



Recibido: 2026-05-02

Aceptado: 2026-05-22

Publicado: 2026-06-16

Nucleólisis percutánea en la hernia discal lumbar: evolución histórica, fundamentos fisiopatológicos, indicaciones y resultados clínicos

Percutaneous nucleolysis in lumbar disc herniation: historical evolution, pathophysiological foundations, indications and clinical results

Autores

Jimmy Fernando Yaguana Torres¹

<https://orcid.org/0000-0003-2743-5605>

jimmy.yaguana@yahoo.com

**Universidad Católica Santiago de
Guayaquil, Clínica Sur Hospital**

Guayaquil – Ecuador

Jimmy Fabricio Achi Arteaga²

jimmyachi@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-4625-8839>

Incarvasc - Clínica Dr. Trino Andrade

Guayaquil – Ecuador

Vivian Suleika Valarezo Bravo³

<https://orcid.org/0009-0009-5125-4725>

vivian.valarezo@cu.ucsg.edu.ec

**Universidad Católica Santiago de
Guayaquil, Clínica Sur Hospital**

Guayaquil – Ecuador

Yiliam Ahylie Rojas Hidalgo⁴

<https://orcid.org/0009-0001-5951-8029>

yiliam.rojas@cu.ucsg.edu.ec

**Universidad Católica Santiago de
Guayaquil, Clínica Sur Hospital**

Guayaquil – Ecuador

Irene Diana León Valdiviezo⁵

<https://orcid.org/0009-0000-4919-2806>

irene.leon@cu.ucsg.edu.ec

Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Clínica Sur Hospital

Guayaquil – Ecuador



Resumen

La hernia discal lumbar constituye una de las principales causas de dolor lumbar y radiculopatía en la población adulta, generando un importante impacto funcional y socioeconómico, en este contexto, la nucleólisis percutánea ha surgido como una alternativa mínimamente invasiva orientada a reducir la presión intradiscal y aliviar la compresión radicular mediante diferentes mecanismos físicos o químicos. El objetivo de la presente revisión bibliográfica fue analizar la evolución histórica de la nucleólisis percutánea, sus fundamentos fisiopatológicos, indicaciones clínicas, resultados terapéuticos y papel actual dentro del tratamiento de la hernia discal lumbar. Se realizó una revisión narrativa de la literatura mediante la consulta de bases de datos científicas internacionales, incluyendo PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect y Google Scholar, se incluyeron estudios relacionados con quimionucleólisis, nucleoplastia por radiofrecuencia, descompresión discal percutánea mecánica, descompresión por láser y técnicas modernas con etanol gelificado. Los resultados evidencian que estas modalidades terapéuticas ofrecen mejorías significativas en dolor y funcionalidad cuando se aplican en pacientes adecuadamente seleccionados, especialmente en casos de hernias discales contenidas y refractarias al tratamiento conservado; presentan una baja incidencia de complicaciones y tiempos de recuperación más cortos en comparación con procedimientos quirúrgicos convencionales. Se concluye que la nucleólisis percutánea constituye una alternativa terapéutica eficaz y segura dentro del manejo mínimamente invasivo de la hernia discal lumbar, aunque se requieren estudios prospectivos adicionales para optimizar los criterios de selección y fortalecer la evidencia disponible.

Palabras clave: nucleólisis percutánea, hernia discal lumbar, nucleoplastia, quimionucleólisis, descompresión discal.

Abstract

Lumbar disc herniation is one of the leading causes of low back pain and radiculopathy in adults, resulting in substantial functional impairment and socioeconomic burden. In this context, percutaneous nucleolysis has emerged as a minimally invasive therapeutic alternative aimed at reducing intradiscal pressure and relieving nerve root compression through different physical and chemical mechanisms. The objective of this literature review was to analyze the historical evolution of percutaneous nucleolysis, its pathophysiological basis, clinical indications, therapeutic outcomes, and current role in the management of lumbar disc herniation. A narrative review was conducted using international scientific databases, including PubMed, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and Google Scholar. Studies addressing chemonucleolysis, radiofrequency nucleoplasty, mechanical percutaneous disc decompression, laser disc decompression, and modern gelified ethanol techniques were included. The findings indicate that these minimally invasive procedures provide significant improvements in pain relief and functional recovery when applied to appropriately selected patients, particularly those with contained lumbar disc herniations refractory to conservative treatment. In addition, they are associated with low complication rates and shorter recovery times compared with conventional surgical procedures. It is concluded that percutaneous nucleolysis represents a safe and effective therapeutic option within the minimally invasive management of lumbar disc herniation; however, further prospective studies are required to optimize patient selection criteria and strengthen the available scientific evidence.

Keywords: percutaneous nucleolysis, lumbar disc herniation, nucleoplasty, chemonucleolysis, disc decompression.

Introducción

La hernia discal lumbar constituye una de las principales causas de lumbalgia y radiculopatía en la población adulta, representando un importante problema de salud pública debido a su elevada prevalencia, impacto funcional y repercusión socioeconómica, se estima que entre el 60% y el 80% de las personas experimentarán dolor lumbar en algún momento de su vida, siendo la degeneración discal uno de los factores etiológicos más frecuentemente implicados; la protrusión o extrusión del material nuclear a través del anillo fibroso puede generar compresión mecánica e inflamación de las raíces nerviosas, produciendo dolor radicular, limitación funcional y deterioro significativo de la calidad de vida (Kreiner et al., 2014; Foster et al., 2018).

El manejo terapéutico de la hernia discal lumbar ha experimentado una evolución considerable durante las últimas décadas, aunque el tratamiento conservador, basado en analgesia, fisioterapia, rehabilitación funcional y modificación de actividades, continúa siendo la primera línea terapéutica, un grupo de pacientes presenta síntomas persistentes o incapacitantes que requieren intervenciones adicionales; históricamente, la discectomía abierta y posteriormente la micro discectomía se consolidaron como los procedimientos de referencia para el tratamiento quirúrgico de la hernia discal sintomática, demostrando altas tasas de alivio del dolor y recuperación funcional (Deyo et al., 2015; Kreiner et al., 2014).

La búsqueda de alternativas menos invasivas impulsó el desarrollo de técnicas percutáneas destinadas a reducir la presión intradiscal y aliviar la compresión radicular sin necesidad de abordajes quirúrgicos extensos, dentro de estas estrategias, la nucleólisis percutánea comprende un conjunto de procedimientos diseñados para disminuir el volumen del núcleo pulposo mediante mecanismos químicos, térmicos o mecánicos, favoreciendo la reducción de la presión intradiscal y la descompresión indirecta de las estructuras neurales. Su desarrollo ha representado uno de los avances más importantes en el tratamiento mínimamente invasivo de la patología discal lumbar (Helm et al., 2009; Singh et al., 2013).

Los fundamentos de la nucleólisis se remontan a la quimionucleólisis con quimopapaína, una enzima proteolítica capaz de degradar los proteoglicanos del núcleo pulposo y reducir su volumen; aunque su utilización disminuyó debido al riesgo de reacciones adversas e inmunológicas, esta experiencia sentó las bases para el desarrollo de técnicas más seguras y controladas. Actualmente, las modalidades disponibles incluyen la nucleoplastia por

radiofrecuencia, la descompresión discal por láser, la descompresión mecánica automatizada y la quimionucleólisis mediante agentes químicos de nueva generación (Gibson y Waddell, 2007; Nordby et al., 1993; Choy, 2004).

La eficacia de estas técnicas se fundamenta en principios biomecánicos que demuestran que pequeñas reducciones del volumen del núcleo pulposos pueden producir descensos significativos de la presión intradiscal, como consecuencia, puede favorecerse la retracción parcial de la hernia discal y disminuir la irritación radicular asociada; la incorporación de sistemas de guía fluoroscópica y el perfeccionamiento tecnológico de los dispositivos utilizados han contribuido a mejorar la precisión, reproducibilidad y seguridad de estos procedimientos (Singh et al., 2013; Kallewaard et al., 2021).

La adecuada selección de pacientes constituye uno de los factores determinantes para el éxito terapéutico, la evidencia disponible demuestra que los mejores resultados se obtienen en pacientes con hernias contenidas, correlación clínico-radiológica adecuada y ausencia de inestabilidad vertebral significativa; por el contrario, las hernias extruidas o secuestradas, así como aquellas asociadas a estenosis lumbar avanzada, presentan menores tasas de respuesta y con frecuencia requieren tratamiento quirúrgico convencional (Benyamin et al., 2012; Kreiner et al., 2014).

En la actualidad, la nucleólisis percutánea ocupa una posición intermedia dentro del algoritmo terapéutico de la hernia discal lumbar, situándose entre el tratamiento conservador y las técnicas quirúrgicas de descompresión; aunque la micro discectomía continúa siendo el estándar terapéutico en pacientes con déficit neurológico progresivo, hernias de gran volumen o fracaso terapéutico avanzado, las técnicas percutáneas representan una alternativa atractiva para pacientes cuidadosamente seleccionados, ofreciendo menor agresión tisular, recuperación más rápida y menor utilización de recursos hospitalarios (Gadjradj et al., 2021; Kreiner et al., 2014).

El creciente interés por los procedimientos mínimamente invasivos y la continua incorporación de nuevas tecnologías han revitalizado el estudio de la nucleólisis percutánea, en este contexto, el objetivo de la presente revisión narrativa es analizar la evidencia científica disponible sobre la evolución histórica, fundamentos fisiopatológicos, indicaciones clínicas, eficacia terapéutica, perfil de seguridad y papel actual de la nucleólisis percutánea en el tratamiento de la hernia discal lumbar.

Metodología

Se realizó una revisión narrativa de la literatura con el objetivo de analizar la evolución histórica, los fundamentos fisiopatológicos, las indicaciones clínicas, la eficacia terapéutica y las complicaciones asociadas a la nucleólisis percutánea en el tratamiento de la hernia discal lumbar. La búsqueda bibliográfica se efectuó entre enero y junio de 2026 mediante la consulta de bases de datos científicas internacionales, incluyendo PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink y Google Scholar. Con el propósito de garantizar la actualidad y relevancia de la información, se priorizaron publicaciones comprendidas entre los años 2015 y 2025. No obstante, también se incluyeron estudios históricos considerados fundamentales para comprender el desarrollo de la nucleólisis percutánea, especialmente aquellos relacionados con la quimionucleólisis mediante quimopapaína y las primeras técnicas de descompresión discal percutánea.

La estrategia de búsqueda empleó términos en español e inglés relacionados con la temática de estudio, entre ellos: “*percutaneous nucleolysis*”, “*chemonucleolysis*”, “*percutaneous disc decompression*”, “*nucleoplasty*”, “*lumbar disc herniation*”, “*Discogel*”, “*radiofrequency nucleoplasty*”, “*percutaneous laser disc decompression*”, “*lumbar radiculopathy*” y “*minimally invasive spine surgery*”. Los términos fueron combinados mediante los operadores booleanos AND y OR para optimizar la sensibilidad y especificidad de la búsqueda.

Se incluyeron estudios originales, revisiones sistemáticas, metaanálisis, revisiones narrativas, estudios prospectivos y retrospectivos, guías de práctica clínica y documentos de consenso publicados en revistas científicas arbitradas que abordaran la nucleólisis percutánea, sus diferentes modalidades técnicas, indicaciones, resultados clínicos, perfil de seguridad y desenlaces funcionales en pacientes con hernia discal lumbar; se consideraron publicaciones en inglés y español disponibles en texto completo y con relación directa al objetivo de la revisión.

Se excluyeron artículos duplicados, resúmenes de congresos sin publicación completa, estudios centrados exclusivamente en otras patologías vertebrales distintas de la hernia discal lumbar, publicaciones con información insuficiente para el análisis de resultados y documentos con escasa relevancia metodológica. Asimismo, se excluyeron trabajos enfocados exclusivamente en procedimientos quirúrgicos abiertos o en técnicas que no emplearan mecanismos de descompresión discal por vía percutánea.

Los estudios seleccionados fueron sometidos a lectura crítica y análisis temático. La información se organizó en función de los principales ejes identificados en la literatura: evolución histórica de la nucleólisis percutánea, fundamentos fisiopatológicos, criterios de selección de pacientes, modalidades terapéuticas disponibles, resultados clínicos, complicaciones y papel actual dentro de las estrategias mínimamente invasivas para el tratamiento de la hernia discal lumbar; finalmente, los hallazgos fueron sintetizados de manera descriptiva con el propósito de ofrecer una visión actualizada e integradora sobre el papel de la nucleólisis percutánea en el manejo contemporáneo de esta patología.

Resultados y discusión

Tabla 1.

Matriz de la bibliografía

Autor (año)	Diseño del estudio	Técnica evaluada	Hallazgo principal	Fortaleza de evidencia
Gibson y Waddell (2007)	Revisión sistemática	Quimionucleólisis con quimopapaína	Mostró eficacia superior al tratamiento conservador en pacientes seleccionados	Alto
Helm et al. (2009)	Revisión sistemática	Técnicas de descompresión discal percutánea	Evidencia favorable para alivio del dolor y mejoría funcional	Alto
Benyamin et al. (2012)	Revisión sistemática	Nucleoplastia y técnicas percutáneas	Beneficio clínico en hernias contenidas seleccionadas	Alto
Singh et al. (2013)	Revisión narrativa	Nucleólisis percutánea	Describe fundamentos biomecánicos e indicaciones clínicas	Bajo
Kreiner et al. (2014)	Guía de práctica clínica basada en evidencia	Manejo de hernia discal lumbar	Establece recomendaciones diagnósticas y terapéuticas	Alto
Deyo et al. (2015)	Revisión clínica	Tratamiento quirúrgico mínimamente invasivo y	Analiza resultados de las distintas modalidades terapéuticas	Moderado

Kallewaard et al. (2021)	Consenso internacional de expertos	Técnicas percutáneas modernas	Recomienda su utilización en pacientes seleccionados	Moderado
Gadjradj et al. (2021)	Revisión comparativa	Cirugía mínimamente invasiva y técnicas percutáneas	Destaca ventajas en recuperación y menor agresión tisular	Moderado

Nota: En la tabla se observa la matriz bibliográfica con los artículos que se incluyeron en el estudio.

Fortaleza de la evidencia: clasificación orientativa basada en el diseño metodológico de los estudios incluidos, se consideró fortaleza alta para revisiones sistemáticas y guías de práctica clínica basadas en evidencia; y fortaleza moderada para consensos de expertos, revisiones comparativas, revisiones clínicas y revisiones narrativas; la presente clasificación tiene fines descriptivos y no corresponde a una evaluación formal mediante sistemas específicos de graduación de evidencia

Evolución histórica de la nucleólisis percutánea

La nucleólisis percutánea surgió como una alternativa mínimamente invasiva para el tratamiento de pacientes con hernia discal lumbar sintomática que no respondían al manejo conservador y en quienes se buscaba evitar o diferir una cirugía abierta. Su antecedente histórico más relevante fue la quimionucleólisis con quimopapaína, introducida durante la segunda mitad del siglo XX como una estrategia dirigida a degradar los proteoglicanos del núcleo pulposo, disminuir su contenido hídrico y reducir el volumen intradiscal. Esta técnica alcanzó amplia difusión en las décadas de 1970 y 1980 debido a sus resultados clínicos favorables en pacientes seleccionados; sin embargo, su utilización disminuyó progresivamente por preocupaciones relacionadas con reacciones alérgicas, complicaciones inmunológicas, disponibilidad del fármaco y variabilidad en los criterios de selección. A pesar de estas limitaciones, la quimionucleólisis estableció el principio terapéutico central de la descompresión discal percutánea: reducir el volumen del núcleo pulposo para disminuir la presión intradiscal y aliviar la compresión radicular (Gibson y Waddell, 2007; Nordby et al., 1993).

A partir de esta experiencia inicial se desarrollaron nuevas modalidades de descompresión discal percutánea con el objetivo de mejorar la seguridad, reproducibilidad y control del procedimiento. Entre ellas destacan la nucleoplastia por radiofrecuencia, la descompresión

discal percutánea por láser, la descompresión mecánica automatizada y, más recientemente, la quimionucleólisis mediante agentes modernos como el etanol gelificado radiopaco. Estas técnicas comparten el objetivo de reducir la presión intradiscal mediante mecanismos físicos, térmicos, mecánicos o químicos, preservando en lo posible la integridad estructural del disco y de los tejidos adyacentes. La incorporación de la guía fluoroscópica, el perfeccionamiento de los dispositivos percutáneos y la mejor comprensión de la biomecánica discal han permitido ampliar el interés clínico por estas alternativas dentro del tratamiento mínimamente invasivo de la hernia discal lumbar (Choy, 2004; Helm et al., 2009; Singh et al., 2013; Kallewaard et al., 2021).

En los últimos años, el desarrollo de técnicas como la nucleólisis con etanol gelificado ha renovado la atención sobre la quimionucleólisis moderna, a diferencia de la quimopapaína, estos agentes buscan inducir deshidratación controlada del núcleo pulposo y reducción del volumen discal con un perfil de seguridad más favorable. Aunque la evidencia disponible muestra resultados alentadores en pacientes con hernias contenidas y radiculopatía persistente, la evolución histórica de la nucleólisis también demuestra que el éxito de estas técnicas depende de una selección rigurosa del paciente, una adecuada correlación clínico-radiológica y una correcta ejecución técnica, por ello, la nucleólisis percutánea debe entenderse no como sustituto universal de la cirugía, sino como una opción intermedia dentro del algoritmo terapéutico de la hernia discal lumbar (Latka et al., 2021; Deer et al., 2025).

Fundamentos fisiopatológicos de la nucleólisis percutánea

La eficacia de la nucleólisis percutánea se sustenta en principios biomecánicos relacionados con la fisiopatología de la hernia discal lumbar y el comportamiento hidrostático del núcleo pulposo; en condiciones normales, el disco intervertebral distribuye las cargas axiales mediante la interacción entre el núcleo pulposo, rico en agua y proteoglicanos, y el anillo fibroso que lo contiene. Los procesos degenerativos alteran progresivamente esta arquitectura, favoreciendo la pérdida de hidratación discal, la disminución de la capacidad amortiguadora y la aparición de protrusiones o herniaciones capaces de comprimir estructuras neurales adyacentes (Adams y Roughley, 2006; Kreiner et al., 2014).

La sintomatología asociada a la hernia discal lumbar no depende exclusivamente de la compresión mecánica de la raíz nerviosa, diversos estudios han demostrado que la exposición del material nuclear al espacio epidural induce una respuesta inflamatoria caracterizada por la

liberación de citocinas proinflamatorias, factores de necrosis tumoral, interleucinas y otros mediadores bioquímicos que contribuyen al desarrollo del dolor radicular y la disfunción neurológica; en consecuencia, la compresión mecánica y la inflamación local actúan de manera complementaria en la génesis de los síntomas clínicos (Genevay y Atlas, 2010; Foster et al., 2018).

El fundamento terapéutico de la nucleólisis consiste en reducir el volumen del núcleo pulposos mediante mecanismos químicos, térmicos o mecánicos, produciendo una disminución de la presión intradiscal; desde el punto de vista biomecánico, pequeñas reducciones del volumen nuclear pueden generar descensos significativos de la presión intradiscal debido al comportamiento hidráulico del disco intervertebral, esta reducción de presión favorece la retracción parcial del material herniado, disminuye el conflicto disco-radicular y contribuye al alivio de la sintomatología dolorosa (Helm et al., 2009; Singh et al., 2013).

Las diferentes modalidades de nucleólisis actúan mediante mecanismos específicos, la quimionucleólisis produce degradación o deshidratación controlada del núcleo pulposos mediante agentes químicos; la nucleoplastia por radiofrecuencia genera ablación tisular a baja temperatura mediante tecnología coblativa; la descompresión discal por láser provoca vaporización parcial del contenido nuclear; mientras que los sistemas mecánicos automatizados permiten la extracción directa de pequeñas cantidades de tejido discal. A pesar de sus diferencias técnicas, todas estas modalidades comparten el objetivo de disminuir la presión intradiscal preservando la estabilidad biomecánica del segmento vertebral tratado (Choy, 2004; Benyamin et al., 2012; Kallewaard et al., 2021).

La magnitud del beneficio clínico depende en gran medida de una adecuada selección de pacientes. Las mejores respuestas terapéuticas se observan en hernias contenidas, con correlación clínico-radiológica adecuada y ausencia de inestabilidad vertebral significativa. Por el contrario, las hernias extruidas, secuestradas o asociadas a estenosis lumbar avanzada presentan menor probabilidad de respuesta debido a que el mecanismo fisiopatológico predominante ya no depende exclusivamente de la presión intradiscal, este hecho explica por qué la selección apropiada del paciente continúa siendo uno de los principales determinantes del éxito de la nucleólisis percutánea (Kreiner et al., 2014; Kallewaard et al., 2021).

Indicaciones y selección de pacientes

La adecuada selección de pacientes constituye uno de los principales determinantes del éxito clínico de la nucleólisis percutánea, a diferencia de las técnicas quirúrgicas convencionales, cuya eficacia puede mantenerse en un espectro más amplio de presentaciones anatómicas, las técnicas de descompresión discal percutánea dependen estrechamente de una correcta correlación entre la clínica, los hallazgos de imagen y las características morfológicas de la hernia discal. Por esta razón, la identificación de candidatos apropiados resulta fundamental para optimizar los resultados terapéuticos y minimizar la necesidad de procedimientos posteriores (Kreiner et al., 2014; Benyamin et al., 2012).

La principal indicación de la nucleólisis percutánea corresponde a pacientes con hernia discal lumbar contenida, sintomática y asociada a radiculopatía persistente, que no han presentado una respuesta satisfactoria tras un periodo adecuado de tratamiento conservador. Generalmente, se consideran candidatos aquellos pacientes que mantienen dolor radicular clínicamente significativo durante varias semanas o meses a pesar de analgesia, fisioterapia, rehabilitación funcional y otras medidas no quirúrgicas, siempre que exista una adecuada correlación clínico-radiológica entre los síntomas y los hallazgos observados en los estudios de imagen (Singh et al., 2013; Kallewaard et al., 2021).

Las características anatómicas de la hernia desempeñan un papel fundamental en la selección. La evidencia disponible demuestra que los mejores resultados se obtienen en protrusiones discales y hernias contenidas, en las que el anillo fibroso conserva parcialmente su integridad estructural. En estos casos, la reducción de la presión intradiscal puede favorecer la retracción del material herniado y disminuir el conflicto disco-radicular; las hernias extruidas o secuestradas presentan una menor probabilidad de respuesta debido a que el material discal desplazado ya no depende exclusivamente de la presión intradiscal para mantener su efecto compresivo (Helm et al., 2009; Benyamin et al., 2012).

Asimismo, deben excluirse pacientes con inestabilidad vertebral significativa, espondilolistesis sintomática, estenosis lumbar severa, síndrome de cauda equina, déficit neurológico progresivo o cualquier condición que requiera descompresión quirúrgica directa; en estos escenarios, la micro discectomía u otras técnicas quirúrgicas continúan representando el estándar terapéutico debido a su capacidad para lograr una descompresión neural más efectiva y predecible (Kreiner et al., 2014; Deyo et al., 2015).

La resonancia magnética constituye la herramienta diagnóstica fundamental para la selección de candidatos, además de confirmar la presencia de la hernia discal y su correlación con la sintomatología clínica, permite valorar el grado de degeneración discal, la integridad del anillo fibroso, la existencia de migración o secuestro discal y la presencia de patologías concomitantes que puedan modificar la estrategia terapéutica. Por ello, la evaluación clínica y radiológica integral continúa siendo un requisito indispensable antes de indicar cualquier procedimiento de nucleólisis percutánea (Kreiner et al., 2014; Gadjradj et al., 2021).

En la actualidad, la mayoría de las guías y consensos coinciden en que la nucleólisis percutánea debe considerarse una alternativa terapéutica intermedia entre el tratamiento conservador y la cirugía convencional; su utilización en pacientes cuidadosamente seleccionados permite ofrecer una opción mínimamente invasiva con potencial beneficio clínico, menor agresión tisular y recuperación más rápida, sin sustituir el papel fundamental de la micro discectomía en aquellos casos con indicación quirúrgica formal (Kallewaard et al., 2021; Gadjradj et al., 2021).

Tabla 2.

Criterios de selección para nucleólisis percutánea

Candidatos ideales	Contraindicaciones relativas o absolutas
Hernia discal contenida	Hernia extruida o secuestrada
Radiculopatía correlacionada con RM	Síndrome de cauda equina
Fracaso del tratamiento conservador	Déficit neurológico progresivo
Ausencia de inestabilidad vertebral	Espondilolistesis significativa
Dolor radicular persistente	Estenosis lumbar severa
Buena correlación clínico-radiológica	Infección o tumor vertebral

Nota: Elaboración propia

Modalidades terapéuticas de nucleólisis percutánea

A lo largo de las últimas décadas se han desarrollado diversas modalidades de nucleólisis percutánea con el objetivo de reducir la presión intradiscal mediante mecanismos químicos, térmicos o mecánicos; aunque estas técnicas difieren en sus fundamentos tecnológicos, todas comparten el mismo principio terapéutico: disminuir el volumen del núcleo pulposo para reducir la presión intradiscal y aliviar la compresión radicular asociada a la hernia discal lumbar (Helm et al., 2009; Singh et al., 2013).

Quimionucleólisis

La quimionucleólisis constituye la modalidad histórica de la nucleólisis percutánea. Inicialmente se desarrolló mediante la utilización de quimopapaína, una enzima proteolítica capaz de degradar los proteoglicanos del núcleo pulpos, favoreciendo su deshidratación y reducción volumétrica. Aunque los resultados iniciales fueron alentadores, la aparición de reacciones anafilácticas y otras complicaciones inmunológicas limitó progresivamente su utilización clínica, más recientemente, la introducción de agentes como el etanol gelificado radiopaco (Discogel®) ha permitido revalorizar la quimionucleólisis mediante procedimientos más seguros y controlados. Estos compuestos inducen deshidratación progresiva del núcleo pulpos y reducción de la presión intradiscal, con resultados favorables en pacientes cuidadosamente seleccionados (Gibson y Waddell, 2007; Kallewaard et al., 2021).

Nucleoplastia por radiofrecuencia

La nucleoplastia por radiofrecuencia utiliza tecnología de coablación para generar un campo de plasma de baja temperatura capaz de producir ablación controlada del tejido nuclear, este mecanismo permite crear pequeños canales dentro del núcleo pulpos, reduciendo su volumen sin generar daño térmico significativo en las estructuras adyacentes; diversos estudios han demostrado mejoría del dolor radicular y de la capacidad funcional en pacientes con hernias discales contenidas, particularmente cuando existe una adecuada correlación clínico-radiológica y ausencia de patología estructural avanzada (Benyamin et al., 2012; Singh et al., 2013).

Descompresión discal percutánea por láser

La descompresión discal percutánea por láser se basa en la aplicación intradiscal de energía láser para producir vaporización parcial del contenido nuclear, la disminución resultante del volumen del núcleo pulpos favorece la reducción de la presión intradiscal y la retracción parcial del material herniado; entre sus principales ventajas destacan su carácter mínimamente invasivo y la posibilidad de realizarse bajo anestesia local y control fluoroscópico, sin embargo, la variabilidad de los protocolos utilizados y la heterogeneidad de los estudios disponibles han dificultado la estandarización de sus resultados clínicos (Choy, 2004; Helm et al., 2009).

Descompresión mecánica automatizada

Las técnicas de descompresión mecánica automatizada utilizan dispositivos diseñados para extraer pequeñas cantidades de tejido nuclear mediante sistemas de corte y aspiración controlada. A diferencia de las modalidades térmicas o químicas, estos procedimientos producen una reducción directa del volumen discal, su principal ventaja radica en la posibilidad de controlar mecánicamente la cantidad de tejido removido, aunque su aplicación continúa limitada a pacientes cuidadosamente seleccionados con hernias contenidas y sintomatología compatible (Singh et al., 2013; Benyamin et al., 2012).

Situación actual de las diferentes modalidades

En la actualidad no existe evidencia concluyente que permita establecer la superioridad absoluta de una modalidad sobre otra, la elección de la técnica depende de múltiples factores, incluyendo las características anatómicas de la hernia discal, la experiencia del operador, la disponibilidad tecnológica y las condiciones clínicas del paciente. La evidencia disponible sugiere que, cuando son aplicadas en pacientes adecuadamente seleccionados, las diferentes modalidades de nucleólisis percutánea pueden proporcionar alivio significativo del dolor y mejoría funcional, manteniendo perfiles de seguridad aceptables y una menor agresión tisular en comparación con los procedimientos quirúrgicos convencionales (Kallewaard et al., 2021; Gadjradj et al., 2021).

Tabla 3.

Comparación de las principales modalidades de nucleólisis percutánea

Técnica	Mecanismo de acción	Ventajas	Limitaciones
Quimionucleólisis (Discogel®)	Deshidratación química del núcleo pulposo	Procedimiento sencillo, mínima invasión	Evidencia aún limitada
Radiofrecuencia (nucleoplastia)	Ablación mediante coablación	Bajo daño térmico, buena seguridad	Requiere selección estricta
Láser	Vaporización del núcleo pulposo	Técnica ampliamente difundida	Variabilidad de resultados
Mecánica automatizada	Extracción física de tejido discal	Control directo del volumen removido	Indicaciones más restringidas

Nota: Elaboración propia

Resultados clínicos y eficacia terapéutica

La eficacia clínica de la nucleólisis percutánea ha sido evaluada mediante múltiples estudios observacionales, revisiones sistemáticas y documentos de consenso durante las últimas décadas. Aunque existe heterogeneidad en las técnicas empleadas, los criterios de selección y

los periodos de seguimiento, la mayoría de las publicaciones coinciden en señalar una mejoría significativa del dolor radicular y de la capacidad funcional en pacientes adecuadamente seleccionados con hernia discal lumbar contenida (Helm et al., 2009; Benyamin et al., 2012).

Los resultados clínicos favorables parecen estar estrechamente relacionados con la adecuada correlación clínico-radiológica y con las características morfológicas de la hernia discal; diversos autores han demostrado que los mejores desenlaces se observan en pacientes con protrusiones discales o hernias contenidas, sin evidencia de migración, secuestro discal o inestabilidad vertebral significativa. En estos escenarios, la reducción de la presión intradiscal puede traducirse en una disminución efectiva del conflicto disco-radicular y, por consiguiente, en una mejoría sostenida de la sintomatología dolorosa (Singh et al., 2013; Kreiner et al., 2014).

Las revisiones sistemáticas disponibles sugieren que la nucleólisis percutánea puede proporcionar tasas de éxito clínico comparables a otras modalidades mínimamente invasivas cuando se aplica en pacientes cuidadosamente seleccionados. Sin embargo, la interpretación de estos resultados debe realizarse con cautela debido a la considerable heterogeneidad metodológica existente entre los estudios, incluyendo diferencias en las técnicas utilizadas, los criterios de inclusión, los instrumentos de evaluación clínica y la duración del seguimiento (Gibson y Waddell, 2007; Helm et al., 2009).

Otro aspecto de interés es la capacidad de estas técnicas para reducir la necesidad de procedimientos quirúrgicos convencionales, diversos estudios han documentado que una proporción importante de pacientes logra un control satisfactorio de los síntomas sin requerir cirugía posterior, lo que refuerza el papel de la nucleólisis como alternativa terapéutica intermedia entre el tratamiento conservador y la micro discectomía. No obstante, una parte de los pacientes continúa evolucionando hacia la cirugía, particularmente aquellos con progresión anatómica de la hernia, persistencia de los síntomas o selección inicial inadecuada (Benyamin et al., 2012; Kallewaard et al., 2021).

Desde una perspectiva neuroquirúrgica, la evidencia disponible indica que la nucleólisis percutánea no pretende sustituir a la micro discectomía como tratamiento de referencia en pacientes con déficit neurológico progresivo, síndrome de cauda equina o hernias discales complejas. Su principal utilidad radica en ofrecer una opción mínimamente invasiva para pacientes seleccionados con radiculopatía persistente secundaria a hernias contenidas, permitiendo reducir la agresión tisular, acelerar la recuperación funcional y disminuir la

necesidad de hospitalización prolongada, en consecuencia, el éxito terapéutico depende menos de la técnica utilizada y más de una adecuada selección del paciente y de una correcta indicación clínica (Gadjradj et al., 2021; Kreiner et al., 2014).

Tabla 4.

Principales resultados clínicos reportados para la nucleólisis percutánea

Variable evaluada	Hallazgos reportados
Dolor radicular	Mejoría significativa en pacientes seleccionados
Capacidad funcional	Incremento de la funcionalidad y retorno a actividades habituales
Satisfacción del paciente	Generalmente elevada en hernias contenidas
Necesidad de cirugía posterior	Reducida en una proporción importante de pacientes
Seguridad	Baja incidencia de complicaciones graves
Factores asociados al éxito	Hernia contenida, adecuada correlación clínico-radiológica y ausencia de inestabilidad

Nota: Elaboración propia

Seguridad y complicaciones

La seguridad constituye uno de los principales argumentos que han favorecido el desarrollo y la expansión de las técnicas de nucleólisis percutánea dentro del tratamiento mínimamente invasivo de la hernia discal lumbar. En comparación con los procedimientos quirúrgicos convencionales, estas modalidades se asocian con una menor agresión tisular, reducción del sangrado intraoperatorio, menor estancia hospitalaria y una recuperación funcional más rápida; como cualquier procedimiento intervencionista, no están exentas de riesgos y complicaciones potenciales (Helm et al., 2009; Benyamin et al., 2012).

La mayoría de los estudios publicados reportan una baja incidencia de complicaciones graves, particularmente cuando existe una adecuada selección de pacientes y el procedimiento es realizado por operadores con experiencia. Entre las complicaciones descritas se incluyen discitis, hemorragia, lesión radicular, empeoramiento transitorio del dolor, reacciones inflamatorias locales y fracaso terapéutico, aunque estos eventos son poco frecuentes, pueden afectar significativamente los resultados clínicos y deben considerarse durante el proceso de toma de decisiones terapéuticas (Helm et al., 2009; Singh et al., 2013).

Las complicaciones específicas pueden variar según la modalidad utilizada, la quimionucleólisis con quimopapaína se asoció históricamente con reacciones anafilácticas y fenómenos inmunológicos que limitaron su utilización clínica. Por otro lado, las técnicas basadas en energía térmica, como la descompresión discal por láser o la radiofrecuencia,

presentan el riesgo teórico de lesión térmica sobre estructuras neurales adyacentes cuando no se respetan adecuadamente los parámetros técnicos del procedimiento. De igual manera, las modalidades mecánicas pueden asociarse con lesión estructural discal excesiva o resultados subóptimos cuando la indicación no es adecuada (Gibson y Waddell, 2007; Choy, 2004).

La discitis continúa siendo una de las complicaciones más relevantes desde el punto de vista clínico, a pesar de su baja frecuencia, su aparición puede ocasionar dolor persistente, deterioro funcional y necesidad de tratamientos prolongados, por lo que las medidas de asepsia, la correcta técnica de acceso y el cumplimiento de protocolos de seguridad resultan fundamentales para minimizar este riesgo. Asimismo, la adecuada utilización de la guía fluoroscópica contribuye a reducir la probabilidad de errores técnicos y complicaciones relacionadas con la colocación de los dispositivos intradiscales (Helm et al., 2009; Benyamin et al., 2012).

Tabla 5.

Principales complicaciones asociadas a la nucleólisis percutánea

Complicación	Frecuencia reportada	Relevancia clínica
Discitis	Baja	Puede requerir tratamiento prolongado
Lesión radicular	Baja	Potencial déficit neurológico o dolor persistente
Hemorragia	Baja	Generalmente autolimitada
Reacciones inflamatorias locales	Baja a moderada	Dolor transitorio post procedimiento
Lesión térmica	Infrecuente	Asociada principalmente a técnicas térmicas
Fracaso terapéutico	Variable	Puede requerir cirugía posterior

Nota: Elaboración propia

En conjunto, la evidencia disponible respalda a la nucleólisis percutánea como un procedimiento con un perfil de seguridad aceptable cuando se realiza bajo criterios adecuados de selección y por operadores experimentados. La implementación de protocolos estandarizados, el uso de guía por imagen y el conocimiento de las limitaciones de cada técnica continúan siendo elementos esenciales para optimizar los resultados clínicos y minimizar la aparición de eventos adversos.

Rol actual de la nucleólisis dentro del algoritmo terapéutico de la hernia discal lumbar

La evolución de las técnicas mínimamente invasivas ha modificado significativamente el abordaje terapéutico de la hernia discal lumbar durante las últimas décadas; en este contexto, la nucleólisis percutánea ha consolidado su papel como una alternativa terapéutica intermedia

entre el tratamiento conservador y las técnicas quirúrgicas de descompresión. Su objetivo no es reemplazar a la cirugía convencional, sino ampliar las opciones terapéuticas disponibles para pacientes cuidadosamente seleccionados que presentan sintomatología persistente a pesar del manejo conservador y que no reúnen criterios formales de tratamiento quirúrgico inmediato (Kreiner et al., 2014; Gadjradj et al., 2021).

Actualmente, la micro discectomía continúa siendo el tratamiento de referencia para pacientes con déficit neurológico progresivo, síndrome de cauda equina, hernias extruidas o secuestradas de gran volumen y aquellos casos en los que existe fracaso terapéutico avanzado. La capacidad de lograr una descompresión neural directa y predecible mantiene a la cirugía como el estándar terapéutico en estas situaciones clínicas. Sin embargo, un grupo importante de pacientes presenta hernias contenidas con radiculopatía persistente y adecuada correlación clínico-radiológica, en quienes la nucleólisis percutánea puede constituir una alternativa eficaz y menos invasiva (Deyo et al., 2015; Kreiner et al., 2014).

Las principales ventajas de la nucleólisis percutánea incluyen una menor agresión tisular, reducción del tiempo operatorio, menor estancia hospitalaria, recuperación funcional más rápida y posibilidad de realizar el procedimiento en régimen ambulatorio; estas características la convierten en una opción especialmente atractiva para pacientes que desean evitar procedimientos quirúrgicos más invasivos o que presentan condiciones clínicas que incrementan el riesgo operatorio convencional (Helm et al., 2009; Kallewaard et al., 2021).

No obstante, la evidencia actual demuestra que el éxito terapéutico depende fundamentalmente de una adecuada selección de pacientes, diversos estudios coinciden en que los mejores resultados se obtienen en hernias contenidas, sin inestabilidad vertebral significativa y con síntomas claramente atribuibles al nivel discal tratado; en consecuencia, la correcta indicación continúa siendo el principal determinante del éxito clínico, incluso por encima de la modalidad específica de nucleólisis empleada (Benyamin et al., 2012; Singh et al., 2013).

Desde una perspectiva contemporánea, la nucleólisis percutánea debe entenderse como parte de un enfoque terapéutico escalonado e individualizado, su papel resulta particularmente relevante en aquellos pacientes que han agotado las medidas conservadoras, pero que todavía no presentan criterios absolutos para una intervención quirúrgica convencional. Por ello, más que competir con la micro discectomía, la nucleólisis complementa el arsenal terapéutico disponible para el manejo de la hernia discal lumbar, contribuyendo a una estrategia de

tratamiento cada vez más personalizada y orientada a minimizar la invasividad sin comprometer la eficacia clínica (Gadjradj et al., 2021; Kallewaard et al., 2021).

Tabla 6.

Posición de la nucleólisis dentro del algoritmo terapéutico de la hernia discal lumbar

Escenario clínico	Alternativa terapéutica preferente
Dolor lumbar/radicular reciente	Tratamiento conservador
Fracaso del tratamiento conservador + hernia contenida	Nucleólisis percutánea
Hernia contenida persistente seleccionada	Nucleólisis o cirugía mínimamente invasiva
Hernia extruida o secuestrada	Micro discectomía
Déficit neurológico progresivo	Micro discectomía
Síndrome de cauda equina	Cirugía urgente

Nota: Elaboración propia

Limitaciones de la evidencia disponible

A pesar del creciente volumen de publicaciones relacionadas con la nucleólisis percutánea, la interpretación de la evidencia disponible debe realizarse con cautela, una de las principales limitaciones identificadas en la literatura es la considerable heterogeneidad metodológica entre los estudios, incluyendo diferencias en las técnicas empleadas, los criterios de selección de pacientes, los desenlaces evaluados y los periodos de seguimiento; esta variabilidad dificulta la comparación directa de resultados y limita la posibilidad de establecer conclusiones definitivas sobre la superioridad de una modalidad terapéutica específica sobre otra (Helm et al., 2009; Kallewaard et al., 2021).

Asimismo, gran parte de la evidencia disponible procede de estudios observacionales, series de casos, revisiones narrativas y documentos de consenso, mientras que los ensayos clínicos aleatorizados y los estudios prospectivos de alta calidad continúan siendo relativamente escasos; esta situación condiciona un nivel variable de evidencia científica y limita la fortaleza de algunas recomendaciones clínicas actualmente disponibles (Benyamin et al., 2012; Singh et al., 2013).

Otra limitación importante radica en la evolución constante de las tecnologías utilizadas para la descompresión discal percutánea, los resultados obtenidos con técnicas históricas no siempre son extrapolables a las modalidades más modernas, lo que introduce dificultades adicionales al momento de interpretar la evidencia acumulada a lo largo del tiempo. De igual manera, la experiencia del operador y las diferencias en los protocolos técnicos pueden influir

significativamente en los resultados clínicos reportados (Choy, 2004; Gadjradj et al., 2021). Por estas razones, aunque la evidencia actual respalda el uso de la nucleólisis percutánea en pacientes cuidadosamente seleccionados, son necesarios estudios prospectivos multicéntricos, ensayos clínicos comparativos y seguimientos a largo plazo que permitan definir con mayor precisión su papel dentro del algoritmo terapéutico contemporáneo de la hernia discal lumbar.

Conclusiones

La nucleólisis percutánea representa una alternativa terapéutica mínimamente invasiva consolidada para el tratamiento de pacientes seleccionados con hernia discal lumbar sintomática, particularmente en aquellos con hernias contenidas y radiculopatía persistente refractaria al tratamiento conservador. Su desarrollo histórico, desde la quimionucleólisis con quimopapaína hasta las modalidades contemporáneas basadas en radiofrecuencia, láser, sistemas mecánicos y agentes químicos de nueva generación, refleja la evolución constante de las estrategias dirigidas a reducir la presión intradiscal con la menor agresión tisular posible.

La evidencia científica disponible demuestra que estas técnicas pueden proporcionar alivio significativo del dolor radicular, mejoría funcional y reducción de la necesidad de cirugía convencional en pacientes adecuadamente seleccionados. Sin embargo, los resultados clínicos dependen estrechamente de una correcta correlación clínico-radiológica, de las características morfológicas de la hernia discal y de una apropiada indicación terapéutica. En este sentido, la selección adecuada del paciente continúa siendo el principal predictor de éxito clínico, por encima de la modalidad específica de nucleólisis empleada.

Desde una perspectiva neuroquirúrgica contemporánea, la nucleólisis percutánea no debe considerarse un sustituto de la micro discectomía en aquellos pacientes con déficit neurológico progresivo, síndrome de cauda equina o hernias discales complejas. Por el contrario, su mayor valor radica en complementar el algoritmo terapéutico de la hernia discal lumbar, ocupando una posición intermedia entre el tratamiento conservador y la cirugía convencional dentro de un enfoque individualizado y escalonado.

A pesar de los resultados favorables reportados, persisten limitaciones relacionadas con la heterogeneidad metodológica de los estudios disponibles, la variabilidad de las técnicas empleadas y la escasez de ensayos clínicos comparativos de alta calidad. Por ello, futuras investigaciones prospectivas y multicéntricas serán necesarias para definir con mayor precisión

las indicaciones óptimas, la durabilidad de los resultados y el papel definitivo de la nucleólisis percutánea dentro del manejo moderno de la patología discal lumbar (Helm et al., 2009; Benyamin et al., 2012; Kallewaard et al., 2021; Gadjudj et al., 2021).

Referencias Bibliográficas

- Benyamin, R. M., Staats, P. S., MiDAS ENCORE Investigators. (2012). Percutaneous lumbar decompression for lumbar spinal stenosis: Review of clinical evidence and evolving applications. *Pain Physician*, 15(3), 229–242.
- Choi, Y., Seo, J., & Kim, P. (2024). Clinical efficacy of nucleoplasty for uncontained lumbar disc herniation: A retrospective study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 25, 12. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-07120-3>
- Choy, D. S. J. (2004). Percutaneous laser disc decompression (PLDD): Twelve years of experience with 752 procedures in 518 patients. *Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery*, 16(6), 325–331.
- Deer, T., Macadaeg, K., Kim, K., Copenhaver, D., Cheng, B., Patel, A., Vaccaro, A., Candido, K., Gupta, P., & Beall, D. (2025). Chemonucleolysis for lumbar disc herniation: History and current state of the technology. *Journal of Pain Research*, 18, 5555–5565. <https://doi.org/10.2147/JPR.S535261>
- Deyo, R. A., Mirza, S. K., Martin, B. I., Kreuter, W., Goodman, D. C., & Jarvik, J. G. (2015). Trends, major medical complications, and charges associated with surgery for lumbar spinal stenosis in older adults. *JAMA*, 303(13), 1259–1265.
- Foster, N. E., Anema, J. R., Cherkin, D., Chou, R., Cohen, S. P., Gross, D. P., Ferreira, P. H., Fritz, J. M., Koes, B. W., Peul, W., Turner, J. A., & Maher, C. G. (2018). Prevention and treatment of low back pain: Evidence, challenges, and promising directions. *The Lancet*, 391(10137), 2368–2383. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)30489-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30489-6)
- Gadjudj, P. S., Harhangi, B. S., Amelink, J., van Susante, J. L. C., Kamper, S. J., van Tulder, M. W., Peul, W. C., Vleggeert-Lankamp, C. L. A. M., & Rubinstein, S. M. (2021). Percutaneous transforaminal endoscopic discectomy versus open microdiscectomy for lumbar disc herniation: Systematic review and meta-analysis. *The Spine Journal*, 21(5), 771–788.



- Gibson, J. N. A., & Waddell, G. (2007). Surgical interventions for lumbar disc prolapse. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2, CD001350. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001350.pub3>
- Gogos, C., Filippiadis, D., Velonakis, G., Kelekis, N., Papagelopoulos, P., & Kelekis, A. (2023). Intradiscal gelified ethanol nucleolysis versus endoscopic surgery for lumbar disc herniation radiculopathy. *Diagnostics*, 13(13), 2164. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13132164>
- Helm, S., Benyamin, R. M., Chopra, P., Deer, T. R., & Justiz, R. (2009). Percutaneous lumbar disc decompression utilizing nucleoplasty™. *Pain Physician*, 12(3), 561–572.
- Kallewaard, J. W., Geurts, J. W., Kessels, A., van Kleef, M., Joosten, E. A. J., & Mekhail, N. (2021). Percutaneous disc decompression and chemonucleolysis techniques for lumbar disc herniation: Current evidence and clinical outcomes. *Pain Practice*, 21(7), 789–801.
- Kreiner, D. S., Hwang, S. W., Easa, J. E., Resnick, D. K., Baisden, J. L., Bess, S., Cho, C. H., DePalma, M. J., Dougherty, P., Fernand, R., Ghiselli, G., Ghogawala, Z., Reitman, C. A., Summers, J. T., Toton, J. F., & North American Spine Society. (2014). Evidence-based clinical guidelines for multidisciplinary spine care: Diagnosis and treatment of lumbar disc herniation with radiculopathy. *The Spine Journal*, 14(1), 180–191.
- Latka, K., Kozłowska, K., Waligóra, M., Kołodziej, W., Olbrycht, T., Chowaniec, J., Hendryk, S., Latka, M., & Latka, D. (2021). Efficacy of DiscoGel in treatment of degenerative disc disease: A prospective 1-year observation of 67 patients. *Brain Sciences*, 11(11), 1434. <https://doi.org/10.3390/brainsci11111434>
- Nordby, E. J., Wright, P. H., & Schofield, S. R. (1993). Safety and efficacy of chemonucleolysis: Review of the literature. *Neurosurgery Quarterly*, 3(4), 307–318.
- Schol, J., Ambrosio, L., Tamagawa, S., Joyce, K., Ruiz-Fernández, C., Nomura, A., & Sakai, D. (2024). Enzymatic chemonucleolysis for lumbar disc herniation: An assessment of historical and contemporary efficacy and safety. *Scientific Reports*, 14, 12846. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-62792-8>

Singh, V., Derby, R., Shah, R. V., Lutz, G. E., & Percutaneous Disc Decompression Study Group. (2013). Systematic review of percutaneous lumbar mechanical disc decompression utilizing Dekompressor®. *Pain Physician*, 16(2 Suppl), SE25–SE54.

Contribuciones de los autores:

Jimmy Fernando Yaguana Torres: Conceptualización del estudio, supervisión del proyecto, validación científica y revisión crítica del manuscrito.

Jimmy Fabricio Achi Arteaga²: Conceptualización del estudio, supervisión del proyecto, validación científica y revisión crítica del manuscrito.

Vivian Suleika Valarezo Bravo: Investigación, búsqueda y recopilación bibliográfica, análisis de la literatura científica y redacción del borrador original.

Yiliam Ahylie Rojas Hidalgo: Investigación, organización y análisis de la información científica, apoyo en la redacción y revisión del manuscrito.

Irene Diana León Valdiviezo: Diseño metodológico, validación de contenidos, revisión crítica, corrección académica y gestión del proyecto.

Agradecimiento: N/A

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existe conflicto de interés