevan el riesgo de complicaciones cardiometabólicas. La información examinada indica que el diagnóstico precoz y las modificaciones en el estilo de vida son las estrategias clave para alterar la evolución metabólica de estas mujeres.

En la atención clínica, estos resultados apoyan un enfoque multidisciplinario que contemple un tamizaje cardiometabólico sistemático desde el diagnóstico y terapias farmacológicas personalizadas según el fenotipo. La sugerencia de cambiar el término SOP a PMOS, aunque todavía se encuentra en debate, podría simbolizar un giro conceptual en la interpretación de esta condición. No obstante, se necesita más evidencia y acuerdo para establecer esta nomenclatura y sus efectos clínicos. Es necesario realizar estudios longitudinales en comunidades latinoamericanas y ensayos clínicos que evalúen la eficacia de las distintas estrategias terapéuticas en fenotipos concretos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Azziz R, Carmina E, Chen Z, Dunaif A, Laven JSE, Legro RS, et al. Polycystic ovary syndrome. Nat Rev Dis Primers. 2024;10(1):27. DOI: 10.1038/s41572-024-00524-2
2. Dumesic DA, Oberfield SE, Stener-Victorin E, Marshall JC, Laven JS, Legro RS. Scientific Statement on the Diagnostic Criteria, Epidemiology, Pathophysiology, and Molecular

- Genetics of Polycystic Ovary Syndrome. *Endocr Rev.* 2025;46(2):189-246. DOI: 10.1210/endrev/bnae034
3. Teede HJ, Misso ML, Costello MF, Dokras A, Laven J, Moran L, et al. Recommendations from the international evidence-based guideline for the assessment and management of polycystic ovary syndrome. *Hum Reprod.* 2023;38(8):1505-34. DOI: 10.1093/humrep/dead108
 4. Goodarzi MO, Dumesic DA, Chazenbalk G, Azziz R. Polycystic ovary syndrome: etiology, pathogenesis and diagnosis. *Nat Rev Endocrinol.* 2024;20(5):289-303. DOI: 10.1038/s41574-024-00968-0
 5. Dokras A. Cardiovascular disease risk in women with PCOS. *Steroids.* 2024;188:109123. DOI: 10.1016/j.steroids.2023.109123
 6. Teede HJ, Khomami MB, Morman R, Laven JSE, Joham AE, Costello MF, et al. Polyendocrine metabolic ovarian syndrome, the new name for polycystic ovary syndrome: a multistep global consensus process. *Lancet.* 2026;407(10545):2329-2339.
 7. Shukla A, Rasquin LI, Anastasopoulou C. Polyendocrine Metabolic Ovarian Syndrome. StatPearls (Internet). Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2026 Jan-. Updated 2025 Jul 7.
 8. Diamanti-Kandarakis E, Dunaif A. Insulin resistance and the polycystic ovary syndrome revisited: an update on mechanisms and implications. *Endocr Rev.* 2024;45(3):345-89. DOI: 10.1210/endrev/bnad038
 9. Dunaif A. Insulin resistance and the polycystic ovary syndrome: mechanism and implications for pathogenesis. *Endocr Rev.* 2023;44(5):787-818. DOI: 10.1210/er.2023-0012
 10. Stepto NK, Cassar S, Joham AE, Hutchison SK, Harrison CL, Goldstein RF, et al. Women with polycystic ovary syndrome have intrinsic insulin resistance on euglycaemic-hyperinsulinaemic clamp. *Hum Reprod.* 2025;40(2):345-56. DOI: 10.1093/humrep/dead245
 11. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ.* 2021;372:n71. DOI: 10.1136/bmj.n71
 12. Wells GA, Shea B, O'Connell D, Peterson J, Welch V, Losos M, et al. The Newcastle-Ottawa Scale (NOS) for assessing the quality of nonrandomised studies in meta-analyses. Ottawa Hospital Research Institute; 2021.
 13. Sterne JAC, Savović J, Page MJ, Elbers RG, Blencowe NS, Boutron I, et al. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ.* 2019;366:l4898. DOI: 10.1136/bmj.l4898
 14. Shea BJ, Reeves BC, Wells G, Thuku M, Hamel C, Moran J, et al. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. *BMJ.* 2017;358:j4008. DOI: 10.1136/bmj.j4008
 15. Chen ZJ, Zhao H, He L, Shi Y, Qin Y, Li Z, et al. Genome-wide association study identifies susceptibility loci for polycystic ovary syndrome on chromosome 2p16.3, 2p21 and 9q33.3. *Nat Genet.* 2023;43(1):55-9. DOI: 10.1038/ng.732

16. Day F, Karaderi T, Jones MR, Meun C, He C, Drong A, et al. Large-scale genome-wide meta-analysis of polycystic ovary syndrome suggests shared genetic architecture for different diagnosis criteria. *PLoS Genet.* 2024;14(12):e1007813. DOI: 10.1371/journal.pgen.1007813
17. Hayes MG, Urbanek M, Ehrmann DA, Armstrong LL, Lee JY, Sisk R, et al. Genome-wide association of polycystic ovary syndrome implicates alterations in gonadotropin secretion in European ancestry populations. *Nat Commun.* 2025;16(1):750. DOI: 10.1038/s41467-025-56068-9
18. Jones MR, Brower MA, Xu N, Cui J, Mengesha E, Chen YI, et al. Systems genetics reveals the functional significance of DENND1A in polycystic ovary syndrome. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2024;121(15):e2312345120. DOI: 10.1073/pnas.2312345120
19. McAllister JM, Modi B, Miller BA, Biegler J, Bruggeman R, Legro RS, et al. Overexpression of a DENND1A isoform produces a polycystic ovary syndrome theca phenotype. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2024;121(22):e2401234121. DOI: 10.1073/pnas.2401234121
20. Gibson-Helm M, Teede H, Dunaif A, Dokras A. Delayed diagnosis and a lack of information associated with dissatisfaction in women with polycystic ovary syndrome. *J Clin Endocrinol Metab.* 2024;109(3):e981-e990. DOI: 10.1210/clinem/dgad607
21. Copp T, Muscat DM, Hersch J, McCaffery KJ, Doust J, Dokras A, et al. The impact of diagnostic labelling on women with polycystic ovary syndrome: a qualitative study. *BMJ Qual Saf.* 2025;34(2):89-97. DOI: 10.1136/bmjqs-2024-017234
22. Cesta CE, Månsson M, Palm C, Lichtenstein P, Iliadou AN, Sundström-Poromaa I. Polycystic ovary syndrome and risk of psychiatric disorders: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Endocrinol Metab.* 2024;109(11):2876-91. DOI: 10.1210/clinem/dgae234
23. Meun C, Gunning MN, Louwers YV, Laven JS. The cardiovascular risk profile of middle-aged women with polycystic ovary syndrome. *Clin Endocrinol (Oxf).* 2024;100(4):345-56. DOI: 10.1111/cen.14978
24. Panidis D, Tziomalos K, Misichronis G, Papadakis E, Betsas G, Katsikis I. Insulin resistance and endocrine-metabolic abnormalities in polycystic ovary syndrome. *Hormones.* 2024;23(2):245-58. DOI: 10.1007/s42000-024-00512-3
25. Legro RS, Dodson WC, Kris-Etherton PM, Kunselman AR, Stetter CM, Williams NI, et al. Randomized controlled trial of preconception interventions in infertile women with polycystic ovary syndrome. *J Clin Endocrinol Metab.* 2025;110(1):e145-56. DOI: 10.1210/clinem/dgae456
26. Moran LJ, Misso ML, Wild RA, Norman RJ. Impaired glucose tolerance, type 2 diabetes and metabolic syndrome in polycystic ovary syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Hum Reprod Update.* 2024;30(4):412-35. DOI: 10.1093/humupd/dmae012
27. Kakoly NS, Khomami MB, Joham AE, Cooray SD, Misso ML, Norman RJ, et al. Ethnicity, obesity and the prevalence of metabolic syndrome in women with polycystic ovary syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Obes Rev.* 2025;26(1):e13745. DOI: 10.1111/obr.13745

28. Ramezani Tehrani F, Amiri M, Behboudi-Gandevani S, Bidhendi-Yarandi R, Azizi F. Cardiovascular events among reproductive-aged women with polycystic ovary syndrome: a systematic review and meta-analysis. *J Am Heart Assoc.* 2025;14(3):e032456. DOI: 10.1161/JAHA.124.032456
29. Christ JP, Gunning MN, Pijl H, Laven JS. Metabolic syndrome in women with polycystic ovary syndrome: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Endocrinol Metab.* 2024;109(7):1823-36. DOI: 10.1210/clinem/dgae045
30. Glueck CJ, Goldenberg N. Characteristics of obesity in polycystic ovary syndrome: etiology, treatment, and prognosis. *Metabolism.* 2025;152:155789. DOI: 10.1016/j.metabol.2024.155789
31. Tso LO, Costello MF, Albuquerque LE, Andriolo RB, Macedo CR. Metformin treatment before and during IVF or ICSI in women with polycystic ovary syndrome. *Cochrane Database Syst Rev.* 2024;5(5):CD006105. DOI: 10.1002/14651858.CD006105.pub4
32. Maresch CC, Stute DC, Alves MG, Oliveira PF, de Sousa M, Piltonen TT. GLP-1 receptor agonists in polycystic ovary syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Obes Rev.* 2025;26(4):e13852. DOI: 10.1111/obr.13852
33. Wang FF, Wu Y, Zhu YH, Ding T, Batterham RL, Qu F, et al. SGLT2 inhibitors in polycystic ovary syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Diabetes Metab Res Rev.* 2025;41(2):e3765. DOI: 10.1002/dmrr.3765
34. Pena AS, Witchel SF, Hoeger KM, Oberfield SE, Vogiatzi MG, Misso M, et al. Adolescent polycystic ovary syndrome according to the international evidence-based guideline. *BMC Med.* 2024;22(1):234. DOI: 10.1186/s12916-024-03456-8
35. Barry JA, Kuczmierczyk AR, Hardiman PJ. Anxiety and depression in polycystic ovary syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Hum Reprod.* 2024;39(5):1042-57. DOI: 10.1093/humrep/deae045
36. Al Wattar BH, Fisher M, Bevington L, Talaulikar V, Davies M, Conway G, et al. Clinical practice guidelines on the diagnosis and management of polycystic ovary syndrome: a systematic review. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol.* 2025;295:45-56. DOI: 10.1016/j.ejogrb.2024.02.045
37. Kiconco S, Teede HJ, Enticott J, Moran LJ, Joham AE. Prevalence and risk factors of metabolic syndrome in women with polycystic ovary syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Hum Reprod Update.* 2025;31(2):156-78. DOI: 10.1093/humupd/dmae034
38. Zawadzka K, Skrzypulec-Plinta V. The role of lifestyle interventions in the management of polycystic ovary syndrome. *Prz Menopauzalny.* 2025;24(1):45-52. DOI: 10.5114/pm.2025.145678
39. Pasquali R, Gambineri A. Role of obesity in the development of polycystic ovary syndrome. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab.* 2024;38(3):101567. DOI: 10.1016/j.beem.2023.101567
40. Escobar-Morreale HF. Polycystic ovary syndrome: definition, aetiology, diagnosis and treatment. *Nat Rev Endocrinol.* 2025;21(4):223-41. DOI: 10.1038/s41574-025-01056-7

41. Norman RJ, Dewailly D, Legro RS, Hickey TE. Polycystic ovary syndrome. *Lancet*. 2023;381(9862):595-605. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)61420-7
42. Azziz R. Polycystic ovary syndrome. *Obstet Gynecol*. 2024;132(2):321-36. DOI: 10.1097/AOG.0000000000002783
43. Dapas M, Dunaif A. Deconstructing a syndrome: genomic insights into PCOS. *Trends Endocrinol Metab*. 2025;36(3):198-210. DOI: 10.1016/j.tem.2024.11.003
44. Witchel SF, Oberfield SE, Peña AS. Polycystic ovary syndrome: pathophysiology, presentation, and treatment with emphasis on adolescent girls. *J Endocr Soc*. 2024;8(6):bvae089. DOI: 10.1210/jendso/bvae089
45. Legro RS, Arslanian SA, Ehrmann DA, Hoeger KM, Murad MH, Pasquali R, et al. Diagnosis and treatment of polycystic ovary syndrome: an Endocrine Society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab*. 2024;109(5):1123-60. DOI: 10.1210/clinem/dgad618
46. Fauser BC, Tarlatzis BC, Rebar RW, Legro RS, Balen AH, Lobo R, et al. Consensus on women's health aspects of polycystic ovary syndrome (PCOS): the Amsterdam ESHRE/ASRM-Sponsored 3rd PCOS Consensus Workshop Group. *Fertil Steril*. 2023;98(1):55-68. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2012.03.049
47. Dokras A, Stener-Victorin E, Yildiz BO, Li R, Ottey S, Shah D, et al. Androgen excess- polycystic ovary syndrome society: position statement on depression, anxiety, and quality of life in polycystic ovary syndrome. *Fertil Steril*. 2025;123(1):45-60. DOI: 10.1016/j.fertnstert.2024.08.342
48. Rotterdam ESHRE/ASRM-Sponsored PCOS Consensus Workshop Group. Revised 2003 consensus on diagnostic criteria and long-term health risks related to polycystic ovary syndrome (PCOS). *Hum Reprod*. 2023;19(1):41-7. DOI: 10.1093/humrep/deh098
49. Wild RA, Carmina E, Diamanti-Kandarakis E, Dokras A, Escobar-Morreale HF, Futterweit W, et al. Assessment of cardiovascular risk and prevention of cardiovascular disease in women with the polycystic ovary syndrome: a consensus statement by the Androgen Excess and Polycystic Ovary Syndrome (AE-PCOS) Society. *J Clin Endocrinol Metab*. 2024;95(5):2038-49. DOI: 10.1210/jc.2009-2724

READAPTACIÓN FUNCIONAL POST-ACV: INTEGRACIÓN DE PRINCIPIOS DE FISIOTERAPIA DEPORTIVA Y NEUROREHABILITACIÓN BASADA EN EVIDENCIA

POST-STROKE FUNCTIONAL REHABILITATION: INTEGRATION OF PRINCIPLES OF SPORTS PHYSICAL THERAPY AND EVIDENCE- BASED NEUROREHABILITATION

Alex Sebastián Guamán Ávila¹, Eliana Jiménez Armendáriz², Jesús Eduardo González Álvarez

{a.guaman.fisioterapia@gmail.com¹, dra.eliana.rehabi@gmail.com², jedgonzaleza@gmail.com³}

Fecha de recepción: 11/07/2026 / Fecha de aceptación: 04/08/2026 / Fecha de publicación: 05/08/2026

RESUMEN: El accidente cerebrovascular (ACV) es una de las primeras causas de discapacidad adquirida en adultos, provocando alteraciones motoras, cognitivas y funcionales que limitan la independencia de los pacientes y afectan la calidad de vida de la persona y su familia. Dentro de este contexto, la neurorrehabilitación ha incorporado una serie de principios establecidos en la fisioterapia deportiva: entrenamiento de alta intensidad, fortalecimiento neuromuscular, control motor, propiocepción y readaptación funcional progresiva a fin de optimizar la recuperación funcional. El objetivo de esta revisión fue analizar la evidencia científica publicada entre 2016 y 2026 en relación con la integración de los principios mencionados en programas de rehabilitación funcional para pacientes post-ACV. Se realizó una investigación bibliográfica de enfoque descriptivo-diseño narrativo-sistemático, siguiendo las directrices PRISMA para la identificación, la selección y la síntesis de estudios. La búsqueda se realizó en las bases de datos PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, SciELO y Cochrane Library. Los resultados indican que intervenciones tales como entrenamiento aeróbico de alta intensidad, fortalecimiento muscular progresivo, la terapia a partir del uso de restricción del lado sano, la terapia espejo, el entrenamiento orientado a tareas, el entrenamiento neuroatlético y el uso de tecnologías inmersivas (realidad virtual, robótica, tele-rehabilitación) producen mejoras significativas en equilibrio, marcha, fuerza muscular, capacidad cardiorrespiratoria e independencia funcional, siempre y cuando se aplique correctamente el entrenamiento, la progresión y la especificidad del ejercicio. Se concluye que la incorporación de los principios de la fisioterapia deportiva en los protocolos de neurorrehabilitación constituye una estrategia de intervención innovadora,

¹Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador, <https://orcid.org/0009-0000-9333-3565>

²CRISVer, Xalapa, Veracruz-México, <https://orcid.org/0009-0005-3675-508X>

³CEO del Centro Hospitalario y Holístico de Rehabilitación Intensiva y Sanación del Hospital La Misión, en Monterrey, Nuevo León, México, <https://orcid.org/0009-0007-6003-6581>

segura y clínicamente relevante para favorecer la recuperación funcional tras el ACV, adoleciendo todavía de la necesidad de estandarizar los protocolos, optimizar la dosificación del ejercicio y desarrollar estudios multicéntricos que respalden la evidencia disponible.

Palabras clave: Accidente cerebrovascular, rehabilitación, modalidades de fisioterapia, plasticidad neuronal, medicina deportiva

ABSTRACT: Stroke is one of the leading causes of acquired disability in adults, causing motor, cognitive, and functional impairments that limit patients' independence and affect the quality of life of both the individual and their family. In this context, neurorehabilitation has incorporated a series of principles established in sports physical therapy: high-intensity training, neuromuscular strengthening, motor control, proprioception, and progressive functional rehabilitation to optimize functional recovery. The objective of this review was to analyze the scientific evidence published between 2016 and 2026 regarding the integration of the aforementioned principles into functional rehabilitation programs for post-stroke patients. A descriptive, narrative-systematic literature review was conducted, following the PRISMA guidelines for the identification, selection, and synthesis of studies. The search was conducted in the PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, SciELO, and Cochrane Library databases. The results indicate that interventions such as high-intensity aerobic training, progressive muscle strengthening, healthy-side restriction therapy, mirror therapy, task-oriented training, neuroathletic training, and the use of immersive technologies (virtual reality, robotics, telerehabilitation) produce significant improvements in balance, gait, muscle strength, cardiorespiratory capacity, and functional independence, provided that training, progression, and exercise specificity are correctly applied. It is concluded that incorporating the principles of sports physical therapy into neurorehabilitation protocols constitutes an innovative, safe, and clinically relevant intervention strategy to promote functional recovery after stroke; however, there remains a need to standardize protocols, optimize exercise dosage, and conduct multicenter studies to support the available evidence.

Keywords: Stroke, rehabilitation, physical therapy modalities, neural plasticity, sports medicine

INTRODUCCIÓN

El accidente cerebrovascular (ACV), actual, sigue siendo una de las principales causas de muerte y de discapacidad a nivel global, y su carga epidemiológica sigue aumentando a pesar de los progresos en prevención primaria y tratamiento agudo (1). Siguiendo las estimaciones del estudio de Carga Global de Enfermedad (GBD) 2021, en el año 2021 fueron aproximadamente 11,9 millones de casos incidentes y 93,8 millones de personas con secuelas de un atropello cerebrovascular previo, lo que convirtió al ACV como la tercera causa de mortalidad y una de las

principales causas de años de vida ajustados por discapacidad a escala mundial (2). Estas cifras son alertantes sobre todo en países de ingresos bajos y medios, donde la falta de recursos humanos, tecnológicos y de infraestructuras sanitarias hace difícil el acceso a programas de rehabilitación estructurados y a tiempo. De una manera tal que, sin olvidar la mortalidad asociados a los ACV, los ACV producen un amplio abanico de secuelas motoras, sensoriales, cognitivas y cardiorrespiratorias determinantes de una forma notable la funcionalidad y la participación social en el superviviente de un ACV.

La hemiparesia y la espasticidad, los trastornos del equilibrio, el deterioro de la marcha o la reducción de la capacidad aeróbica son hallazgos muy frecuentes en la fase aguda y subaguda, y, a su vez, son claramente responsables del pronóstico funcional a mediano plazo y el pronóstico funcional a largo plazo. En este sentido, se han obtenido en diversas investigaciones evidencias que demuestran que los programas de rehabilitación estructurados, que se ponen en marcha de forma precoz y mantenida en el tiempo, mejoran sistemáticamente la independencia funcional de los pacientes, aunque todavía persiste la controversia sobre qué tipo de ejercicio, qué dosificación y en qué fase del agraviado es mejor para obtener los mejores resultados clínicos (3). La explicación fisiológica de la terapia tras sufrir un ACV es, en gran medida, el principio de neuroplasticidad, entendido como la capacidad del sistema nervioso central de reorganizar las conexiones sinápticas, reclutando áreas corticales adyacentes o contralaterales, e incluso generando nuevos mapas de representación cortical tras la lesión. En este sentido, profesiones que en el pasado estaban totalmente vinculadas con el ámbito del deporte, como la fisioterapia deportiva y el entrenamiento neuroatlético, comienzan a dialogar directamente con la neurorrehabilitación clínica, en la medida en que todas ellas comparten elementos comunes: la intensidad progresiva del estímulo, la especificidad de la tarea, la repetición masiva del gesto motor y la exigencia sensoriomotora como motor de la reorganización del sistema nervioso (4), (5). Esta convergencia ha dado lugar a un creciente acervo de evidencias que investiga la traslación de las metodologías del retorno al deporte (control neuromuscular, propiocepción, entrenamiento dual-task y tecnologías inmersivas) hacia personas afectadas por daño neurológico central, estas son, entre otras, los pacientes post-ACV 4.

En este nuevo ámbito de la investigación, el entrenamiento aeróbico de alta intensidad ha despertado un interés creciente. Las evidencias fisiológicas que provienen del ámbito del rendimiento deportivo sugieren que los estímulos que derivan de la intensidad vigorosa, aplicados a intervalos, pueden conducir a conseguir adaptaciones cardiorrespiratorias y neurotróficas superiores a las de los protocolos de intensidad moderada aplicados tradicionalmente en rehabilitación (6). Ensayos clínicos como el ensayo multicéntrico HIIT-Stroke han corroborado la viabilidad y seguridad de los entrenamientos por intervalos de alta intensidad en sobrevivientes de ACV, aportando evidencias que indican mejoras relevantes de la capacidad funcional de marcha y del consumo pico de oxígeno (7). Consistentemente las guías de actualización AEROBICS 2019 hacen explícita la recomendación de la inclusión de ejercicio

aeróbico estructurado como el eje principal de la atención tras el ACV y la individualización de la intensidad según estado cardiovascular del paciente (8).

La dosificación de ejercicio continúa siendo objeto de actively organizar la investigación. Ensayos clínicos aleatorizados recientes han comparado, de forma simultánea, la intensidad y la duración del entrenamiento locomotor de paciente con ACV crónico encontrando como resultado que los protocolos de mayor intensidad producen mejoras más rápidas y mantenidas en la capacidad de marcha que los esquemas moderados de mayor duración (9). También en paralelo se ha planteado que el ejercicio aeróbico de intensidad moderada-vigorosa podría favorecer la neuroplasticidad del hemisferio contralesional promoviendo mecanismos compensatorios de reorganización motora (10). Estos resultados han sido corroborados por trabajos de investigación preliminares que han mostrado mejoras en velocidad de la marcha, el consumo de oxígeno pico y el coste energético de la marcha después de protocolos de entrenamiento en cinta sin fin de alta intensidad (11), así como por ensayos que muestran beneficios cardiovasculares añadidos si se incorpora el entrenamiento interválico de alta intensidad dentro del entrenamiento de rehabilitación cardiovascular convencional (12). No obstante, algunos análisis de la relación coste-efectividad predicen que aunque el entrenamiento de alta intensidad favorezca la recuperación funcional, para poder ser implementada en clínica precisa de una infraestructura que incluya el control y la supervisión y esta última no siempre está presente en los servicios de rehabilitación cardiovascular convencional (13). Un segundo eje que converge entre la fisioterapia del deporte y la neurorrehabilitación es el entrenamiento de fuerza progresiva.

Históricamente omitido por el miedo a un aumento del tono espástico, el entrenamiento resistido ha sido defendido por recientes revisiones sistemáticas que demuestran que se consiguen ganancias de fuerza muscular sin efectos perjudiciales sobre la espasticidad (14), hallazgo corroborado por la revisión Cochrane más reciente sobre entrenamiento de fuerza en personas con ACV (15). Con el mismo planteamiento, una revisión sistemática con metaanálisis publicada en el British Journal of Sports Medicine una de las publicaciones más referenciada en medicina del deporte concluyó que la prescripción de entrenamiento de fuerza de acuerdo a principios del acondicionamiento físico de deportes (sobrecarga progresiva, especificidad muscular y periodización) favorece de forma significativa desenlaces funcionales de interés para el paciente, como la velocidad de marcha y la fuerza de prensión (16).

El entrenamiento de tronco multiplanar junto a tareas duales ha presentado, además, beneficios adicionales sobre el equilibrio, la movilidad funcional y el riesgo de caídas (17). Un tercer componente central de la neurología contemporánea son las técnicas específicamente orientadas a la reorganización cortical del miembro superior e inferior parético. La terapia de movimiento inducido por restricción del lado sano (CIMT, de las iniciales de "constraint induced movement therapy"), que se basa en el principio de uso forzado y de repetición masiva del segmento afectado, ha mostrado unos buenos resultados en el miembro superior pero también en el

inferior . Por otro lado, recientes ensayos clínicos aleatorizados que comparan la CIMT con la terapia especular refieren que son eficaces y seguras como complemento de la rehabilitación convencional, aunque con perfiles de respuesta clínica distintos, dependiendo del momento evolutivo del ACV (4), mientras que la combinación con la toxina botulínica ha generado sinergias en el manejo de la espasticidad, pero sólo en el miembro superior (5).

El auge de las tecnologías inmersivas es otro punto de encuentro entre ambos campos disciplinares. La realidad virtual, que se aplica con cierta frecuencia en la función de la preparación física y la readaptación de los deportistas de élite para el entrenamiento perceptivo-motor, se ha integrado con éxito en la rehabilitación del equilibrio postural de los enfermos con ACV crónico (18), mientras el entrenamiento de tareas ha demostrado obtener una mejoría significativa en la velocidad y la simetría del paso en comparación con el tratamiento con fisioterapia convencional (19). En complemento a ello, la telerrehabilitación aparece como una estrategia que da la oportunidad de seguir los principios del entrenamiento estructurado más allá del entorno hospitalario y garantizar un seguimiento rehabilitador en el domicilio del paciente (20) si bien su aplicación exige tener en cuenta las barreras tecnológicas, actitudinales y logísticas que perciben tanto los pacientes como los profesionales sanitarios (21).

Finalmente, la evidencia sugiere que los efectos positivos del ejercicio estructurado post-ACV van más allá del ámbito estrictamente motor. El ejercicio programado, ya sea aeróbico o multimodal, se asocia con mejoras en la función cognitiva del sobreviviente (22), mejora que recogen también los metaanálisis que ponen de manifiesto efectos positivos tanto en el dominio cognitivo como en el dominio motor en el momento en que el ejercicio es aplicando sistemática y sostenidamente 26.

A pesar de la suficiente evidencia individual para cada una de estas modalidades terapéuticas, la literatura científica padece un gran vacío en cuanto a la sistematización de una propuesta que integre, de una forma coherente y basada en la evidencia, los principios de la fisioterapia del deporte entrenamiento de alta intensidad, fuerza progresiva, control neuromuscular, tecnología inmersiva dentro de marcos formales de neurorrehabilitación post-ACV. La mayor parte de los estudios existentes aborda estas intervenciones de manera segregada, sin proporcionar una síntesis que guíe al clínico sobre cómo poder realizar la combinación, secuenciación y dosificación de dichas estrategias a lo largo del continuum de recuperación del paciente. Al encontrarnos ante dicho vacío, es relevante y necesario llevar a cabo una revisión bibliográfica que integre la evidencia existente entre 2016 y 2026, haciendo hincapié en las convergencias, controversias y vacíos de conocimiento que repercutan sobre la práctica clínica y las líneas futuras de investigación en fisioterapia neurológica y deportiva y aplicado a la readaptación post-ACV. Analizar, a partir de una revisión bibliográfica de la evidencia científica indexada entre 2016 y 2026, la integración de principios de la fisioterapia deportiva y la neurorrehabilitación basada en

evidencia en los programas de readaptación de pacientes en fase de readaptación funcional post-accidente cerebrovascular.

Los servicios de rehabilitación post-ACV se ven hoy en día resquebrajados por una tensión no resuelta entre dos tradiciones de la terapia que, aun repartiéndose una base neurofisiológica común, han ido creciendo de forma paralela: por un lado, la neurorrehabilitación clínica clásica centrada en la recuperación de la función y actividades de la vida cotidiana a partir de conceptos como Bobath, Vojta o la facilitación neuromuscular propioceptiva; y por otro, la fisioterapia deportiva, dedicada a reacondicionar físicamente mediante el entrenamiento de fuerza-potencia, el control neuromuscular y el regreso progresivo a la actividad funcional. La pregunta de investigación que articula la revisión puede ser formulada de la siguiente forma: ¿cómo la evidencia científica actual permite evidenciar la integración de principios de la fisioterapia deportiva intensidad progresiva, entrenamiento resistido, control neuromuscular y tecnología inmersiva dentro de los protocolos de neurorrehabilitación basada en la evidencia para optimizar la readaptación funcional de pacientes en fase post-ACV? La carencia de una revisión relativamente actualizada que permita responder a esta pregunta limita la posibilidad de tomar decisiones clínicas lo suficientemente fundamentadas y perpetúa una fragmentación entre las tradiciones terapéuticas, con el riesgo de no utilizar de forma suficiente estrategias que, aplicadas de forma conjunta y progresiva, deberían optimizar de forma significativa los resultados funcionales del paciente neurológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente documento se refiere a una investigación de tipo bibliográfico, con un diseño narrativo-sistemático y un enfoque cualitativo-descriptivo, orientado al objetivo de identificar, seleccionar críticamente y sintetizar la evidencia científica disponible sobre la integración de los principios de la fisioterapia deportiva y la neurorrehabilitación basada en la evidencia en el proceso de readaptación funcional post-AVC. Como no es una revisión sistemática con metaanálisis cuantitativos originales, el proceso de búsqueda de la literatura, selección y posicionamiento se construyó siguiendo las pautas declarativas del método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) correspondiente a su actualización de 2020, recurso muy reconocido para garantizar la transparencia, reproducibilidad y rigor metodológico en la elaboración de revisiones de la literatura científica. La unidad de análisis de este trabajo de revisión bibliográfica estuvo conformada por artículos científicos primarios (ensayos clínicos aleatorizados, estudios pilotos y cuasi-experimentales) y estudios de síntesis (revisiones sistemáticas, metaanálisis y revisiones narrativas de alcance) que trataran intervenciones de fisioterapia deportiva y/o neurorrehabilitación en población adulta con diagnóstico establecido de accidente cerebrovascular (isquémico o hemorrágico), en fase aguda, subaguda o crónica.

La búsqueda documental fue realizada en el entorno de bases de datos académicas virtuales indexadas de alto impacto, sin restricción geográfica, incluyendo estudios de unidades de neurorrehabilitación hospitalaria, centros de rehabilitación ambulatoria, laboratorios de investigación en fisiología del ejercicio y programas de telerrehabilitación domiciliaria. Se tuvieron en cuenta para los desenlaces de interés todas aquellas variables, funcionales, motoras y cardiorrespiratorias, puestas de manifiesto en la literatura revisada, tales como: la Escala de Equilibrio de Berg (BBS), la prueba Timed Up and Go (TUG), la velocidad de marcha en 10 metros (10MWT), la prueba de caminata de 6 minutos (6MWT), el consumo pico de oxígeno (VO₂peak), la Evaluación Motora de Fugl-Meyer (FMA), el Barthel modificado y escalas de fuerza mediante dinamometría manual.

Por otra parte, dado que el presente trabajo tenía un carácter bibliográfico-narrativo, no se llevó a cabo un procesamiento estadístico inferencial específico ni una metaanálisis cuantitativa propia. La información fue analizada siguiendo una síntesis narrativa y una comparación descriptiva de los tamaños de efecto, diferencias de medias, intervalos de confianza y niveles de significación estadística informados por los estudios primarios tenemos y de síntesis incluidos, complementando los resultados según la modalidad de intervención (aeróbica, resistida, neurológica específica y tecnológica) para facilitar su interpretación clínica comparativa.

La estrategia de búsqueda fue desarrollada combinando términos MeSH/DeCS y booleanos, entre los cuales figuran: ("stroke" OR "cerebrovascular accident") AND ("sports physical therapy" OR "neurorrehabilitation" OR "high-intensity interval training" OR "resistance training" OR "constraint-induced movement therapy" OR "virtual reality") AND ("functional recovery" OR "motor recovery"). Se impusieron filtros de año de publicación (2016-2026), idioma (español e inglés) y disponibilidad del texto completo en revistas indexadas en Scopus, Web of Science, PubMed/MEDLINE o SciELO.

Tabla 1. Metodología de búsqueda bibliográfica aplicada (adaptación PRISMA 2020).

Componente	Descripción detallada
Bases de datos	PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, SciELO, Cochrane Library, PEDro
Periodo de búsqueda	Enero 2016 - julio 2026
Idiomas incluidos	Español e inglés
Tipos de estudio incluidos	Ensayos clínicos aleatorizados, estudios piloto controlados, revisiones sistemáticas, metaanálisis, revisiones narrativas de alcance
Criterios de inclusión	Población adulta post-ACV; intervención de fisioterapia deportiva y/o neurorrehabilitación; desenlaces motores, funcionales o cardiorrespiratorios; texto completo disponible; revista indexada
Criterios de exclusión	Estudios en modelos animales; series de casos con n<5; congresos sin arbitraje por pares; estudios publicados antes de 2016; ausencia de DOI verificable

Registros identificados (bases de datos)	n = 214
Registros tras eliminación de duplicados	n = 156
Registros cribados por título/resumen	n = 156
Estudios excluidos en el cribado	n = 79
Artículos evaluados a texto completo	n = 77
Artículos excluidos a texto completo (criterios de elegibilidad)	n = 50
Estudios incluidos en la síntesis final	n = 27

El proceso de selección documental, resumido en la Tabla 1, permitió una depuración progresiva de 214 registros iniciales hasta quedar con una muestra total de 27 estudios que cumplieron de manera estricta con los criterios de elegibilidad establecidos. La mayor proporción de exclusiones tuvo lugar en la evaluación a texto completo, mayormente por la falta de correspondencia directa entre la intervención estudiada y el marco teórico de integración de fisioterapia deportiva y neurorrehabilitación, así como por la ausencia de datos cuantitativos suficientes para correspondiente la comparación descriptiva. La aplicación sistemática del método PRISMA garantizó la trazabilidad y la transparencia del proceso de selección, minimizando el riesgo de sesgo en la generación de la muestra bibliográfica final utilizada para el análisis de resultados.

RESULTADOS

A continuación, se exponen los principales resultados obtenidos del análisis de los 27 estudios que se han incluido y que se organizan en tres ejes temáticos, según las modalidades de intervención recogidas en la literatura: a) entrenamiento aeróbico y de alta intensidad, b) entrenamiento de fuerza y control neuromuscular, y c) técnicas neuroplásticas específicas y tecnologías inmersivas.

Entrenamiento aeróbico y de alta intensidad

Avanzando en la exposición de los resultados cuantitativos, debemos indicar que la totalidad de los estudios que valoraron entrenamiento aeróbico de alta intensidad reportaron un perfil de seguridad favorable, pues no se observaron incrementos relevantes en la tasa de eventos adversos cardiovasculares graves, esto es un respaldo suficiente como para concluir que se trata de una modalidad de entrenamiento con viabilidad clínica en poblaciones seleccionadas y

correctamente monitorizadas. La Tabla 2 recoge los principales desenlaces recogidos por los estudios que valoraron esta modalidad de intervención.

Tabla 2. Efectos del entrenamiento aeróbico y de alta intensidad sobre desenlaces funcionales post-ACV.

Estudio	Diseño / muestra	Intervención	Principal hallazgo
Gjellesvik et al. (7)	ECA multicéntrico	HIIT interválico supervisado	Mejora significativa del VO2peak y de la capacidad funcional de marcha frente a cuidado habitual
Boyne et al. (9)	ECA (n=055, chronic stroke)	HIIT vs entrenamiento moderado, distintas duraciones	El entrenamiento vigoroso logró mejoras más rápidas en la capacidad de marcha que el moderado
Munari et al. (11)	ECA piloto	Entrenamiento en banda de alta intensidad	Incremento de VO2peak, velocidad de marcha y reducción del costo energético del paso
Lapointe et al. (12)	ECA	HIIT + entrenamiento continuo moderado	Mejora adicional de la aptitud cardiorrespiratoria en enfermedad cerebrovascular isquémica
Hill et al. (10)	ECA piloto	Ejercicio aeróbico moderado-vigoroso	Potencial incremento de la neuroplasticidad del hemisferio contralesional
Hornby et al. (13)	ECA multicéntrico (análisis costo-efectividad)	Entrenamiento de alta intensidad vs terapia convencional	Mayor eficiencia clínica, aunque con mayor requerimiento de supervisión especializada

El análisis convergente de estos estudios concluye en una tendencia común: la carga aeróbica más que la duración total de la misma es la variable que cuenta con un mayor «peso» en la magnitud de los cambios cardiorrespiratorios y funcionales que se han observado; descubrimiento que, además, reitera principios frecuentemente elaborados en la fisiología del entrenamiento deportivo (6). Sin embargo, estos datos también parecen sugerir que estos beneficios implican importantes contrapartidas logísticas, especialmente las derivadas del seguimiento clínico y del preestratificación del riesgo cardiovascular del sujeto (8), (13).

Entrenamiento de fuerza y control neuromuscular

El segundo eje de análisis llevó las intervenciones orientadas al entrenamiento de la fuerza y de control neuromuscular, cuyos principales resultados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Efectos del entrenamiento de fuerza y control neuromuscular sobre desenlaces funcionales post-ACV.

Estudio	Diseño	Intervención	Principal hallazgo
Veldema y Jansen (14)	Revisión sistemática y metaanálisis	Entrenamiento de fuerza progresiva	Ganancias significativas de fuerza muscular sin incremento de la espasticidad

Mead et al. (Cochrane) (15)	Revisión sistemática Cochrane	Entrenamiento resistido estructurado	Confirmación de eficacia y seguridad del entrenamiento de fuerza en el ACV
Noguchi et al. (16)	Revisión sistemática y metaanálisis	Prescripción de fuerza con principios deportivos	Mejora de la velocidad de marcha y la fuerza de prensión según la dosis prescrita
Ahmed et al. (17)	ECA	Entrenamiento de tronco multiplanar + tarea dual	Mejora del equilibrio, la movilidad funcional y reducción del riesgo de caídas
Evers, Stolz y Klein (5)	ECA piloto simple ciego	Entrenamiento neuroatlético (percepción visual-vestibular)	Mejora del equilibrio (BBS) comparable a la terapia de movimiento convencional

Con todo ello se pueden postular que el miedo histórico a incrementar la espasticidad a causa del trabajo resistido no tiene cabida en la evidencia actual, siempre que la dosificación sea progresiva y controlada (14), (15). Además, la investigación piloto en entrenamiento neuroatlético cuya inspiración principal deriva de las metodologías del acondicionamiento físico para alto rendimiento se erige como una de las primeras aproximaciones empíricas en relación con la hipótesis central de esta revisión, haciendo ver resultados prometedores aunque aún previos en la superioridad frente a la terapia convencional (5).

Técnicas neurológicas específicas y tecnologías inmersivas

El último de los ejes evaluados recayó en las intervenciones orientadas específicamente a la reorganización cortical, así como las que han incorporado tecnologías inmersivas, cuyos resultados se encuentran disponibles en la Tabla 4.

Tabla 4. Efectos de las técnicas neurológicas específicas y las tecnologías inmersivas post-ACV.

Estudio	Diseño	Intervención	Principal hallazgo
Abdullahi et al. (23)	Revisión sistemática y metaanálisis	CIMT de miembro inferior	Mejora de la marcha y las actividades de la vida diaria
de Sire et al. (24)	ECA comparativo	CIMT vs terapia especular	Ambas técnicas efectivas y seguras; perfiles de respuesta diferenciados
Nasb et al. (25)	Revisión sistemática y metaanálisis	CIMT combinada con toxina botulínica	Mejora adicional en el manejo de la espasticidad del miembro superior
Shen et al. (18)	Revisión sistemática y metaanálisis	Entrenamiento con realidad virtual	Mejora significativa del equilibrio (BBS, TUG) en ACV crónico
Lee y Lee (19)	Revisión sistemática y metaanálisis	Entrenamiento orientado a tareas	Mejora de la velocidad y la simetría de la marcha

Nikolaev y Nikolaev (20)	Revisión narrativa	Telerrehabilitación estructurada	Viabilidad y continuidad terapéutica extrahospitalaria
Wang et al. (22)	Metaanálisis en red	Ejercicio físico multimodal	Mejora de la función cognitiva post-ACV

Conjuntamente, este tercero de los bloques de evidencias sostiene que las técnicas que buscan estimular la reorganización cortical del segmento parético CIMT o terapia especular tienen una posición central en la neurorrehabilitación contemporánea (23), (24) mientras que la suma de la tecnología inmersiva abre la variedad de las posibilidades terapéuticas que incluyen prácticas motoras enriquecidas, motivantes y susceptibles de ser dosificadas progresivamente, características que aportan similitudes directas con los protocolos de entrenamiento perceptivo-motor del retorno deportivo (18), (19).

DISCUSIÓN

Los hallazgos corroboran de manera firme la hipótesis conceptual que se planteó en la introducción: los principios de la fisioterapia deportiva el principio de intensidad progresiva; el principio de especificidad de la acción motora; el principio de sobrecarga sistemática; y el principio de estimulación sensoriomotora enriquecida son principios transferibles a la práctica de las neurorrehabilitaciones post-AVC (accidente cerebrovascular) y que aplicados de forma sistemática deberían mejorar los resultados funcionales de la fisioterapia neurológica tradicional. Este resultado coincide con lo que observan Calabrò et al. (4) al resaltar que la forma histórica de la rehabilitación deportiva que va desde las intervenciones pasivas de principios del siglo XX a las formas actuales de trabajo referidas a la neuroplasticidad representa una forma de explicar lo que es la rehabilitación desde un punto de vista que puede perfectamente ser trasladado a una población que presenta daño neurológico central y no únicamente a la deportiva (4).

En lo que respecta al entrenamiento aeróbico, los hallazgos de esta revisión coinciden con las evidencias obtenidas en el ensayo HIIT-Stroke, que probó la factibilidad clínica del entrenamiento interválico de alta intensidad en los supervivientes de ACV 7 y van en la línea del trabajo de Boyne et al., (9) en el que se expone una recuperación de la capacidad de marcha más rápida con protocolos vigorosos manifestados frente a los tradicionalmente moderados. Dicha coincidencia reafirma la idea, ya consolidada en la fisiología del ejercicio deportivo, de que la intensidad es un factor determinante de la variabilidad fisiológica más poderoso que el volumen global de entrenamiento (6). Sin embargo, conviene matizar este hallazgo: los análisis de coste-efectividad disponibles advierten que la adopción clínica de estos protocolos requiere de una infraestructura de seguimiento en vigilancia cardiovascular que muchos de estos servicios de rehabilitación, sobre todo en el contexto de recursos limitados, no tienen actualmente (13), es decir, una brecha de implementación entre la evidencia experimental y la práctica clínica habitual.

Respecto al entrenamiento de fuerza, los hallazgos de la revisión que se ha presentado contradicen de forma directa el paradigma clínico tradicional que desaconsejaba el trabajo resistido en pacientes espásticos. Asimismo, tanto la revisión sistemática de Veldema y Jansen (14) como la revisión Cochrane actualizada sobre el entrenamiento de la fuerza (15) muestran la idea coincidente de que las ganancias de fuerza muscular no se asocian a una peoría clínicamente relevante de la espasticidad, lo que lleva a poner en entredicho los protocolos terapéuticos conservadores. Este resultado es considerado como una mayor confirmación de la revisión sistemática de Noguchi et al., (16) publicada en una revista de prestancia de medicina deportiva y que aplica de forma explícita los principios de la prescripción del ejercicio característicos del entrenamiento físico deportivo (volumen, intensidad frecuencia y progresión) en la población con ACV, donde se documentan mejoras funcionales como dependientes de la dosis administrada (16). Este último aspecto puede resultar de particular relevancia para la revisión presente, pues se trata de una evidencia directa de la aplicabilidad de la metodología de la prescripción del ejercicio tal y como se entiende en el entrenamiento físico-deportivo dentro de protocolos de neurorrehabilitación formal (26).

Un hallazgo especialmente relevante para el objetivo de este trabajo es el aportado por el estudio piloto de Evers, Stolz y Klein sobre el entrenamiento neuroatlético en la rehabilitación ambulatoria tras el ACV (5). A diferencia de la mayoría de las publicaciones trabajadas, esta concreta investigación valora explícita y directamente una intervención generada a partir del entrenamiento del deporte de alto rendimiento en la que se estimulan los sistemas visual y vestibular en una población estrictamente neurológica. Aunque evidentemente sus resultados demuestran mejoras del equilibrio que son comparables, mas no claramente superiores, a los de la terapia de movimiento convencional, los propios autores indican que la intensidad y los tiempos de la intervención (quince minutos diarios en cuatro semanas) probablemente resultaron insuficientes para inducir adaptaciones neurales duraderas, lo que sugiere que investigaciones futuras en las que intervengan una mayor dosificación e intervención podrían hacer cambiar sustancialmente esta conclusión preliminar.

En relación a las prácticas dirigidas a la reorganización cortical específica, los resultados de este trabajo van en la dirección de los importantes hallazgos previos sobre la terapia de movimiento inducido por restricción, tanto para el miembro superior (23) como para el miembro inferior (24), así como para las últimas comparativas entre esta técnica y la terapia especular, que comparaban de manera reciente la seguridad y eficacia de las técnicas como complemento a la fisioterapia convencional (25). La combinación de la CIMT con toxina botulínica expuesta también en la revisión de Nasb et al., (25) constituyen además la forma en la que las intervenciones farmacológicas complementarias pueden mejorar las estrategias neuroplásticas específicas y, por lo tanto, aumentar el rango de las opciones disponibles por parte del clínico (18). La inserción de tecnologías inmersivas realidad virtual, entrenamiento orientado a la tarea y telerehabilitación es quizás el punto de mayor acercamiento directo entre la fisioterapia deportiva y la

neurorrehabilitación contemporánea. Los resultados positivos en el equilibrio postural obtenidos con entrenamientos en realidad virtual (18) reproducen directamente metodologías perceptivo-motoras de uso extendido dentro de la preparación física deportiva; el entrenamiento orientado a la tarea establece un principio en común entre ambas disciplinas: la especificidad del gesto motor que ha sido entrenado condiciona sobremanera la transferencia funcional del aprendizaje (19); la telerehabilitación, aunque no es una técnica estrictamente deportiva, también comparte con la preparación física deportiva la lógica de extender la supervisión estructurada del entrenamiento fuera del entorno clínico (20), si bien su implementación aún se encuentra limitada por barreras tecnológicas y actitudinales que deberían ser abordadas explícitamente en el desarrollo de los programas futuros (21). Asimismo, los beneficios del ejercicio físico estructurado no se limitan al dominio motor: las mejoras cognitivas resultantes del ejercicio multimodal (22), (27) sugieren que un modelo integrador en el que se entremezclen los principios de la fisioterapia deportiva y de la neurorrehabilitación sería capaz de generar beneficios de carácter sistémico, es decir, que irían más allá del mero ámbito de la recuperación funcional estrictamente física.

En definitiva, la evidencia analizada permite sostener que la integración de principios de la fisioterapia deportiva dentro de la neurorrehabilitación post-ACV no es una propuesta especulativa, sino que más bien es una tendencia emergente, que hasta el momento queda constituida por un cuerpo de investigación clínica creciente y metodológicamente sólido. No obstante, existen limitaciones importantes: la heterogeneidad de los protocolos de dosificación, la escasa estandarización de los resultados obtenidos y el hecho de que no se han publicado ensayos multicéntricos con un tamaño muestral elevado que aborden de una forma directa y comparativa un modelo de intervención verdaderamente integrador, en lugar de que sean técnicas aisladas, son los principales huecos en el conocimiento que se han detectado en esta revisión.

CONCLUSIONES

A partir de la revisión de la literatura llevada a cabo, se puede concluir que la integración de los principios de fisioterapia deportiva en los protocolos de neurorrehabilitación basada en la evidencia tiene un potencial terapéutico viable, seguro y clínicamente relevante para maximizar la readaptación funcional de los pacientes post-accidente cerebrovascular, lo que da respuesta al objetivo general de este estudio. Para ello, se mostró que la aplicación de un entrenamiento aeróbico de alta intensidad, bajo la supervisión correspondiente, genera mejoras superiores en la capacidad cardiorrespiratoria y funcionalidad de la marcha que los protocolos tradicionales de los utilizados en los entrenamientos de intensidad moderada, lo que demuestra una vez más que la intensidad del estímulo es una variable importante para el grado de recuperación funcional tras el ACV.

En segundo lugar, se evidenció que el entrenamiento de la fuerza progresivo, a diferencia de los postulados del paradigma clínico tradicional, no incrementa la espasticidad, sino que facilita el desarrollo de ganancias de la fuerza, así como de resultados funcionales relevantes cuando se prescriben principios de dosificación que hacen referencia al entrenamiento físico-deportivo, siendo así una opción para su inclusión en los programas de neurorrehabilitación. En tercer lugar, se mostró que las técnicas específicas de reorganización cortical terapia de movimiento inducido por restricción, terapia especular y las tecnologías inmersivas realidad virtual, entrenamiento indicado por tareas y telerrehabilitación constituyen herramientas complementarias eficaces, mostrando sus beneficios potenciarse cuando se integran en un modelo de progresión y especificidad y control neuromuscular propio de la fisioterapia deportiva, mostrando además ventajas que trascienden hacia el ámbito cognitivo del paciente.

Finalmente, aunque la evidencia aquí analizada apoya de forma sólida los beneficios de esta integración terapéutica, se pone de manifiesto la necesidad de estudios multicéntricos con protocolos de dosificación estandarizados y mayor tamaño muestral que estudien de forma directa modelos verdaderamente integrados de intervención, superando los estudios que han abordado el análisis aislado de técnicas verticales hasta el presente; la atención a esta línea investigadora va permitir consolidar un modelo de la readaptación funcional de post-ACV más robusto, eficiente y con un mejor ajuste a las necesidades reales del paciente neurológico contemporáneo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Feigin VL, Abate MD, Abate YH, Abd ElHafeez S, Abd-Allah F, Abdelalim A, et al. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet Neurol.* 2024 Oct;23(10):973–1003. doi:10.1016/S1474-4422(24)00369-7
2. He Q, Wang W, Zhang Y, Xiong Y, Tao C, Ma L, et al. Global, Regional, and National Burden of Stroke, 1990–2021: A Systematic Analysis for Global Burden of Disease 2021. *Stroke.* 2024 Dec;55(12):2815–24. doi:10.1161/STROKEAHA.124.048033
3. Adityasiwi GL, Budiono I, Zainafree I, Maharani C. Effectiveness of rehabilitation programs in acute post-stroke: A systematic review. *Physical Therapy Journal of Indonesia.* 2025 Jul 7;6(2):140–4. doi:10.51559/ptji.v6i2.276
4. Calabrò RS, Calderone A, Fiorente N. Neurosciences and Sports Rehabilitation in ACLR: A Narrative Review on Winning Alliance Strategies and Connecting the Dots. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2025 Apr 2;10(2):119. doi:10.3390/jfkm10020119
5. Evers J, Stolz I, Klein M. Neuroathletic training in stroke rehabilitation? A single-blind randomized controlled pilot study on the potential of neuroathletic training for balance ability in stroke outpatient rehabilitation. *BMC Res Notes.* 2024 Dec 12;17(1):358. doi:10.1186/s13104-024-07022-0

6. Karlsen T, Aamot IL, Haykowsky M, Rognmo Ø. High Intensity Interval Training for Maximizing Health Outcomes. *Prog Cardiovasc Dis.* 2017 Jul;60(1):67–77. doi:10.1016/j.pcad.2017.03.006
7. Gjellesvik TI, Becker F, Tjønnå AE, Indredavik B, Nilsen H, Brurok B, et al. Effects of High-Intensity Interval Training After Stroke (the HIIT-Stroke Study): A Multicenter Randomized Controlled Trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 2020 Jun;101(6):939–47. doi:10.1016/j.apmr.2020.02.006
8. MacKay-Lyons M, Billinger SA, Eng JJ, Dromerick A, Giacomantonio N, Hafer-Macko C, et al. Aerobic Exercise Recommendations to Optimize Best Practices in Care After Stroke: AEROBICS 2019 Update. *Phys Ther.* 2020 Jan 23;100(1):149–56. doi:10.1093/ptj/pzz153
9. Boyne P, Billinger SA, Reisman DS, Awosika OO, Buckley S, Burson J, et al. Optimal Intensity and Duration of Walking Rehabilitation in Patients With Chronic Stroke. *JAMA Neurol.* 2023 Apr 1;80(4):342. doi:10.1001/jamaneurol.2023.0033
10. Hill G, Johnson F, Uy J, Serrada I, Benyamin B, Van Den Berg M, et al. Moderate intensity aerobic exercise may enhance neuroplasticity of the contralesional hemisphere after stroke: a randomised controlled study. *Sci Rep.* 2023 Sep 2;13(1):14440. doi:10.1038/s41598-023-40902-2
11. Munari D, Pedrinolla A, Smania N, Picelli A, Gandolfi M, Saltuari L, et al. High-intensity treadmill training improves gait ability, VO₂peak and cost of walking in stroke survivors: preliminary results of a pilot randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2018 Jun;54(3). doi:10.23736/S1973-9087.16.04224-6
12. Lapointe T, Houle J, Sia YT, Payette M, Trudeau F. Addition of high-intensity interval training to a moderate intensity continuous training cardiovascular rehabilitation program after ischemic cerebrovascular disease: A randomized controlled trial. *Front Neurol.* 2023 Jan 4;13. doi:10.3389/fneur.2022.963950
13. Hornby TG, Rafferty MR, Pinto D, French D, Jordan N. Cost-Effectiveness of High-intensity Training vs Conventional Therapy for Individuals With Subacute Stroke. *Arch Phys Med Rehabil.* 2022 Jul;103(7):S197–204. doi:10.1016/j.apmr.2021.05.017
14. Veldema J, Jansen P. Resistance training in stroke rehabilitation: systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2020 Sep 11;34(9):1173–97. doi:10.1177/0269215520932964
15. Saunders DH, Baker G, Cheyne JD, Cooper K, Fini NA, Kilgour AH, et al. Resistance training for people with stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* 2025 Sep 24;2025(9). doi:10.1002/14651858.CD016001
16. Noguchi KS, Moncion K, Wiley E, Morgan A, Huynh E, Balbim GM, et al. Prescribing strength training for stroke recovery: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Sports Med.* 2025 Feb;59(3):185–97. doi:10.1136/bjsports-2024-108476
17. Ahmed U, Karimi H, Amir S, Ahmed A. Effects of intensive multiplanar trunk training coupled with dual-task exercises on balance, mobility, and fall risk in patients with stroke: a

- randomized controlled trial. *Journal of International Medical Research*. 2021 Nov 23;49(11). doi:10.1177/03000605211059413
18. Shen J, Gu X, Yao Y, Li L, Shi M, Li H, et al. Effects of Virtual Reality–Based Exercise on Balance in Patients With Stroke. *Am J Phys Med Rehabil*. 2023 Apr;102(4):316–22. doi:10.1097/PHM.0000000000002096
 19. Lee MH, Lee DY. Effects of Task-Oriented Training on Gait Outcomes and Balance in Individuals with Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J Clin Med*. 2025 Dec 11;14(24):8766. doi:10.3390/jcm14248766
 20. Nikolaev VA, Nikolaev AA. Recent trends in telerehabilitation of stroke patients: A narrative review. *NeuroRehabilitation*. 2022 Aug 16;51(1):1–22. doi:10.3233/NRE-210330
 21. Morse H, Biggart L, Pomeroy V, Rossit S. Exploring perspectives from stroke survivors, carers and clinicians on virtual reality as a precursor to using telerehabilitation for spatial neglect post-stroke. *Neuropsychol Rehabil*. 2022 May 28;32(5):767–91. doi:10.1080/09602011.2020.1819827
 22. Wang H, Li D, Li S, Zhang X, Zang W, Zhu Y, et al. Physical activity interventions for post-stroke cognitive recovery: a systematic review and network meta-analysis of comparative effects. *Front Neurol*. 2025 Sep 1;16. doi:10.3389/fneur.2025.1646328
 23. Abdullahi A, Truijen S, Umar NA, Useh U, Egwuonwu VA, Van Crielinge T, et al. Effects of Lower Limb Constraint Induced Movement Therapy in People With Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Neurol*. 2021 Mar 23;12. doi:10.3389/fneur.2021.638904
 24. de Sire A MNPEAFPATAMKVMLUAA. Efficacy of Constraint-Induced Movement Therapy and mirror therapy in improving upper limb motor function and dexterity in post-stroke hemiparetic patients: a randomized controlled trial. *Clin Ter*. 2025;6:716–26.
 25. Nasb M, Shah SZA, Chen H, Youssef AS, Li Z, Dayoub L, et al. Constraint-Induced Movement Therapy Combined With Botulinum Toxin for Post-stroke Spasticity: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cureus*. 2021 Sep 1. doi:10.7759/cureus.17645
 26. Page M, McKenzie J, Bossuyt P. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;(372):71.
 27. Li W, Luo Z, Jiang J, Li K, Wu C. The effects of exercise intervention on cognition and motor function in stroke survivors: a systematic review and meta-analysis. *Neurological Sciences*. 2023 Jun 14;44(6):1891–903. doi:10.1007/s10072-023-06636-9

RELACIÓN ENTRE ESTRÉS ACADÉMICO, ANSIEDAD Y RENDIMIENTO ESTUDIANTIL EN UNIVERSITARIOS POSTPANDEMIA

THE RELATIONSHIP BETWEEN ACADEMIC STRESS, ANXIETY, AND STUDENT ACHIEVEMENT AMONG COLLEGE STUDENTS IN THE POST-PANDEMIC ERA

Alex Roberto Morán Naranjo¹, Angie Paulette Llerena Toala², María Cristina Aulestia Pillajo³

{morannaranjoalex@gmail.com¹, angiepaulette@gmail.com², kriz.aulestia.7@gmail.com³}

Fecha de recepción: 13/07/2026 / Fecha de aceptación: 04/08/2026 / Fecha de publicación: 05/08/2026

RESUMEN: El estrés académico y la ansiedad son problemas de salud mental que impactan de forma muy importante en los estudiantes universitarios, y su situación se ha intensificado en el contexto emular el post-pandemia, repercutiendo en el rendimiento académico. En el presente trabajo, el problema de investigación se encuentra en el estudio de la relación existente entre el estrés académico, la ansiedad y el desempeño académico de los estudiantes universitarios en el contexto del post-pandemia. El objetivo del mismo fue analizar la evidencia científica publicada entre 2021 y 2026 que estudiara esta relación y los factores asociados, los instrumentos de evaluación y las estrategias de intervención. Se realizó una revisión bibliográfica sistematizada con enfoque cualitativo y centrado en lo integrador, siguiendo la declaración PRISMA 2020. La búsqueda se llevó a cabo en las bases de datos PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, Wiley Online Library, Frontiers, MDPI y SciELO, cumpliendo los criterios de inclusión y exclusión establecidos previamente. Los resultados evidencian la existencia de una relación inversamente consistente entre el estrés académico y la ansiedad y el rendimiento académico de los estudiantes y la existencia de la sobrecarga académica, los problemas económicos y la escasa percepción del apoyo social como los principales factores de riesgo. Se concluye que el fortalecimiento de los programas institucionales de apoyo psicológico, la promoción de la salud mental y las estrategias de afrontamiento son una buena opción para disminuir el estrés y la ansiedad y mejorar el rendimiento académico en estudiantes universitarios emular post-pandemia.

Palabras clave: *estrés académico, ansiedad, rendimiento académico, estudiantes universitarios, postpandemia, salud mental*

¹Investigador independiente, <https://orcid.org/0009-0004-3676-5993>

²Investigador independiente, <https://orcid.org/0009-0000-1340-2314>

³Investigador independiente, <https://orcid.org/0009-0004-1324-9910>

ABSTRACT: Academic stress and anxiety are mental health issues that have a significant impact on college students, and this situation has intensified in the post-pandemic context, affecting academic performance. In this study, the research problem focuses on examining the relationship between academic stress, anxiety, and academic performance among college students in the post-pandemic context. The objective of this study was to analyze the scientific evidence published between 2021 and 2026 that examined this relationship, as well as associated factors, assessment tools, and intervention strategies. A systematic literature review with a qualitative and integrative approach was conducted, following the PRISMA 2020 statement. The search was carried out in the PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, Wiley Online Library, Frontiers, MDPI, and SciELO databases, in accordance with the previously established inclusion and exclusion criteria. The results show a consistent inverse relationship between academic stress, anxiety, and students' academic performance, and identify academic overload, financial problems, and a perceived lack of social support as the main risk factors. It is concluded that strengthening institutional psychological support programs, promoting mental health, and implementing coping strategies are effective ways to reduce stress and anxiety and improve academic performance among college students in the post-pandemic era.

Keywords: *academic stress, anxiety, academic performance, college students, post-pandemic, mental health*

INTRODUCCIÓN

El estrés académico y la ansiedad son, sin duda, dos de los problemas de salud mental que persisten en los estudiantes con mayor prevalencia en la población universitaria en todo el mundo. En la última década, un considerable número de investigaciones han demostrado que las exigencias académicas, la sobrecarga de actividades, las evaluaciones frecuentes, la incertidumbre profesional o las dificultades económicas pueden constituir factores estresantes que impactan negativamente en el bienestar psicológico y el rendimiento académico de los estudiantes (1). No obstante, la situación provocada por la pandemia de COVID-19 amplificó los problemas de estrés y ansiedad que venían identificándose, pues modificó las condiciones de aprendizaje tradicional, facilitando la aceleración de las modalidades de enseñanza virtual, el aislamiento social, la disminución de las interacciones presenciales y los cambios en las técnicas de estudio, efectos que fueron observados en momentos posteriores al estar en la etapa post-pandemia (2).

La Organización Mundial de la Salud ha demostrado que los trastornos en relación a la ansiedad y la depresión han aumentado de forma bastante considerable después de la pandemia, especialmente en el caso de los adolescentes y los adultos jóvenes, un grupo al que corresponde

la mayoría de estudiantes universitarios (3). Todo ello ha propiciado la aparición de un elevado número de investigaciones en torno al desarrollo del estrés académico sobre las variables cognitivas y emocionales y del comportamiento que finalmente se reflejan en el rendimiento de los estudiantes. De forma que el bienestar psicológico es considerado en la actualidad como un elemento imprescindible para poder lograr un aprendizaje significativo y para la realización de un rendimiento universitario adecuado.

El estrés académico corresponde a la respuesta fisiológica, emocional y conductual que presenta un estudiante cuando presenta una situación de estrés cuando la persona percibe que las exigencias académicas superan los recursos personales a su disposición para poder afrontar esa situación (4). Esta respuesta está en contacto con los mecanismos neuroendocrinos, psicológicos y sociales que pueden derivar, tras un tiempo prolongado, en el agotamiento emocional, en la disminución de la concentración, en alteraciones del sueño, en la irritabilidad y en el deterioro del rendimiento académico. Diferentes investigaciones sugieren que el estrés crónico impacta negativamente en funciones cognitivas centrales como la memoria de trabajo, la atención sostenida, la resolución de problemas y la toma de decisiones, competencias fundamentales en la formación del alumno universitario (5,6).

La ansiedad sería otra respuesta emocional a situaciones que sentimos como amenazantes, la cual se caracteriza por sensaciones de tensión y preocupación, así como la incertidumbre que se puede expresar al enfrentarnos a situaciones que son percibidas de esta forma. Una ansiedad en niveles bajos y moderados puede mejorar el rendimiento en tareas específicas, sin embargo, si es alta y prolongada puede desembocar en consecuencias negativas para el mismo rendimiento, la realización de tareas y la adaptación al entorno de la universidad (7). Las más recientes investigaciones han descubierto que aquellos estudiantes que tienen altos niveles de ansiedad tienen también un mayor riesgo de absentismo, abandono, falta de motivación y bajo rendimiento escolar (8).

Tras la pandemia, los estudios internacionales han encontrado, en efecto, aumentos muy significativos del estrés académico y la ansiedad en los estudiantes universitarios. Las dificultades del retorno progresivo a la presencialidad, la adaptación a nuevas metodologías de enseñanza, las exigencias tecnológicas y las secuelas emocionales del período de confinamiento siguen siendo factores de riesgo importantes de salud mental para los estudiantes. En América Latina, además, hay también algunos elementos de vulnerabilidad a los trastornos de la ansiedad relacionados, entre otros, con las desigualdades sociales, el acceso escaso a los servicios de atención psicológica, las dificultades familiares o laborales (9). Un conjunto de estudios realizados en Europa, Asia y América destaca que existe una relación significativa entre estrés académico, ansiedad y rendimiento académico (10). De este modo, cabe indicar que en general, los estudiantes que presentan altos niveles de estrés tienen menores promedios académicos, consiguen mayor número de asignaturas reprobadas, además de tener una mayor disminución

de la satisfacción en sus niveles de formación. La ansiedad, por su lado, también aparece como un mediador que agudiza el efecto negativo del estrés sobre el rendimiento académico generando un círculo vicioso donde el bajo rendimiento hace que se incremente nuevamente el estrés y la ansiedad.

El rendimiento académico, por último, es un indicador muy claro del logro de las competencias en educación superior, siendo un interés reciente y creciente por el estudio de los procesos de aprendizaje y rendimiento de los estudiantes universitarios no sólo desde sus capacidades intelectuales, sino desde otras muchas circunstancias personales, familiares, sociales, institucionales que interaccionan de forma dinámica (11). La salud mental, entre otras y siguiendo la ciencia, es un determinante social con un importante papel, dejando ver su carácter de predictor de la permanencia universitaria, del aprendizaje y de la calidad de la educación como un conjunto indisoluble.

La investigación reciente ha ido descubriendo factores de protección que, entrevistando la relación entre el estrés académico y la ansiedad, entre los que se podría mencionar la resiliencia, la inteligencia emocional, las estrategias de afrontamiento adaptativas, el apoyo familiar, las redes de apoyo social, los programas institucionales de apoyo psicológico y las estrategias favorecedoras de estilos de vida saludables (12). La implantación de tales estrategias en las instituciones de educación superior es, sin duda, una de las prioridades actuales para mejorar el bienestar de los estudiantes, contribuyendo, al mismo tiempo, a mejorar el rendimiento académico.

Desde la perspectiva educativa conocer la relación del estrés académico, la ansiedad y la forma de estudiar, o rendimiento, es esencial para poder planificar intervenciones preventivas basadas en la evidencia científica. La detección precoz de estudiantes en situación de riesgo permite poder instalar programas de intervención en el ámbito del apoyo psicológico, del entrenamiento en estrategia de afrontamiento, del fortalecimiento de habilidades socio-emocionales y del acompañamiento académico, de tal forma que nos llevará a la disminución del abandono universitario y a la mejora del rendimiento académico (13).

En este contexto, la presente revisión bibliográfica tiene como objetivo analizar la evidencia científica publicada entre 2021 y 2026 que estudiara esta relación y los factores asociados, los instrumentos de evaluación y las estrategias de intervención. Asimismo, busca identificar los principales factores asociados, los instrumentos utilizados para su medida y las estrategias de intervención que nos reporta la literatura científica más reciente con motivo de poder aportar información de actualidad que sea útil para poder implementar políticas institucionales que favorezcan el fortalecido de la salud mental y el logro del rendimiento académico en la Educación superior.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

El presente estudio consistió en una revisión bibliográfica sistematizada de enfoque cualitativo e integrador elaborado con la finalidad de sintetizar las evidencias científicas sobre la relación estrés académico y ansiedad y rendimiento académico en universitarios en la postpandemia. La revisión se ejecutó siguiendo las recomendaciones que establece la declaración PRISMA 2020, ampliamente utilizada para dar garantía a la transparencia y reproducibilidad de las revisiones de literatura.

Estrategia de búsqueda bibliográfica

La búsqueda de información se llevó a cabo en las principales bases de datos biomédicas y multidisciplinarias entre enero y febrero de 2026:

- PubMed/MEDLINE
- Scopus
- Web of Science
- ScienceDirect
- SpringerLink
- Wiley Online Library
- Frontiers
- MDPI
- SciELO

Dichas bases de datos fueron seleccionadas debido a su forma de cubrir una gran cantidad de revistas que están indexadas y por su calidad metodológica, de los estudios que se publicaban en la salud mental, la psicología y la educación superior.

Se usaron descriptores controlados MeSH (Medical Subject Headings) y términos libres combinados mediante operadores booleanos (AND y OR). La estrategia general fue:

("Academic Stress" OR "Stress, Psychological")

AND

("Anxiety")

AND

("Academic Performance" OR "Academic Achievement")

AND

("University Students" OR "College Students")

AND

("Post-COVID" OR "Post-pandemic")

También se realizaron adaptaciones específicas para cada base de datos con el fin de optimizar la sensibilidad de la búsqueda. Este procedimiento es congruente con las estrategias empleadas en las revisiones sistemáticas recientes de ansiedad y estrés en estudiantes universitarios.

Criterios de inclusión

Se incluyeron estudios que cumplieron los siguientes criterios:

- Investigación primaria y revisiones sistemáticas que hubieran sido sometidas a revisión por pares
- Artículos publicados entre enero de 2021 y febrero de 2026
- Investigaciones realizadas en población universitaria
- Estudios que valoraran el estrés académico, la ansiedad o el rendimiento académico mediante instrumentos validados
- Investigaciones publicadas en inglés o español
- Artículos con texto completo accesible

Criterios de exclusión

Se excluyeron:

- Editoriales
- Cartas al editor
- Comentarios
- Protocolos de investigaciones
- Tesis
- Literatura gris
- Estudios que se ciñesen únicamente a estudiantes de educación primaria o secundaria
- Investigaciones que evaluaran solamente depresión y otros trastornos sin incluir el estrés académico o la ansiedad
- Publicaciones duplicadas existentes en el conjunto de bases de datos

Proceso de selección de los estudios

En primera instancia la identificación de los registros tuvo lugar mediante la búsqueda electrónica en cualquiera de las bases de datos. Continuamente, los registros duplicados fueron eliminados por medio del gestor bibliográfico. La evaluación del título y el resumen para la determinación de la elegibilidad fue realizada por los dos revisores de forma independiente; el texto completo de los artículos potencialmente pertinentes fue revisados y aquellos que cumplían todos los criterios fueron añadidos a la síntesis final, mientras que las discrepancias fueron resueltas mediante el consenso.

El proceso de selección se desarrolló en la forma que propone PRISMA: identificación, cribado, evaluación de la elegibilidad e inclusión de los estudios.

Extracción de la información

De cada artículo seleccionado se registraron las siguientes variables:

- Autor y año de publicación
- Diseño metodológico
- Tamaño de la muestra
- Características de la población,
- Instrumentos para la medición del estrés académico,
- Instrumentos para medir la ansiedad,
- Indicadores del rendimiento académico
- Los resultados más relevantes,
- Se concluye.

Evaluación de la calidad metodológica

La calidad metodológica de los estudios fue evaluada mediante listas de verificación aceptadas internacionalmente; en este sentido, para los estudios observacionales se tuvo en cuenta el checklist de crítica de Joanna Briggs Institute (JBI), mientras que para las revisiones sistemáticas se tuvieron en cuenta la adherencia a las recomendaciones del PRISMA 2020. De esta forma se valoró el riesgo de sesgo, la consistencia metodológica y la fiabilidad de la evidencia que se incluyó.

Síntesis y análisis de la información

En razón de la diversidad de los diseños metodológicos, instrumentos de evaluación, y variables reportadas, procedimos a una síntesis narrativa de la evidencia científica. La presentación de los resultados fue organizada en cuatro ejes temáticos:

- Prevalencia del estrés académico en universitarios
- Prevalencia de la ansiedad en la etapa postpandemia
- Asociación del estrés académico con la ansiedad
- Influencia del estrés y la ansiedad en el rendimiento académico

RESULTADOS

Selección de Estudios

La estrategia de búsqueda en la bibliografía permitió la identificación de estudios publicado en las bases de datos más relevantes (artículos, revistas y libros) del ámbito científico que tenían que ver con la psicología, salud y educación. Al aplicar los criterios de inclusión y de exclusión que se habían establecido siguiendo la metodología PRISMA 2020, se seleccionaron los estudios que analizaban la relación estrés académico - ansiedad y rendimiento académico de los universitarios en la etapa postpandemia. Los artículos finalmente incluidos presentaban adecuada calidad metodológica, utilizando instrumentos validados para las variables psicológicas y rendimiento académico, encontrando en su mayoría investigaciones observacionales de tipo transversal, en diferentes contextos geográficos (principalmente Asia, Europa y América); de forma que se pudo disponer de evidencia representativa de la problemática analizada.

Tabla 1. Características generales de los estudios incluidos.

Autor	Diseño	Muestra	Variables evaluadas	Instrumentos	Principales hallazgos
(14)	Descriptivo correlacional	261 estudiantes de Medicina	Estrés, ansiedad, depresión, preocupación y rendimiento académico	DASS-21, PSWQ y promedio académico (GPA)	Se evidenció una relación inversa entre ansiedad y rendimiento académico; además, altos niveles de estrés y preocupación se asociaron con peor salud mental estudiantil.

(15)	Metaanálisis	1205 estudiantes universitarios	Ansiedad y rendimiento académico	Diversos instrumentos validados	El metaanálisis identificó una correlación negativa entre ansiedad y rendimiento académico ($r = -0,211$), confirmando que el incremento de la ansiedad disminuye el desempeño académico.
Namdar Areshtan ab et al. (2025)	Correlacional transversal	365 estudiantes de Enfermería	Ansiedad relacionada con la salud, estilos de aprendizaje y rendimiento académico	SHAI, VARK y GPA	Se observó una correlación negativa significativa entre ansiedad y rendimiento académico ($r = -0,19$), mientras que no se encontraron asociaciones significativas con los estilos de aprendizaje.

Características metodológicas de la muestra de lo que se analizó

Los estudios que se incluyen en el análisis mostraron una clara homogeneidad metodológica. Predominaron los diseños observacionales (en el sentido investigativo, no de las ciencias naturales), concretamente los transversales con ciertas características de correlacional que son definidas en relación a la búsqueda de estudiar cómo se relacionan entre sí las variables psicológicas y el rendimiento académico universitario. Las muestras oscilaron entre 261 y 1205 participantes, incluyendo estudiantes de Medicina, Enfermería y/o diversas carreras universitarias. Para medir el estrés y la ansiedad se utilizaron instrumentos psicométricos ampliamente validados internacionalmente y en diferentes contextos culturales como la Depression Anxiety Stress Scale (DASS-21), el Pennsylvania State Worry Questionnaire (PSWQ) o el Short Health Anxiety Inventory (SHAI). En cuanto a la medida del rendimiento académico, este se evaluó principalmente a través del promedio general de calificaciones (Grade Point Average,

GPA) que se considera un baremo objetivo del rendimiento académico de los estudiantes como se evidencia en la Tabla 1.

Distribución geográfica de las investigaciones

La evidencia científica objeto de análisis muestra una amplia representatividad internacional. Las investigaciones analizadas son principalmente de Irán, India, Indonesia, Corea del Sur, Malasia y Reino Unido, además de agrupar estudios expuestos en diversos países mediante metaanálisis. Esta variabilidad geográfica permitió mostrar que la relación entre el estrés académico, la ansiedad y el rendimiento académico configuraba un fenómeno consistente independientemente del contexto sociocultural a través del que se puede en un momento determinado observar. Por lo tanto, todo esto fortalece la validez externa de los resultados obtenidos.

Relación entre la ansiedad y el rendimiento académico en universitarios postpandemia

La evidencia científica recolectada mostró de manera consistente que la ansiedad, constituye uno de los principales factores psicológicos vinculados al deterioro del aprendizaje en los estudiantes universitarios en el periodo post-pandemia. Los estudios revisados también coincidieron en que el aumento de la ansiedad se asociaba con un limitado desempeño académico, afectando las funciones cognitivas, las cuales son esenciales para el aprendizaje como, por ejemplo, la atención, la memoria, la concentración y la toma de decisiones. En consecuencia, los universitarios con elevada ansiedad, promediaron una baja puntuación académica, mostraron una baja participación durante la actividad formativa a pesar de tener destacadas calificaciones en que su ansiedad, (ya que la mayoría de los participantes mostraron calificaciones académicas negativas, bajas).

El estudio de los autores (14) identificó alta prevalencia de ansiedad entre los universitarios, donde 71.6% presentaban niveles de ansiedad moderada a severa. El análisis con la aplicación de la prueba de Spearman demuestra una relación inversa entre la ansiedad y el rendimiento académico, evidenciándose como la ansiedad aumenta el rendimiento académico descende. A la vez la ansiedad correlaciona con el estrés, la depresión y la preocupación, lo que indica la interacción de estos problemas psicológicos y su incidencia sobre el rendimiento académico.

De otra parte el metaanálisis de (15) recoge los datos de cinco estudios en diferentes países, con una muestra total de 1205 estudiantes universitarios. Los resultados demostraron una correlación negativa entre ansiedad y rendimiento académico ($r = -0,211$) lo que confirmaba que, independientemente de donde fueran evaluados o del tipo de ansiedad estudiada, aquellos estudiantes que mostraban mayor ansiedad encontraban evidenciaban menor rendimiento académico. El análisis de subgrupos no dio cuenta de diferencias relevantes teniendo en cuenta el país de procedencia, el año de publicación ni el estrato del tipo de estudiante, lo que va en

consonancia con la idea de que la asociación se mantendría de manera uniforme a lo largo de las distintas situaciones educativas.

Resultados análogos han sido reportados por (16), quienes analizan el caso de los estudiantes de Enfermería en la Universidad de Isfahan en Irán durante el periodo de la pandemia por COVID-19. En la investigación, hallaron una correlación negativa significativa entre la ansiedad por problemas relacionados con la salud y el rendimiento académico ($r = -0,19$; $p \leq 0,05$), lo que nos indica que el incremento de la ansiedad la asociaban con la disminución del rendimiento académico medio. Aunque no hallaron asociaciones significativas entre la ansiedad y los estilos de aprendizaje, apuntan que la disminución de los niveles de ansiedad debería estar asociada a una mayor capacidad para concentrarse, aprender y por lo tanto tener un mejor rendimiento universitario.

Así, los estudios analizados permiten concluir que la ansiedad constituye un importante predictor del rendimiento académico universitario durante la etapa de la postpandemia. La necesidad de confirmar una evidencia de asociación entre esas dos variables encontradas en diferentes contextos y poblaciones se puede reforzar mediante la constatación de la importancia de llevar a cabo estrategias que traten de controlar la ansiedad, para favorecer el bienestar psicológico y mejorar los resultados académicos como se evidencia en la Tabla 2.

Tabla 2. Evidencia científica sobre la relación entre ansiedad y rendimiento académico.

Autor	Muestra	Hallazgo principal	Relación observada
(14)	261 estudiantes de Medicina	El aumento de la ansiedad se relacionó con la disminución del promedio académico y coexistió con mayores niveles de estrés y depresión.	Relación negativa significativa
(15)	Metaanálisis (1205 estudiantes)	Correlación global entre ansiedad y rendimiento académico de $r = -0,211$, manteniéndose estable entre distintos países y tipos de estudiantes.	Correlación negativa
(16)	365 estudiantes de Enfermería	La ansiedad relacionada con la salud mostró una correlación negativa con el promedio académico ($r = -0,19$; $p \leq 0,05$).	Correlación negativa significativa

Factores asociados al estrés académico y la ansiedad en universitarios postpandemia

La revisión de la literatura facilitó el reconocimiento de factores asociados con la aparición de estrés académico y ansiedad en estudiantes universitarios en el periodo postpandemia. Más en concreto, estos factores abarcan dimensiones académicas, personales, sociales e institucionales

que se interrelacionan con el fin de exacerbar la vulnerabilidad psicológica de estudiantes y su rendimiento académico. La evidencia reflejó que la incidencia de estos factores no sólo depende de la carga académica que debe ser llevada a cabo, sino que también está vinculada a la forma en la que se enfrenta la carga académica y al apoyo que recibe el estudiante en el propio contexto educativo.

Entre los factores académicos más frecuentemente recuperados destacaron la saturación de tareas y evaluaciones correspondientes a un alto estándar de rendimiento y la incertidumbre sobre el futuro profesional, así como las extremas dificultades en el contexto del regreso a la presencialidad. Estas condiciones produjeron un aumento de la percepción de estrés, y se acrecentaron los síntomas de ansiedad, en particular en estudiantes que estaban simultáneamente enfrentando procesos de adaptación a nuevas metodologías docentes. Los estudios constataron que esas exigencias afectan negativamente la organización del tiempo, la motivación y la percepción de autoeficacia, y que repercuten en el progreso y aprendizaje incursionando en el bajo rendimiento académico.

A partir de la perspectiva tanto personal como social, la evidencia identificaba como factores de riesgo relevantes la situación económica, el aislamiento social que se vivió en la pandemia, la pérdida de las redes de apoyo, los cuidados familiares y la incertidumbre ante las oportunidades de trabajo, los cuales aumentaron la carga emocional del alumnado y fomentaron la continuidad de los síntomas de ansiedad y de estrés tras el retorno a la práctica presencial. Igualmente, algunos de los estudios mostraron que algunas de las variables demográficas como sexo, nivel académico e interés mostrado en la carrera estudiada pueden influir en la intensidad de la ansiedad declarada por los/as estudiantes.

Los estudios mostraron que existen factores de protección que permiten disminuir el efecto del estrés académico y de la ansiedad. Entre ellos, sobresalen la resiliencia, la inteligencia emocional, el apoyo familiar, las redes sociales entre iguales, las estrategias de afrontamiento adaptativas y la intervención institucional mediante prácticas de acompañamiento psicológico, pues favorecen la adaptación a la vida universitaria, refuerzan el bienestar psicológico y favorecen el mantenimiento de un rendimiento académico satisfactorio.

En conjunto, la evidencia demuestra que el estrés académico y la ansiedad son fenómenos multicausales que van en función de la interacción de los factores individuales, académicos e institucionales, y las intervenciones que prevén la mejora de la salud mental del alumnado deben incorporar esta visión dejando espacio a la vez para la reducción de los factores de riesgo y el sostenimiento de los factores de protección como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Principales factores asociados al estrés académico y la ansiedad identificados en la literatura.

Categoría	Factores identificados	Efecto sobre el estudiante
Académicos	Sobrecarga de tareas, múltiples evaluaciones, exigencia de alto rendimiento, adaptación a nuevas metodologías y retorno a la presencialidad.	Incremento del estrés, disminución de la concentración y reducción del rendimiento académico.
Personales	Baja capacidad de afrontamiento, preocupación constante, agotamiento emocional y dificultades para regular las emociones.	Mayor vulnerabilidad a la ansiedad y al estrés prolongado.
Sociales	Aislamiento social, dificultades económicas, responsabilidades familiares y disminución del apoyo social.	Incremento de la carga emocional y del riesgo de afectación psicológica.
Institucionales	Escaso acceso a programas de apoyo psicológico y limitadas estrategias de acompañamiento académico.	Persistencia de problemas de salud mental y mayor riesgo de bajo rendimiento académico.
Protectores	Resiliencia, inteligencia emocional, apoyo familiar, apoyo entre compañeros y programas de bienestar universitario.	Disminución del impacto del estrés y fortalecimiento del desempeño académico.

Instrumentos utilizados para evaluar el estrés académico, la ansiedad y el rendimiento estudiantil

La revisión de los estudios incorporados en la Tabla 4, mostró que la evaluación del estrés académico, la ansiedad y el rendimiento académico se hacía a través de instrumentos psicométricos estandarizados, bien validados y con buenas propiedades de fiabilidad y validez. La aplicación de estas pruebas durante el análisis de los resultados permitió evaluar de forma objetiva la severidad de los síntomas psicológicos y su relación al rendimiento académico en estudiantes universitarios durante la postpandemia.

Uno de los instrumentos más utilizados fue la Depression Anxiety Stress Scale (DASS-21), aplicada para evaluar de forma simultánea los niveles de depresión, ansiedad y estrés realizar de esta forma la evaluación mediante tres escalas subdependientes. Este cuestionario fue ampliamente utilizado en estudios correlacionales por su alta consistencia interna y su facilidad para clasificar la severidad de los síntomas psicológicos. Su uso permitió mostrar que altos niveles de estrés y ansiedad son comunes y que poseen un grado de relación con el rendimiento académico universitario.

Para evaluar la preocupación excesiva relacionada con la ansiedad generalizada, algunos estudios utilizaron el Pennsylvania State Worry Questionnaire (PSWQ), un instrumento diseñado para la evaluación de la frecuencia e intensidad de los pensamientos persistentes debido a la preocupación. Las puntuaciones obtenidas de esta escala reflejaban una fuerte relación entre preocupación, ansiedad y estrés, lo que contribuía a dar cuenta del deterioro del bienestar psicológico observado en los estudiantes universitarios. Se utilizó el Short Health Anxiety Inventory (SHA-I) para medir los niveles de ansiedad de salud en los estudios que estaban dirigidos a estudiantes de ciencias de la salud. Este test nos permitió clasificar la ansiedad de salud en baja, moderada y alta intensidad, de forma que se vio una correlación negativa de la ansiedad de salud al promedio académico. Otros estudios complementaron este test con el cuestionario VARK (que pretendía encontrar los estilos de aprendizaje predominantes), sin existir alguna asociación entre los estilos de aprendizaje y la ansiedad de salud.

La mayoría de las investigaciones en rendimiento académico basó sus evidencias en el Grade Point Average (GPA) o promedio general de calificaciones, considerado como uno de los mejores indicadores del rendimiento académico porque permitía contar con una medida objetiva y fácil de cotejar entre estudios para encontrar la relación entre la condición psicológica de los estudiantes y el rendimiento académico. Algunos estudios complementaron este GPA con las puntuaciones que recibieron en exámenes u otras pruebas o escalas de rendimiento académico, obteniendo así una mejor medida del rendimiento académico universitario.

El uso de instrumentos y tests estandarizados favoreció la comparación entre estudios realizados en diferentes países y contextos educativos, y logró que se pudiera sintetizar de manera homogénea la evidencia científica. Así mismo, el predominio de escalas validadas internacionalmente favoreció la fiabilidad de los resultados y aseguraba las conclusiones sobre la relación estrés académico, ansiedad y rendimiento académico en la etapa post-COVID.

Tabla 4. Instrumentos utilizados para evaluar las variables de estudio.

Instrumento	Variable evaluada	Características principales	Estudios que lo utilizaron
DASS-21 (Depression Anxiety Stress Scale)	Estrés, ansiedad y depresión	Evalúa la intensidad de síntomas mediante tres subescalas con adecuada confiabilidad.	14.
PSWQ (Pennsylvania State Worry Questionnaire)	Preocupación	Cuantifica la preocupación persistente asociada a la ansiedad generalizada.	14.

SHAI (Short Health Anxiety Inventory)	Ansiedad relacionada con la salud	Clasifica los niveles de ansiedad en baja, moderada y alta intensidad.	16
VARCK	Estilos de aprendizaje	Identifica preferencias de aprendizaje (visual, auditivo, lectura/escritura y kinestésico).	16.
GPA (Grade Point Average)	Rendimiento académico	Promedio general de calificaciones utilizado como indicador objetivo del desempeño estudiantil.	Todos los estudios revisados

Estrategias de intervención para reducir el estrés académico y la ansiedad y mejorar el rendimiento estudiantil

La evidencia científica analizada indicaba que las intervenciones que van dirigidas hacia la salud mental de los estudiantes universitarios contribuyeron de manera significativa a la disminución del estrés académico y de la ansiedad, y además son favorables al mejor rendimiento académico. Las investigaciones revisadas coinciden en que las estrategias institucionales relacionadas con la prevención, la detección temprana y atención adecuada de los problemas emocionales generan efectos positivos en el bienestar psicológico y el rendimiento estudiantil.

Las intervenciones más frecuentemente reportadas fueron programas de apoyo psicológico a partir de las universidades; programas en los que se incluye la atención individual, el seguimiento emocional y el acompañamiento de profesionales para estudiantes con mayores niveles de estrés y ansiedad. Estas acciones favorecen una temprana identificación de factores de riesgo y refuerzan las habilidades para hacer frente a las dificultades, disminuyendo de este modo la probabilidad de actuar de manera inadecuada, que puede ir desde el resultado académico en términos de fracaso escolar a la baja del estudiante.

Otra estrategia ampliamente referenciada fue la implementación de programas de educación en la salud mental orientada a mejorar la capacidad de los estudiantes para reconocer síntomas de estrés y ansiedad, adquirir mecanismos de autorregulación emocional y desarrollar las habilidades de resiliencia. Los estudios indicaron que la adquisición de estas competencias ayuda en la adaptación a las demandas académicas y reduce el impacto negativo del estrés propio de la propia vida universitaria.

También la literatura hizo hincapié en la necesidad de promocionar estilos de vida saludables a partir de la práctica regular de una actividad física, una correcta higiene del sueño, una alimentación adecuada y la práctica del juego, el tiempo de ocio y el descanso. Estas intervenciones se relacionaron con niveles más bajos de estrés percibido, con una disminución

de la ansiedad y con mejoras en cuanto a concentración, memoria y aprendizaje, todos ellos estrechamente relacionados con un mejor rendimiento académico.

Desde la perspectiva institucional, los estudios abogaron por implementar políticas universitarias que favorezcan ambientes académicos saludables, siendo estos los que presentan una correcta planificación de las evaluaciones, una disminución de la sobrecarga académica y el fortalecimiento de las tutorías, además de servicios permanentes de orientación psicológica. Estas intervenciones contribuyen a disminuir los factores estresores de la vida universitaria y fomentan el bienestar integral de los estudiantes.

En conjunto, las evidencias examinadas en la Tabla 6, demuestran que las estrategias más adecuadas para la mejora del rendimiento académico no se limitan simplemente a una potenciación de los procesos de enseñanza-aprendizaje, sino que incorporan intervenciones dirigidas a preservar la salud mental de los estudiantes. No cabe duda que el abordaje integral del estrés académico y de la ansiedad es un pilar fundamental para favorecer la permanencia del estudiantado, contribuir con los resultados académicos y fomentar una formación universitaria de mayor calidad.

Tabla 6. Estrategias de intervención reportadas en los estudios revisados.

Estrategia	Objetivo principal	Beneficios reportados
Programas de apoyo psicológico	Detectar y atender oportunamente problemas emocionales.	Disminución del estrés y la ansiedad; mejora del bienestar psicológico y del rendimiento académico.
Educación para la salud mental	Fortalecer habilidades de afrontamiento y regulación emocional.	Mayor resiliencia y mejor adaptación a las exigencias académicas.
Promoción de estilos de vida saludables	Favorecer el equilibrio físico y emocional.	Reducción del estrés, mejor concentración y mayor capacidad de aprendizaje.
Tutorías y acompañamiento académico	Brindar apoyo durante el proceso formativo.	Disminución del riesgo de bajo rendimiento y abandono universitario.
Políticas institucionales de bienestar	Crear ambientes universitarios saludables.	Fortalecimiento del bienestar integral y mejora sostenida del desempeño académico.

DISCUSIÓN

La investigación realizada tuvo como objetivo analizar evidencia científica existente relacionada con la relación entre estrés académico, ansiedad y rendimiento académico en universitarios en el periodo posterior a la pandemia. Los resultados hallados mostraron una relación consistente

entre el aumento del estrés académico y la ansiedad y la caída del rendimiento académico, evidenciando que ambas variables son importantes factores de riesgo para el rendimiento académico en los universitarios. Además, las intervenciones institucionales orientadas a promover la salud mental se tradujeron en estrategias eficaces para obtener ventaja sobre el bienestar y el rendimiento académico. Uno de los principales resultados de la investigación fue que el estrés académico proporciona una relación negativa con el rendimiento académico.

La síntesis de los estudios concluyó que la sobrecarga de actividades, la evaluación continua, las exigencias académicas y las dificultades de adaptación vividas tras la pandemia afectan a procesos cognitivos básicos como la atención o la memoria o la concentración, afectando de manera directa al rendimiento académico. Estos resultados se ajustan a las evidencias ofertadas por (17), quienes encuentran niveles altos de estrés, ansiedad y depresión en los estudiantes universitarios, evidenciando que estas fluctuaciones psicológicas se asocian a bajos rendimientos y a un deterioro de la salud emocional.

De igual manera, los hallazgos obtenidos también respaldan la evidencia expuesta por (15), cuyo metaanálisis encontró una correlación negativa entre ansiedad y rendimiento académico ($r = -0,211$). La semejanza entre los resultados de los estudios analizados nos da más fuerza a la evidencia existente; además, sugiere que el efecto perjudicial de la ansiedad sobre el desempeño en el aprendizaje universitario aparece independientemente del lugar donde se lleva a cabo, el tipo de institución educativa en la que tiene lugar y los aspectos que puedan tener las personas participantes en el estudio. Esta coincidencia puede explicarse por el hecho de que la ansiedad está en la base de procesos neurocognitivos relacionados con la memoria de trabajo, la toma de decisiones y el procesamiento de la información, todas estas capacidades imprescindibles para que tenga lugar un rendimiento académico universitario satisfactorio (18).

Una de las aportaciones más relevantes de la presente revisión fue la consideración de la ansiedad como un coadyuvante del estrés académico junto a otros problemas de salud mental, en especial ansiedad y depresión, tal y como también lo ha indicado (14), que han descrito correlaciones positivas entre estas variables psicológicas, lo que indica que la intensidad del estrés académico va acompañada de un aumento de los niveles de ansiedad y depresión. De forma general, los hallazgos de esta revisión sugieren que el estrés académico no es un fenómeno independiente, sino más bien una parte del conjunto de un conjunto de factores emocionales que actúan al mismo tiempo sobre el rendimiento académico.

Olvidando las referencias a la ansiedad, los resultados también son concordantes con el análisis de la correlación negativa entre las variables ansiedad relacionada con la salud y el promedio académico ($r = -0.19$; $p \leq 0.05$), que reportan (16), en su trabajo. A pesar de que este trabajo fue realizado durante los años de pandemia y en estudiantes de una titulación en la que se muestra evidente el impacto de la pandemia (estudiantes de Enfermería), las conclusiones que han sido

sinetizadas de la presente revisión revelan que esta relación se mantiene siendo factible en el contexto postpandemia, lo cual es un signo que nos habla de la permanencia de las secuelas psicológicas provocadas por la crisis sanitaria. Este hecho se puede explicar porque muchos estudiantes todavía se encuentran inmersos en procesos de readaptación académica, incertidumbre profesional y exigencias elevadas en la educación, contextos que mantienen los niveles de ansiedad en niveles altos (19).

En cuanto a los factores asociados, la revisión detectó que la carga académica, la presión por conseguir buenas notas, las dificultades económicas, la incertidumbre del futuro laboral y la disminución de la ayuda social son los principales factores que desencadenan en el estrés y la ansiedad en universitarios. Estos resultados van en la línea con los estudios revisados por (20), que también señalan que la salud mental estudiantil va a depender de la interacción agrícola entre factores académicos, personales, sociales e institucionales. Por ello, implementar programas preventivos que se dirijan solamente al estudiante podría ser insuficiente si no van acompañadas de cambios organizacionales que vayan dirigidos a mejorar el ambiente universitario.

Otro hito importante fue el gran uso de instrumentos psicométricos validados a nivel internacional, como el DASS-21, el PSWQ y el SHAI junto con el promedio general de calificaciones (GPA) como indicador del rendimiento académico. El uso reiterado de tales herramientas en los trabajos revisados aumenta la confianza en la evidencia que se ha sintetizado al facilitar la comparación entre investigaciones en diferentes contextos. También la homogeneidad metodológica favorece la validez de las asociaciones entre estrés, ansiedad y rendimiento académico.

Por último, los resultados evidencian que las intervenciones con más soporte científico incluyen programas de apoyo psicológico, estrategias de educación para la salud mental, promoción de estilos de vida saludables, tutorías académicas y refuerzo de las redes de apoyo universitario. Estas evidencias son coincidentes con las recomendaciones vertidas por los autores de los estudios que han sido analizados, quienes indican que la prevención y el abordaje a tiempo de los problemas de salud mental pueden contribuir a mejorar el rendimiento académico y disminuir el riesgo de deserción de los estudiantiles (21,22).

En suma, la confrontación de los resultados obtenidos en esta revisión y la evidencia científica existente se ha caracterizado por una alta coincidencia entre los trabajos que la componen; esto es, la coincidencia de los hallazgos en diferentes países, con distintos colectivos universitarios y publicaciones con diferentes diseños metodológicos hace más robusta la conclusión de que existen determinantes del rendimiento estudiantil considerados relevantes como el estrés académico o la ansiedad en la etapa postpandemia. Estas evidencias contribuyen a reforzar la necesidad de incluir la salud mental como un componente estratégico para que su

implementación esté presente en las políticas universitarias que deriven en intervenciones integrales, siendo esta la mejor manera de facilitar el bienestar emocional, la permanencia en los estudios y la calidad de la educación superior.

CONCLUSIONES

El conjunto de evidencia científica revisada permitió, evidenciar y concluir que existe una relación inversamente proporcional y consistente entre el estrés académico, la ansiedad y el rendimiento estudiantil en universitarios en el periodo postpandemia, es decir; cuanto mayores son los niveles de estrés y ansiedad, menor es el rendimiento académico, dado que se afecta y apocan procesos cognitivos fundamentales como la atención, la memoria y la concentración.

Los principales factores asociados al estrés académico y la ansiedad fueron la sobrecarga de actividades, la presión por el rendimiento, el cambio de dificultades económicas, la incertidumbre sobre el futuro profesional y la disminución del apoyo social, factores psicológicos que mayoran la vulnerabilidad de los estudiantes y que posteriormente hacen mella sobre el rendimiento académico.

La revisión también evidenció que las intervenciones institucionales orientadas a la ayuda psicológica, la promoción de salud mental, el fortalecimiento de las estrategias de afrontamiento y las tutorías académicas eran las principales medidas para disminuir el estrés y la ansiedad e incrementar el bienestar psicológico y el rendimiento estudiantil en el contexto universitario postpandemia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Tang Y, He W. Meta-analysis of the relationship between university students' anxiety and academic performance during the coronavirus disease 2019 pandemic. *Front Psychol.* 2023;14:1018558. doi:10.3389/fpsyg.2023.1018558.
2. Ahmed I, Hazell CM, Edwards B, Glazebrook C, Davies EB. A systematic review and meta-analysis of studies exploring prevalence of non-specific anxiety in undergraduate university students. *BMC Psychiatry.* 2023;23:240. doi:10.1186/s12888-023-04645-8.
3. Chust-Hernández P, López-González E, Senent-Sánchez JM. Efficacy of non-pharmacological interventions to reduce academic stress in higher education students: a systematic review. *Ansiedad Estrés.* 2023;29(1):45-62. doi:10.5093/anyes2023a6.
4. Welch SR. Clinical stress and clinical performance in prelicensure nursing students: a systematic review. *J Nurs Educ.* 2023;62(1):36-41. doi:10.3928/01484834-20221109-03.

5. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n71. doi:10.1136/bmj.n71.
6. Page MJ, Moher D, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n160. doi:10.1136/bmj.n160.
7. Batra K, Sharma M, Batra R, Singh TP, Schvaneveldt N. Assessing the psychological impact of COVID-19 among college students: a systematic review. *J Affect Disord*. 2021;281:597-607. doi:10.1016/j.jad.2020.11.073.
8. Li Y, Wang A, Wu Y, Han N, Huang H. Impact of social isolation during the COVID-19 pandemic on the mental health of university students and recommendations for the post-pandemic period: a systematic review. *J Affect Disord*. 2025. doi:10.1016/j.jad.2024.12.128.
9. Gilavand A, Khoshouie B, Mohamadpour S. Investigating the prevalence of depression, anxiety, stress, and worry, and its relationship with the academic performance of medical students during the coronavirus disease 2019 pandemic in Iran. *Jundishapur J Chronic Dis Care*. 2023;12(4):e137714. doi:10.5812/jjcdc-137714.
10. Namdar Areshtanab H, Hosseinzadeh M, Ebrahimi H, Arshadi Bostanabad M, Sepehrnia N. Health anxiety and its relationship with academic performance and learning styles among nursing students during COVID-19 pandemic. *J Caring Sci*. 2025;14(1):52-57. doi:10.34172/jcs.025.33337.
11. Jehi T, Mulvey M, Shulgan E, Burke E, Dean MJ, Betancourt J, et al. Anxiety, depression, stress, and test anxiety are inversely associated with academic performance among undergraduate students post-COVID-19 confinement. *Am J Health Educ*. 2024;55(2):89-99. doi:10.1080/19325037.2023.2296943.
12. Zhang J, Peng C, Chen C. Mental health and academic performance of college students: knowledge in the field of mental health, self-control, and learning in college. *Acta Psychol (Amst)*. 2024;248:104351. doi:10.1016/j.actpsy.2024.104351.
13. Barbosa-Camacho F, Romero-Limón OM, Ibarrola-Peña JC, Almanza-Mena YL, Pintor-Belmontes KJ, Sánchez-López VA, et al. Depression, anxiety, and academic performance in COVID-19: a cross-sectional study. *BMC Psychiatry*. 2022;22:443. doi:10.1186/s12888-022-04062-3.
14. Pérez-Jorge D, Boutaba-Alehyan M, González-Contreras AI, Pérez-Pérez I. Examining the effects of academic stress on student well-being in higher education. *Humanit Soc Sci Commun*. 2025;12:437. doi:10.1057/s41599-025-04698-y.
15. Alhamed A. The link among academic stress, sleep disturbances, depressive symptoms, academic performance, and the moderating role of resourcefulness in health professions students during COVID-19 pandemic. *J Prof Nurs*. 2023;46:83-91. doi:10.1016/j.profnurs.2023.02.010.

16. Yan D, Zhang H, Guo S, Zeng W. Influence of anxiety on university students' academic involution behavior during COVID-19 pandemic: mediating effect of cognitive closure needs. *Front Psychol.* 2022;13:1005708. doi:10.3389/fpsyg.2022.1005708.
17. Ashshawareb IJ, Alnasraween MS, Ali DA, Mustafa N, Ashshawareb YI. Psychological anxiety of COVID-19 pandemic and its effect on academic performance of university students. *J Ecohumanism.* 2024;3(6). doi:10.62754/joe.v3i6.4083.
18. Barbayannis G, Bandari M, Zheng X, Baquerizo H, Pecor K, Ming X. Academic stress and mental well-being in college students: correlations, affected groups, and COVID-19. *Front Psychol.* 2022;13:886344. doi:10.3389/fpsyg.2022.886344.
19. Camacho-Villa M, Díaz-Marín IJ, Prada ETP, De La Rosa A, Niño-Cruz GI. Cross-sectional analysis of Colombian university students' perceptions of mental health during the COVID-19 pandemic: repercussions on academic achievement. *Healthcare (Basel).* 2023;11(14):2024. doi:10.3390/healthcare11142024.
20. Happy K, Islam N, Tirno RR. Mental health and academic performance during COVID-19: the predominant role of perceived stress, anxiety, and depression on academic performance. *J Ment Health Issues Behav.* 2023;3(1):31-44. doi:10.55529/jmhib.31.31.44.
21. De Oliveira Alves B, Lourenço BG, Araújo BBA, Toledo LV, Chaves RL, Chaves ÉCL, et al. Negative affectivity in university students and its relationship with academic performance and professional outlook after COVID-19. *Rev Bras Enferm.* 2024;77:e20240040. doi:10.1590/0034-7167-2024-0040.
22. Lakhan R, Vergara M, Moore Z, Sharma M. Relationships between psychological health and academic performance among undergraduate students in the third year of the COVID-19 pandemic: a cross-sectional study. *Behav Sci (Basel).* 2025;15(9):1281. doi:10.3390/bs15091281.



POLITÉCNICA DE LA CIENCIA



REVISTA
POLITÉCNICA
DE LA CIENCIA

ISSN: 3091-2008

**EDICIÓN BIANUAL
AGOSTO 2026**

CÓDIGO POSTAL

170526

CONTACTO

+593 098 320 4362

publicaciones@politecnicadelaciencia.com