

Artículo de Revisión - Maestría en Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo

**Factores de Riesgo, Prevalencia y Estrategias de Intervención del Dolor Lumbar
Inespecífico en Trabajadores de Minería a Cielo Abierto: Revisión Sistemática con Síntesis
Narrativa (2020–2025)**

**Martinez Figueroa Ana Lisbeth, Rolon Montejó Juan Estheban, Moron Rosales Oscar
Alberto**

Director: Carlos Fernando Mesa Orjuela

Facultad de Ingeniería Mecánica

Convenio Universidad Santo Tomás e Icontec

**Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Gestión de la Seguridad y Salud en el
Trabajo**

08 de abril, 2026

Artículo de Revisión

Factores de Riesgo, Prevalencia y Estrategias de Intervención del Dolor Lumbar Inespecífico en Trabajadores de Minería a Cielo Abierto: Revisión Sistemática con Síntesis Narrativa (2020–2025)

Martínez Figueroa Ana Lisbeth

Rolon Montejó Juan Estheban

Moron Rosales Oscar Alberto

Convenio Universidad Santo Tomás e Icontec - Facultad de Ingeniería Mecánica - Maestría en Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo - Estudiantes de cuarto semestre.

Resumen

El dolor lumbar inespecífico es uno de los trastornos musculoesqueléticos más frecuentes en el ámbito laboral y representa un problema relevante en la minería a cielo abierto debido a la elevada exigencia física, la exposición a factores biomecánicos y las condiciones organizacionales propias de esta actividad, lo que genera limitación funcional y afecta el desempeño de los trabajadores (Safiri et al., 2020; GBD 2019 Ageing Collaborators, 2022). *Objetivo:* Identificar los factores de riesgo, la prevalencia y las estrategias de intervención del dolor lumbar inespecífico en trabajadores de minería a cielo abierto a partir de la literatura científica publicada entre 2020 y 2025. *Metodología:* Se realizó una revisión sistemática de la literatura con síntesis narrativa, siguiendo las directrices PRISMA 2020. La búsqueda se efectuó

en PubMed, Scopus y ScienceDirect mediante descriptores MeSH/DeCS relacionados con dolor lumbar, minería y factores de riesgo ocupacionales. Los estudios se seleccionaron con base en los criterios PICOS y su calidad metodológica se evaluó mediante las listas STROBE y PRISMA, según el diseño de cada investigación. Debido a la heterogeneidad de los estudios incluidos, no fue posible realizar un metaanálisis. *Resultados:* La revisión identificó una elevada prevalencia de dolor lumbar en trabajadores mineros, con reportes superiores al 50 % para la región lumbar y una alta frecuencia de trastornos musculoesqueléticos. Los principales factores de riesgo identificados fueron la vibración de cuerpo entero, las posturas prolongadas o forzadas, las jornadas laborales extensas y los factores psicosociales, especialmente el estrés laboral. Las estrategias de intervención se orientan principalmente a medidas ergonómicas, aunque la evidencia sobre su efectividad continúa siendo limitada. *Conclusión:* El dolor lumbar inespecífico en la minería a cielo abierto constituye un problema multifactorial que requiere estrategias preventivas integrales desde la Seguridad y Salud en el Trabajo, incorporando intervenciones sobre factores físicos y psicosociales y fortalecer la evidencia científica sobre intervenciones efectivas en este contexto.

Palabras Clave: Dolor de la Región Lumbar; Minería; Factores de riesgo; Enfermedades Musculoesqueléticas; Ergonomía. (Fuente: DeCS)

Introducción

El dolor lumbar inespecífico representa uno de los problemas de salud ocupacional más frecuentes a nivel mundial y una de las principales causas de discapacidad y limitación funcional entre la población trabajadora (Safiri et al., 2020). En el ámbito laboral, constituye una de las manifestaciones más comunes de los trastornos musculoesqueléticos, especialmente en sectores como la minería. En Colombia, aunque el dolor lumbar inespecífico no se encuentra denominado expresamente en la Tabla de Enfermedades Laborales del Decreto 1477 de 2014, los trastornos lumbares asociados a factores de riesgo biomecánicos pueden ser reconocidos como enfermedades laborales cuando se demuestra la relación de causalidad con la actividad desempeñada, conforme a lo dispuesto en dicha norma. En el contexto de la minería a cielo abierto, las condiciones de trabajo implican una exposición constante a riesgos biomecánicos, tales como la operación prolongada de maquinaria pesada, la adopción de posturas estáticas o forzadas, la exposición a vibraciones de cuerpo entero y sectores con alta demanda física (GBD 2019 Ageing Collaborators, 2022). Diversos estudios han evidenciado que estos factores incrementan significativamente la probabilidad de desarrollar dolor lumbar en trabajadores mineros. En particular, investigaciones como la de Ali Murtoja (Shaikh et al., 2022) han demostrado que la vibración de cuerpo entero, las posturas incómodas y los movimientos repetitivos presentan asociaciones de moderadas a fuertes con la aparición de trastornos musculoesqueléticos en trabajadores mineros.

Además, la evidencia reciente ha comenzado a resaltar la importancia de factores no físicos en la génesis de estos trastornos musculoesqueléticos. Zhang et al. (2024) señalan que variables psicosociales como el estrés laboral, el bajo apoyo organizacional y las deficiencias en la cultura de seguridad también desempeñan un papel determinante en el desarrollo de los

trastornos musculoesqueléticos, evidenciando que estos no responden únicamente a cargas biomecánicas, sino a una interacción compleja de factores ergonómicos y organizacionales.

Los antecedentes reportados en la literatura entre 2020 y 2025 evidencian una elevada frecuencia de dolor lumbar y otros trastornos musculoesqueléticos entre los trabajadores de minería, particularmente en operadores de equipos de gran tonelaje, conductores de vehículos mineros y personal de apoyo operativo. Estudios recientes reportan prevalencias de dolor lumbar de hasta el 51,5 % en trabajadores mineros (Kunda et al., 2025), mientras que la prevalencia de trastornos musculoesqueléticos alcanza el 62,22 %, siendo la región lumbar la zona anatómica más afectada (Zhu et al., 2025). Asimismo, se ha identificado que factores como la exposición a vibraciones de cuerpo entero, la elevada carga física, las jornadas prolongadas y las condiciones del entorno laboral se asocian significativamente con la aparición de síntomas musculoesqueléticos, especialmente en la región lumbar (GBD 2022; Safiri et al., 2020). No obstante, estos hallazgos presentan variabilidad debido a las diferencias en los contextos geográficos, los niveles de tecnificación de las operaciones mineras y los métodos de evaluación utilizados (Kunda et al., 2025; Syurin et al., 2024).

A pesar de los avances en la identificación de los peligros biomecánicos, persisten limitaciones importantes en la literatura. Por un lado, muchos estudios se han centrado de manera aislada en factores ergonómicos, sin considerar de forma integrada los factores psicosociales. Por otro lado, existe dispersión en los resultados relacionados con la efectividad de las intervenciones, como los rediseños ergonómicos, los sistemas de suspensión en maquinaria y los programas de pausas activas, lo que dificulta establecer conclusiones claras para su implementación en los sistemas de gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (Shaikh et al., 2022; Liu et al., 2025).

En este sentido, se identifica un vacío de conocimiento relacionado con la limitada integración de evidencia reciente que permita analizar de forma integrada la prevalencia, los factores de riesgo, tanto ergonómicos como psicosociales, y las estrategias de intervención en el dolor lumbar inespecífico en trabajadores de minería a cielo abierto. Asimismo, las revisiones existentes han abordado principalmente el sector minero en general o contextos subterráneos, sin centrarse específicamente en operaciones a cielo abierto ni en literatura actualizada.

Por ello, la presente revisión sistemática se propone integrar la evidencia científica más reciente sobre el dolor lumbar inespecífico en trabajadores de minería a cielo abierto, con un enfoque que articula factores físicos, organizacionales y psicosociales. Se delimitó el periodo de búsqueda entre 2020 y 2025 con el propósito de sintetizar la producción científica más actual, identificar las tendencias recientes en la prevalencia, los factores de riesgo y las estrategias de intervención, y ofrecer una visión acorde con las condiciones contemporáneas del trabajo minero y los avances en la investigación en Seguridad y Salud en el Trabajo. Este enfoque busca aportar elementos clave para la toma de decisiones, facilitando el diseño de estrategias preventivas más efectivas y contextualizadas. A partir de esta problemática surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los factores de riesgo, cuál es la prevalencia y qué estrategias de intervención para el dolor lumbar inespecífico han sido reportados en la literatura científica entre 2020 y 2025 en trabajadores de minería a cielo abierto?

El objetivo del presente estudio fue identificar los factores de riesgo, la prevalencia y las intervenciones reportadas para el dolor lumbar inespecífico en trabajadores de minería a cielo abierto mediante una revisión sistemática de la literatura publicada entre 2020 y 2025.

Método

El presente estudio corresponde a una revisión sistemática con síntesis narrativa, desarrollada conforme a las directrices PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Este enfoque permitió identificar, analizar y sintetizar la evidencia científica disponible sobre los factores de riesgo, la prevalencia y las estrategias de intervención del dolor lumbar inespecífico en trabajadores de minería a cielo abierto.

El protocolo metodológico fue definido a priori. Si bien el estudio no contó con un registro prospectivo inicial en PROSPERO, este fue registrado posteriormente (CRD420261360212) con el propósito de garantizar la transparencia, la trazabilidad y la integridad del proceso de revisión sistemática, en concordancia con las recomendaciones metodológicas internacionales.

La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos PubMed, Scopus y ScienceDirect, seleccionadas por su relevancia en el ámbito de la salud laboral. Se emplearon descriptores controlados (MeSH y DeCS), así como términos libres relacionados con el dolor lumbar, la minería y los trastornos musculoesqueléticos. Las estrategias de búsqueda se adaptaron a las características de cada base de datos, utilizando operadores booleanos (AND, OR) cuando fue necesario. El detalle de las ecuaciones de búsqueda utilizadas se presenta en la Tabla 1. En todas las bases de datos se aplicó el filtro de publicaciones correspondientes al periodo 2020–2025, sin restricción de idioma.

La gestión de las referencias bibliográficas y el proceso de selección de los estudios se realizó mediante Mendeley Desktop y Microsoft Excel. Mendeley Desktop se utilizó para importar, organizar y depurar las referencias recuperadas de las diferentes bases de datos,

facilitando la identificación y eliminación de registros duplicados. Posteriormente, Microsoft Excel se empleó para el registro, la sistematización y la trazabilidad del proceso de selección, así como para la extracción y organización de la información correspondiente a las variables de interés de los estudios incluidos.

Una vez obtenidos los registros iniciales, se realizó una primera fase de selección basada en la revisión de títulos y resúmenes. En esta etapa se excluyeron aquellos documentos que no abordaban población trabajadora del sector minero, que trataban el dolor lumbar desde un enfoque no ocupacional, que se enfocaban únicamente en patologías específicas como hernias discales o estenosis, o que no presentaban información relacionada con factores de riesgo, prevalencia o intervenciones. También se eliminaron cartas al editor, comentarios, resúmenes de congresos y documentos que no correspondían a estudios originales. Los artículos potencialmente relevantes fueron seleccionados para lectura a texto completo en una segunda fase.

La calidad metodológica y el riesgo de sesgo se evaluaron según el diseño de estudio: STROBE para estudios observacionales y PRISMA para revisiones sistemáticas. Adicionalmente, se utilizó la herramienta Cochrane RoB 2 para la evaluación de los estudios experimentales identificados durante el proceso de selección, debido a que esta herramienta está diseñada para valorar el riesgo de sesgo en ensayos clínicos aleatorizados. Por otra parte, se excluyeron trabajos enfocados en poblaciones heterogéneas que no permitían identificar específicamente a trabajadores de minería a cielo abierto, estudios sin datos cuantitativos de prevalencia o sin una descripción clara de los factores de riesgo, e investigaciones que propusieran intervenciones sin evaluación de resultados. Los registros duplicados provenientes

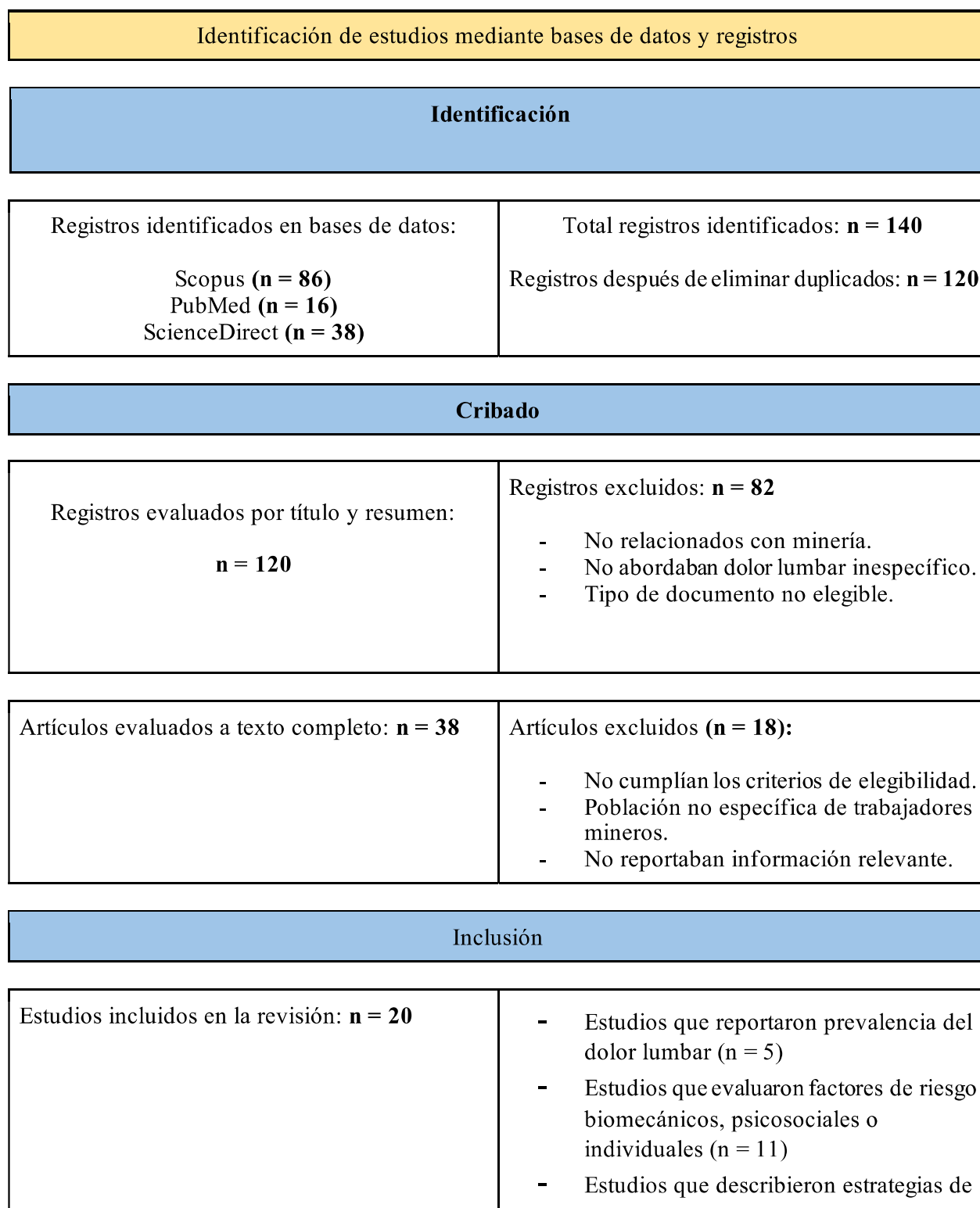
de distintas bases de datos fueron eliminados durante esta etapa. Finalmente, se incluyeron 20 estudios tras la revisión integral, los cuales cumplieron con los criterios establecidos.

El proceso completo de identificación, selección e inclusión de estudios se resume en el diagrama de flujo (Figura 1). Se incluyeron tanto estudios primarios (observacionales y ensayos clínicos) como revisiones sistemáticas, con el fin de obtener una visión integral del fenómeno estudiado. Los criterios de elegibilidad se definieron mediante el enfoque PICOS: población (trabajadores adultos en minería a cielo abierto), exposición (factores de riesgo ocupacionales o intervenciones), comparación (no obligatoria), resultados (prevalencia, factores de riesgo e intervenciones) y tipo de estudio (estudios observacionales, ensayos clínicos y revisiones sistemáticas).

Tabla 1:

Estrategias de búsqueda utilizadas en las bases de datos electrónicas.

Base de datos	Estrategia de búsqueda
ScienceDirect	("non-specific low back pain") OR ("low back pain" AND "mining workers") OR ("work-related musculoskeletal disorders" OR WMSDs)
PubMed	("low back pain" AND "mining worker") OR ("non-specific low back pain") OR ("prevalence" AND "low back pain" AND miner)
Scopus	("low back pain" AND miner) OR ("non-specific low back pain") OR ("prevalence" AND "low back pain" AND miner) OR ("work-related musculoskeletal disorders" AND miner)

Figura 1:*Diagrama de flujo PRISMA 2020.*

	intervención (n = 4)
--	----------------------

Resultados

Evaluación de la calidad metodológica de los estudios incluidos

La calidad metodológica de los estudios incluidos fue evaluada de acuerdo con el diseño metodológico de cada investigación, empleando las herramientas STROBE para estudios observacionales y PRISMA para revisiones sistemáticas, conforme a los criterios establecidos en la metodología del presente estudio. En términos generales, los estudios presentaron una calidad metodológica adecuada, lo que permitió su inclusión en la síntesis de la evidencia.

Se observó un predominio de revisiones sistemáticas y estudios observacionales, así como diferencias en los tamaños de muestra, los instrumentos de medición y los contextos de investigación. Esta heterogeneidad metodológica justificó la realización de una síntesis narrativa en lugar de un metaanálisis. Asimismo, se identificaron limitaciones relacionadas con la falta de estandarización de los métodos de evaluación ergonómica y el reducido número de investigaciones desarrolladas específicamente en trabajadores de minería a cielo abierto (Chambi et al., 2025). Los resultados de la evaluación metodológica y del riesgo de sesgo de los estudios incluidos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2:
Evaluación de riesgo de sesgo

Autor (Año)	Diseño de estudio	Herramienta	Riesgo de sesgo
Boling Zhang et al. (2024)	Metaanálisis	PRISMA	Bajo
Bovenzi (2009)	Estudio de cohorte	STROBE	Moderado

Chambi Quiroz et al. (2025)	Revisión sistemática	PRISMA	Bajo
Corp, N. et al (2021)	Revisión sistemática	PRISMA	Bajo
Da Costa & Vieira (2010)	Revisión sistemática	PRISMA	Bajo
Ijaz, M. et al (2020)	Estudio transversal	STROBE	Moderado
Duarte et al. (2020)	Revisión sistemática	PRISMA	Bajo
Jenkins, H. J. et al (2025)	Revisión sistemática	PRISMA	Bajo
Kunda Chibuye (2025)	Estudio transversal	STROBE	Moderado
Liu et al. (2025)	Estudio transversal	STROBE	Moderado
Mishra, S. et al (2024)	Revisión sistemática	PRISMA	Bajo
Murtoja Shaikh et al. (2022)	Revisión sistemática	PRISMA	Bajo
Saman Salehi et al (2024)	Revisión sistemática	PRISMA	Bajo
Sen, A et al (2020)	Revisión sistemática	PRISMA	Bajo
Syurin (2024)	Estudio observacional	STROBE	Moderado
Van Middelkoop et al. (2011)	Revisión sistemática	PRISMA	Bajo
van Tulder et al. (2006)	Revisión sistemática	PRISMA	Bajo
Yong, X. et al (2020)	Estudio transversal	STROBE	Moderado
Zhu YX et al (2025)	Estudio transversal	STROBE	Moderado

Caracterización de los estudios incluidos

Se incluyeron 20 estudios que abordaron los factores de riesgo, la prevalencia o las estrategias de intervención relacionadas con el dolor lumbar inespecífico y los trastornos musculoesqueléticos en trabajadores del sector minero. La mayoría correspondió a revisiones sistemáticas y estudios observacionales, mientras que en menor proporción se identificaron

metaanálisis y estudios longitudinales. La caracterización general de los estudios incluidos se presenta en la Tabla 3.

Con el propósito de facilitar la interpretación de la evidencia, los resultados se organizaron en cinco categorías principales: factores de riesgo biomecánicos, factores de riesgo psicosociales, factores extralaborales, prevalencia del dolor lumbar y estrategias de intervención. Los principales hallazgos de cada categoría se describen de forma narrativa en los apartados siguientes.

Factores de riesgo biomecánicos

Los factores biomecánicos fueron los más frecuentemente asociados con la aparición del dolor lumbar y otros trastornos musculoesqueléticos en trabajadores de minería. La evidencia identificó de manera consistente que la exposición a vibración de cuerpo entero, las posturas prolongadas o forzadas, los movimientos repetitivos y las condiciones ergonómicas deficientes constituyen los principales factores ocupacionales relacionados con esta condición (Shaikh et al., 2022; Duarte et al., 2020).

De manera consistente, Zhu et al. (2025) identificaron que las posturas forzadas, la carga física y las condiciones ergonómicas del trabajo se asocian con una mayor frecuencia de trastornos musculoesqueléticos, mientras que Sen et al. (2020) señalaron que la combinación de exposición a vibración, movimientos repetitivos y elevadas exigencias físicas representa uno de los principales determinantes de estos trastornos en el sector minero. En la misma línea, Yong et al. (2020) evidenciaron que la carga física, las posturas forzadas y la antigüedad laboral se relacionan con una mayor presencia de trastornos musculoesqueléticos entre los trabajadores.

En particular, la vibración de cuerpo entero fue identificada como uno de los factores de mayor relevancia, especialmente en operadores de maquinaria pesada. Duarte et al. (2020) señalaron que variables como la velocidad de operación de los equipos, las condiciones del terreno y el tipo de maquinaria influyen directamente en los niveles de vibración a los que se encuentran expuestos los trabajadores. De manera complementaria, Shaikh et al. (2022) reportaron que la combinación de vibración, posturas forzadas y movimientos repetitivos genera un efecto acumulativo que incrementa la probabilidad de desarrollar trastornos musculoesqueléticos, particularmente en la región lumbar.

Finalmente, Ijaz et al. (2020) aportaron evidencia empírica al identificar que actividades propias de la minería, como el corte de carbón, se asocian con una mayor probabilidad de presentar dolor lumbar y dorsal, lo que refuerza la importancia de controlar la carga física y las exigencias biomecánicas como parte de las estrategias de prevención en Seguridad y Salud en el Trabajo.

Factores de riesgo psicosociales

La revisión evidenció que los factores psicosociales también desempeñan un papel importante en la aparición del dolor lumbar y otros trastornos musculoesqueléticos en trabajadores del sector minero. Entre los factores más frecuentemente reportados se encuentran el estrés laboral, la elevada carga de trabajo, las condiciones organizacionales desfavorables y las deficiencias en la cultura de seguridad, los cuales contribuyen al desarrollo y mantenimiento de estos trastornos (Liu et al., 2025; Zhang et al., 2024).

En este sentido, Liu et al. (2025) identificaron una asociación consistente entre el estrés laboral y la presencia de trastornos musculoesqueléticos en diferentes subgrupos de trabajadores,

lo que evidencia que los riesgos psicosociales constituyen un determinante relevante de la salud laboral. De manera complementaria, Zhang et al. (2024) señalaron que estos factores interactúan con las exigencias biomecánicas propias de la actividad minera, configurando un escenario de riesgo multifactorial en el que las condiciones organizacionales pueden potenciar los efectos de la exposición física sobre la salud musculoesquelética.

Factores extralaborales

La revisión también permitió identificar factores individuales o extralaborales asociados con la aparición del dolor lumbar y otros trastornos musculoesqueléticos en trabajadores de minería. Entre los factores más frecuentemente reportados se encuentran la edad, el índice de masa corporal, el nivel educativo, el tabaquismo y algunos hábitos de vida, los cuales pueden influir en la susceptibilidad de los trabajadores frente a las exigencias físicas propias de la actividad minera (Shaikh et al., 2022; Kunda et al., 2025).

De manera complementaria, Shaikh et al. (2022) reportaron que la edad, el índice de masa corporal y el tabaquismo constituyen factores individuales que incrementan la probabilidad de desarrollar estas afecciones. En conjunto, estos hallazgos evidencian que el dolor lumbar inespecífico presenta un origen multifactorial, en el que los factores individuales pueden potenciar o atenuar el efecto de los riesgos biomecánicos y psicosociales presentes en el entorno laboral.

Prevalencia del dolor lumbar en trabajadores de minería

La evidencia analizada confirma que el dolor lumbar inespecífico y los trastornos musculoesqueléticos representan un problema de alta frecuencia en los trabajadores del sector

minero. Debido a la heterogeneidad de los diseños metodológicos, las poblaciones estudiadas y las variables evaluadas, no fue posible realizar un metaanálisis, por lo que los resultados se presentan mediante una síntesis narrativa.

Los estudios incluidos reportan una elevada prevalencia de dolor lumbar y otros trastornos musculoesqueléticos en la población minera. Kunda et al. (2025) encontraron que el 77 % de los trabajadores evaluados presentó dolor o malestar en al menos una región del cuerpo, siendo la región lumbar la más afectada, con una prevalencia del 51,5 %. De manera similar, Zhu et al. (2025) reportaron una prevalencia del 62,22 % de trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo, identificando nuevamente la región lumbar como la zona anatómica más comprometida.

De forma complementaria, estudios longitudinales evidenciaron una elevada carga de enfermedad ocupacional asociada a trastornos musculoesqueléticos, particularmente en trabajadores con mayor tiempo de exposición y alta intensidad laboral (Syurin et al., 2024). Estos hallazgos son consistentes con la evidencia epidemiológica internacional, la cual señala que la exposición prolongada a factores de riesgo biomecánicos y organizacionales favorece la aparición y persistencia del dolor lumbar en la población trabajadora (Safiri et al., 2020).

En conjunto, la evidencia revisada muestra que el dolor lumbar constituye uno de los trastornos musculoesqueléticos más frecuentes en los trabajadores de minería y que su ocurrencia se encuentra estrechamente relacionada con la exposición acumulativa a múltiples factores de riesgo presentes en el entorno laboral, lo que resalta la necesidad de fortalecer las estrategias de prevención desde la Seguridad y Salud en el Trabajo.

Estrategias de intervención

La evidencia revisada muestra que las estrategias de intervención reportadas en la literatura se orientan principalmente hacia la reducción de la exposición a factores de riesgo biomecánicos mediante la implementación de medidas ergonómicas. Entre las intervenciones más frecuentemente descritas se encuentran el control de la vibración de cuerpo entero, la optimización del diseño de los puestos de trabajo, la mejora de las condiciones de operación de la maquinaria pesada y la implementación de programas de ejercicio y pausas activas, con el propósito de disminuir la carga física y prevenir la aparición de trastornos musculoesqueléticos (Duarte et al., 2020; Sen et al., 2020; Salehi et al., 2024).

En este sentido, Sen et al. (2020) destacan que las intervenciones ergonómicas deben adaptarse a las condiciones específicas del entorno minero, incluyendo el rediseño de los puestos de trabajo, la optimización de herramientas y la participación activa de los trabajadores en la identificación y control de los riesgos ocupacionales. Por su parte, Corp et al. (2021) señalan que el manejo del dolor lumbar debe sustentarse en un enfoque multidimensional que combine educación, ejercicio terapéutico, intervenciones psicológicas y abordajes multidisciplinarios, superando los enfoques centrados exclusivamente en los factores físicos.

Asimismo, las revisiones sobre intervenciones terapéuticas y de rehabilitación evidencian que los programas de ejercicio específico y las intervenciones físicas pueden contribuir a reducir el dolor y mejorar la funcionalidad en personas con dolor lumbar inespecífico; sin embargo, gran parte de esta evidencia proviene de poblaciones generales y no de trabajadores del sector minero (Salehi et al., 2024; Jenkins et al., 2025; Van Middelkoop et al., 2011). En particular, Jenkins et al. (2025) concluyen que las intervenciones no quirúrgicas generan beneficios moderados sobre el dolor y la discapacidad en el largo plazo, aunque no identifican una estrategia única con superioridad consistente, lo que respalda la implementación de abordajes multimodales.

No obstante, también se identificaron limitaciones importantes en la evidencia disponible. Shaikh et al. (2022) señalaron que, pese a la existencia de múltiples propuestas de intervención, aún no se dispone de evidencia suficientemente robusta sobre su efectividad en contextos específicos de minería. De igual forma, se observó una limitada incorporación de estrategias dirigidas al control de factores psicosociales y organizacionales, lo que evidencia la necesidad de desarrollar intervenciones integrales que aborden de manera simultánea los riesgos físicos y psicosociales presentes en el entorno laboral.

Tabla 3:
Matriz de resultados

Autor (año)	Tipo de estudio	Población / muestra	Factores de riesgo o intervención evaluada	Principal aporte a la revisión
Zhang et al. (2024)	Metaanálisis	49 estudios	Factores laborales y condiciones de trabajo	Evidencia cuantitativa sobre los principales factores ocupacionales que afectan la salud de los trabajadores mineros.
Bovenzi (2009)	Cohorte prospectiva	537 conductores	Vibración de cuerpo entero	Demostó una relación dosis-respuesta entre la exposición a vibración y el dolor lumbar.
Chambi et al. (2025)	Revisión sistemática	49 estudios	Métodos de evaluación ergonómica	Identificó la vibración y las jornadas prolongadas como factores frecuentes y evidenció la escasez de estudios en minería a cielo abierto.
Corp et al. (2021)	Revisión sistemática	Guías clínicas	Tratamientos para dolor lumbar	Sintetizó recomendaciones basadas en evidencia para el manejo del dolor lumbar.
da Costa y Vieira (2010)	Revisión sistemática	23 estudios	Factores físicos y psicosociales	Confirmó la influencia conjunta de factores biomecánicos y psicosociales en los trastornos musculoesqueléticos.
Ijaz et al. (2020)	Estudio transversal	260 mineros	Trabajo físico intenso	Evidenció la asociación entre las exigencias físicas del trabajo y el dolor lumbar.
Duarte et al. (2020)	Revisión sistemática	176 estudios	Vibración de cuerpo entero	Identificó la vibración producida por maquinaria pesada como uno de los principales factores biomecánicos.
Jenkins et al. (2025)	Revisión sistemática y metaanálisis	23 estudios	Intervenciones no quirúrgicas	Evidenció beneficios a largo plazo de algunas intervenciones para el dolor lumbar crónico.
Kunda et al. (2025)	Estudio transversal	357 trabajadores	Vibración, pausas, condiciones laborales	Aportó datos recientes sobre prevalencia y factores ocupacionales en trabajadores mineros.
Liu et al. (2025)	Estudio transversal	1.130 trabajadores	Estrés laboral	Evidenció la influencia de los factores psicosociales sobre los trastornos musculoesqueléticos.

Mishra et al. (2024)	Revisión sistemática y metaanálisis	35 estudios	Trastornos musculoesqueléticos	Confirmó la elevada frecuencia de trastornos musculoesqueléticos en distintas ocupaciones.
Shaikh et al. (2022)	Revisión sistemática y metaanálisis	51 estudios	Factores biomecánicos e individuales	Integró la evidencia sobre los principales factores de riesgo de los trastornos musculoesqueléticos en minería.
Salehi et al. (2024)	Revisión sistemática y metaanálisis	54 estudios	Ejercicio terapéutico	Demostró la efectividad del ejercicio específico para reducir el dolor lumbar inespecífico.
Sen et al. (2020)	Revisión sistemática	100 estudios	Ergonomía	Destacó la importancia de las intervenciones ergonómicas en minería.
Syurin (2024)	Estudio longitudinal	4.502 trabajadores	Enfermedades ocupacionales	Evidenció la elevada carga de enfermedad ocupacional en trabajadores mineros expuestos durante largos periodos.
Van Middelkoop et al. (2011)	Revisión sistemática	54 estudios	Rehabilitación física	Sintetizó la evidencia sobre intervenciones físicas para dolor lumbar crónico.
Van Tulder et al. (2006)	Revisión sistemática	17 estudios	Tratamientos no invasivos	Constituye un referente para el manejo conservador del dolor lumbar.
Yong et al. (2020)	Estudio transversal	1.500 trabajadores	Posturas y carga física	Confirmó la elevada frecuencia de trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo.
Zhu et al. (2025)	Estudio transversal	64 trabajadores*	Ergonomía y carga física	Aportó evidencia reciente sobre los factores asociados a los trastornos musculoesqueléticos en minería subterránea.

Discusión

La presente revisión sistemática confirma que el dolor lumbar inespecífico constituye un problema altamente prevalente en trabajadores de minería a cielo abierto, particularmente en contextos caracterizados por elevadas demandas físicas y organizacionales. Estos hallazgos son consistentes con la evidencia epidemiológica disponible, la cual reconoce al dolor lumbar como una de las principales causas de discapacidad y a los trastornos musculoesqueléticos como una de las principales causas de morbilidad relacionada con el trabajo (Woolf & Pfleger, 2003; Safiri et al., 2020; GBD 2019 Collaborators, 2022).

Asimismo, son coherentes con la evidencia poblacional reportada por Robinson et al. (2023), quienes identificaron una mayor carga de trastornos musculoesqueléticos entre trabajadores del sector minero y otras ocupaciones con alta demanda física. En conjunto, estos resultados refuerzan la relevancia del dolor lumbar como una prioridad para la Seguridad y Salud en el Trabajo, especialmente en actividades con exposición prolongada a factores de riesgo biomecánicos.

En concordancia con estos resultados, Syurin et al. (2024) reportaron que las enfermedades ocupacionales más frecuentes en trabajadores mineros fueron la radiculopatía (20,7 %), la enfermedad por vibración (20,1 %) y la pérdida auditiva neurosensorial (16,6 %), observándose además un menor tiempo de aparición de estas patologías en trabajadores dedicados a labores de extracción. Aunque estas afecciones no corresponden específicamente al dolor lumbar inespecífico, comparten mecanismos relacionados con la exposición prolongada a vibración de cuerpo entero, sobrecarga biomecánica y condiciones de trabajo exigentes. En Colombia, varias de estas alteraciones osteomusculares pueden ser reconocidas como

enfermedades laborales cuando se demuestra su relación causal con la exposición ocupacional, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1477 de 2014, lo que resalta la importancia de fortalecer las estrategias preventivas en el sector minero.

En relación con los factores de riesgo, los resultados evidencian que los factores biomecánicos continúan siendo determinantes clave en la aparición del dolor lumbar. En particular, la exposición a vibración de cuerpo entero, las posturas forzadas y los movimientos repetitivos se asociaron de manera consistente con trastornos musculoesqueléticos, lo cual coincide con estudios recientes que destacan la influencia de la carga física acumulativa en entornos laborales exigentes (Zhu et al., 2025; Shaikh et al., 2022). La coincidencia entre los estudios incluidos fortalece la evidencia de que la exposición prolongada a estos factores constituye uno de los principales mecanismos asociados con el desarrollo del dolor lumbar en minería.

Estos factores adquieren especial relevancia en la minería a cielo abierto, donde los trabajadores permanecen durante extensas jornadas operando camiones de gran tonelaje, excavadoras hidráulicas, cargadores frontales y otros equipos móviles de alta capacidad, los cuales generan exposición continua a vibración de cuerpo entero, posturas estáticas prolongadas y movimientos repetitivos. Estas condiciones incrementan la carga biomecánica sobre la columna lumbar y favorecen la aparición de trastornos musculoesqueléticos, especialmente cuando se combinan con jornadas laborales extensas y condiciones ambientales adversas.

Por otra parte, la evidencia analizada resalta el papel creciente de los factores psicosociales en la aparición del dolor lumbar, incluyendo el estrés laboral, las altas demandas de trabajo y las condiciones organizacionales desfavorables. Estos hallazgos son consistentes con el

modelo biopsicosocial del dolor, el cual plantea que los factores psicológicos y sociales influyen tanto en la aparición como en la persistencia y cronificación del dolor lumbar (Linton, 2000; Gatchel et al., 2007). En concordancia con este enfoque, Liu et al. (2025) evidenciaron que el estrés laboral se asocia significativamente con la presencia de trastornos musculoesqueléticos en trabajadores del sector minero, incluso después de considerar otros factores ocupacionales, lo que refuerza la necesidad de abordar el dolor lumbar desde una perspectiva integral que contemple simultáneamente los factores biomecánicos, psicosociales y organizacionales.

Asimismo, se identificó la influencia de factores individuales, como la edad, el índice de masa corporal y los hábitos de vida, los cuales pueden actuar como moduladores del riesgo. Este hallazgo coincide con investigaciones epidemiológicas que destacan la influencia de los factores personales en la aparición y evolución del dolor lumbar (Hartvigsen et al., 2018). De manera consistente, Shaikh et al. (2022) y Chibuye et al. (2025) señalan que estos factores pueden potenciar los efectos de las exposiciones biomecánicas y psicosociales presentes en el entorno laboral, lo que resalta la necesidad de implementar intervenciones preventivas integrales y adaptadas a las características de la población trabajadora.

En cuanto a las estrategias de intervención, se observa un predominio de enfoques centrados en la ergonomía y la reducción de la exposición a factores físicos. Las intervenciones reportadas incluyen el rediseño ergonómico de los puestos de trabajo, el control de la vibración de cuerpo entero, la mejora de los asientos y sistemas de suspensión de la maquinaria, la optimización de las posturas laborales, así como programas de ejercicio terapéutico y educación en salud (Sen et al., 2020; Salehi et al., 2024). No obstante, la evidencia sobre la efectividad de estas estrategias en el contexto de la minería continúa siendo limitada y presenta resultados heterogéneos, lo cual también ha sido señalado en revisiones sistemáticas previas (Van

Middelkoop et al., 2011). Asimismo, persiste una escasa integración de intervenciones dirigidas a los factores psicosociales, pese a la evidencia que demuestra la contribución de los abordajes psicológicos y multidisciplinarios en el manejo del dolor lumbar crónico (Nicholas & George, 2011). En conjunto, estos hallazgos coinciden con las recomendaciones de las guías clínicas internacionales, las cuales promueven un manejo integral del dolor lumbar y desaconsejan intervenciones centradas exclusivamente en el tratamiento físico.

Desde la perspectiva ergonómica, los hallazgos de esta revisión ponen de manifiesto la necesidad de integrar acciones de microergonomía y macroergonomía. La microergonomía comprende el diseño y adecuación de los puestos de trabajo, el control de la vibración, la mejora de los asientos y sistemas de suspensión de la maquinaria y la optimización de las posturas laborales. Por su parte, la macroergonomía incorpora elementos organizacionales como la planificación de las jornadas, los tiempos de descanso, la cultura de seguridad, la participación de los trabajadores y la gestión de los procesos de trabajo. La implementación conjunta de ambos enfoques podría contribuir a reducir simultáneamente los factores biomecánicos y psicosociales identificados en esta revisión, fortaleciendo las estrategias de prevención del dolor lumbar en minería a cielo abierto.

En conjunto, estos hallazgos evidencian que las estrategias preventivas en minería a cielo abierto deben sustentarse en un enfoque sistémico que integre la ergonomía, la organización del trabajo y la gestión de los factores psicosociales.

Finalmente, la heterogeneidad metodológica de los estudios incluidos representa una limitación importante, ya que dificulta la comparación directa de los resultados debido a las diferencias en los diseños, los instrumentos de evaluación y las poblaciones estudiadas. Esta

situación ha sido reportada en revisiones recientes y pone de manifiesto la necesidad de fortalecer el diseño metodológico de futuras investigaciones mediante estudios longitudinales y ensayos de intervención específicos para minería a cielo abierto, que permitan establecer asociaciones más sólidas entre los factores de riesgo identificados y la efectividad de las estrategias preventivas (Higgins et al., 2022).

Conclusiones

La presente revisión sistemática permitió confirmar que el dolor lumbar inespecífico constituye un problema de alta prevalencia en trabajadores de minería a cielo abierto, especialmente en aquellos expuestos de manera prolongada a vibración de cuerpo entero, posturas forzadas o estáticas, movimientos repetitivos y jornadas laborales extensas. Estos hallazgos evidencian que los factores biomecánicos continúan siendo los principales determinantes del desarrollo de trastornos musculoesqueléticos en este sector, particularmente entre operadores de maquinaria pesada y conductores, y son consistentes con la evidencia epidemiológica reportada por Robinson et al. (2023), quienes documentaron una mayor carga de trastornos musculoesqueléticos en trabajadores del sector minero y otras ocupaciones de elevada exigencia física.

Asimismo, la evidencia analizada demuestra que el dolor lumbar inespecífico presenta un origen multifactorial, resultado de la interacción entre factores biomecánicos, psicosociales e individuales. Variables como el estrés laboral, las condiciones organizacionales, la edad, el índice de masa corporal y algunos hábitos de vida pueden potenciar el efecto de las exigencias

físicas propias de la actividad minera, lo que resalta la necesidad de abordar este problema desde una perspectiva integral en los Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Respecto a las estrategias de intervención, la revisión evidenció un predominio de medidas dirigidas al control de los factores biomecánicos, principalmente mediante intervenciones ergonómicas, programas de ejercicio terapéutico y acciones orientadas a reducir la exposición a la vibración de cuerpo entero. Sin embargo, también se identificó que la evidencia disponible sobre la efectividad de estas intervenciones en trabajadores de minería a cielo abierto aún es limitada y que existe una escasa incorporación de estrategias dirigidas a los factores psicosociales y organizacionales, lo que representa una oportunidad para fortalecer futuras investigaciones y programas de prevención.

Desde la perspectiva de la Seguridad y Salud en el Trabajo, los hallazgos de esta revisión resaltan la importancia de implementar estrategias preventivas que integren acciones de microergonomía y macroergonomía. Esto implica no solo intervenir las condiciones físicas de los puestos de trabajo y la operación de la maquinaria, sino también fortalecer aspectos relacionados con la organización del trabajo, la gestión de las jornadas laborales, la cultura de seguridad y la participación de los trabajadores en la identificación y control de los riesgos ocupacionales.

Finalmente, esta revisión aporta una síntesis actualizada de la evidencia científica publicada entre 2020 y 2025 sobre la prevalencia, los factores de riesgo y las estrategias de intervención del dolor lumbar inespecífico en trabajadores de minería a cielo abierto. Sus resultados constituyen un insumo para orientar la toma de decisiones en los Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo y ponen de manifiesto la necesidad de desarrollar

investigaciones con metodologías más homogéneas y estudios de intervención específicos que permitan fortalecer la evidencia disponible para este sector.

Recomendaciones para empresas del sector minero.

Se recomienda que las empresas del sector minero fortalezcan sus Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo mediante la identificación temprana, evaluación y control de los factores de riesgo asociados con el dolor lumbar inespecífico. Para ello, resulta fundamental implementar programas de vigilancia epidemiológica de los trastornos musculoesqueléticos que permitan monitorear de manera sistemática la exposición a factores biomecánicos, psicosociales y organizacionales presentes en las operaciones de minería a cielo abierto.

De igual manera, se recomienda fortalecer las evaluaciones ergonómicas de los puestos de trabajo, especialmente en operadores de maquinaria pesada y conductores, priorizando el control de la vibración de cuerpo entero, la reducción de posturas forzadas o prolongadas, la optimización de los tiempos de exposición y la organización de las jornadas laborales. Estas acciones deben complementarse con la participación activa de los trabajadores en la identificación de peligros y en el diseño de medidas de control, favoreciendo una cultura preventiva dentro de la organización.

Recomendaciones para la intervención desde la Seguridad y Salud en el Trabajo

Las estrategias de intervención deben priorizar un enfoque preventivo e integral, orientado a controlar los factores de riesgo antes de que se desarrollen trastornos musculoesqueléticos. En este sentido, se recomienda combinar acciones de microergonomía, dirigidas al diseño y adaptación de los puestos de trabajo, el control de la vibración y la

adecuación de la maquinaria, con estrategias de macroergonomía enfocadas en la organización del trabajo, la gestión de las jornadas laborales, las pausas programadas, la carga de trabajo y el fortalecimiento de la cultura de seguridad.

Adicionalmente, una vez identificados los trabajadores con síntomas o factores de riesgo elevados, las empresas pueden complementar estas acciones preventivas mediante programas de promoción de la actividad física, pausas activas, educación en salud, ejercicios terapéuticos y seguimiento médico ocupacional, con el propósito de reducir la progresión del dolor lumbar y favorecer el mantenimiento de la capacidad funcional de los trabajadores.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones desarrollen estudios de intervención específicos en minería a cielo abierto que permitan evaluar la efectividad de las estrategias preventivas implementadas y generar evidencia de mayor calidad para orientar la toma de decisiones en Seguridad y Salud en el Trabajo.

Limitaciones

El presente estudio presenta algunas limitaciones. En primer lugar, se identificó una alta heterogeneidad metodológica entre los estudios incluidos, relacionada con los diseños de investigación, los instrumentos de medición, los tamaños de muestra y las características de las poblaciones analizadas, lo que dificultó la comparación directa de los resultados e impidió la realización de un metaanálisis. Esta limitación ha sido ampliamente reconocida en revisiones sistemáticas recientes en el ámbito de la salud ocupacional (Higgins et al., 2022).

Adicionalmente, aunque la estrategia de búsqueda no estableció restricciones de idioma, la revisión se limitó a las bases de datos PubMed, Scopus y ScienceDirect. En consecuencia, es

posible que algunos estudios relevantes publicados en otras fuentes de información no hayan sido identificados. Asimismo, varios de los estudios incluidos correspondieron a revisiones sistemáticas y estudios observacionales realizados en diferentes contextos geográficos, lo que limita la extrapolación de los resultados al contexto específico de la minería a cielo abierto.

Fortalezas del estudio

Como fortaleza metodológica, la presente revisión se desarrolló siguiendo las directrices PRISMA 2020 y contó con un protocolo metodológico definido previamente, el cual fue registrado posteriormente en PROSPERO (CRD420261360212). Asimismo, la evaluación de la calidad metodológica mediante las herramientas STROBE y PRISMA permitió realizar una valoración sistemática de los estudios incluidos, fortaleciendo la transparencia, la rigurosidad y la confiabilidad del proceso de revisión.

Líneas futuras de investigación

Se recomienda desarrollar estudios primarios con diseños metodológicos más homogéneos, especialmente en trabajadores de minería a cielo abierto, que permitan estimar con mayor precisión la prevalencia del dolor lumbar y cuantificar la asociación entre los factores de riesgo biomecánicos, psicosociales y organizacionales mediante medidas de efecto. Asimismo, se requieren investigaciones que evalúen la efectividad de intervenciones preventivas dirigidas a reducir la exposición a vibración de cuerpo entero, mejorar las condiciones ergonómicas y fortalecer los factores organizacionales, con el fin de generar evidencia más robusta para la toma de decisiones en Seguridad y Salud en el Trabajo (GBD 2019 Ageing Collaborators, 2022).

Referencias Bibliográficas

Bovenzi, M. (2009). Metrics of whole-body vibration and exposure–response relationship for low back pain in professional drivers: A prospective cohort study. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 82(7), 893–917. <https://doi.org/10.1007/s00420-008-0376-3>

Chambi Quiroz, N., Inche Mitma, D. M., & Sanga, C. (2025). Systematic review of ergonomic assessment methods in the mining sector (2015–2024). *Journal of Safety Science and Resilience*, 6(4). <https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2025.100215>

Corp, N., Mansell, G., Stynes, S., Wynne-Jones, G., Morsø, L., Hill, J. C., & van der Windt, D. A. (2021). Evidence-based treatment recommendations for neck and low back pain across Europe: A systematic review of guidelines. *European Journal of Pain*, 25(2), 275–295. <https://doi.org/10.1002/ejp.1679>

da Costa, B. R., & Vieira, E. R. (2010). Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: A systematic review of recent longitudinal studies. *American Journal of Industrial Medicine*, 53(3), 285–323. <https://doi.org/10.1002/ajim.20750>

Duarte, J., Castelo Branco, J., Matos, M. L., & Santos Baptista, J. (2020). Understanding whole-body vibration produced by mining equipment as a factor influencing workers' well-being: A systematic review. *The Extractive Industries and Society*, 7(4), 1607–1623. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.08.002>

Gatchel, R. J., Peng, Y. B., Peters, M. L., Fuchs, P. N., & Turk, D. C. (2007). The biopsychosocial approach to chronic pain: Scientific advances and future directions. *Psychological Bulletin*, 133(4), 581–624. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.4.581>

GBD 2019 Ageing Collaborators. (2022). Global, regional, and national burden of diseases and injuries in older adults (70+ years): A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *BMJ*, 376. <https://doi.org/10.1136/bmj-2021-068208>

Hartvigsen, J., Hancock, M. J., Kongsted, A., Louw, Q., Ferreira, M. L., Genevay, S., Hoy, D., Karppinen, J., Pransky, G., Sieper, J., Smeets, R. J., & Underwood, M. (2018). What low back pain is and why we need to pay attention. *The Lancet*, 391(10137), 2356–2367. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)30480-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30480-X)

Ijaz, M., Akram, M., Ahmad, S. R., Mirza, K., Nadeem, F. A., & Thygersson, S. M. (2020). Risk factors associated with the prevalence of upper and lower back pain among male underground coal miners in Punjab, Pakistan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), 4102. <https://doi.org/10.3390/ijerph17114102>

Jenkins, H. J., Corrêa, L., Brown, B. T., Ferreira, G. E., Nim, C., Aspinall, S. L., Wareham, D., Choi, J., Maher, C. G., & Hancock, M. J. (2025). Long-term effectiveness of non-surgical interventions for chronic low back pain: A systematic review and meta-analysis. *The Lancet Rheumatology*, 7(9), e607–e617. [https://doi.org/10.1016/S2665-9913\(25\)00064-5](https://doi.org/10.1016/S2665-9913(25)00064-5)

Kunda, C., Lupenga, J., & Meki, C. D. (2025). Prevalence and occupational risk factors of musculoskeletal disorders among miners in Kalumbila mine, Zambia: A cross-sectional study. *Health Science Reports*, 8(6). <https://doi.org/10.1002/hsr2.70907>

Linton, S. J. (2000). A review of psychological risk factors in back and neck pain. *Spine*, 25(9), 1148–1156. <https://doi.org/10.1097/00007632-200005010-00017>

Liu, W., Lvqiu, S., Wang, D., et al. (2025). Occupational stress and its adverse health effects among metallurgical mining workers in China: A cross-sectional study. *Scientific Reports*, 15, 40785. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-24484-9>

Mishra, S., Avinash, G., Kundu, M. G., Verma, J., Sheth, A., & Dutta, A. (2024). Work-related musculoskeletal disorders among workers in various occupations in India: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Occupational Health*, 67(1), uiae077. <https://doi.org/10.1093/joccuh/uiae077>

Shaikh, A. M., Mandal, B. B., & Mangalavalli, S. M. (2022). Causal and risk factors of musculoskeletal disorders among mine workers: A systematic review and meta-analysis. *Safety Science*, 155. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105868>

Nicholas, M. K., & George, S. Z. (2011). Psychological interventions for low back pain: An update for physiotherapists. *Physical Therapy*, 91(5), 765–776.
<https://doi.org/10.2522/ptj.20100278>

World Health Organization. (2021). *World health statistics 2021: Monitoring health for the SDGs*. <https://digitallibrary.un.org/record/3935247>

Robinson, T., Sussell, A., Scott, K., & Poplin, G. (2023). Health conditions among male mining workers and other manual labor industries: National Health Interview Survey, 2007–2018. *American Journal of Industrial Medicine*, 66(8), 692–704.
<https://doi.org/10.1002/ajim.23483>

Salehi, S., Sobhani, V., Mir, S. M., Keivanfar, N., Shamsoddini, A., & Hashemi, S. E. (2024). Effectiveness of specific exercises in patients with non-specific low back pain: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 39, 673–705. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2024.03.049>

Sen, A., Sanjog, J., & Karmakar, S. (2020). A comprehensive review of work-related musculoskeletal disorders in the mining sector and the scope of ergonomic interventions. *IIEE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors*, 8(3), 113–131.
<https://doi.org/10.1080/24725838.2020.1843564>

Syurin, S. A. (2024). Occupational diseases in underground miners of the Kola Peninsula: A 14-year longitudinal observational study. *Public Health and Life Environment*, 32(5), 42–52.
<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-5-42-52>

Van Middelkoop, M., Rubinstein, S. M., Kuijpers, T., Verhagen, A. P., Ostelo, R., Koes, B. W., & Van Tulder, M. W. (2011). A systematic review on the effectiveness of physical and rehabilitation interventions for chronic non-specific low back pain. *European Spine Journal*, 20(1), 19–39. <https://doi.org/10.1007/s00586-010-1518-3>

Van Tulder, M. W., Koes, B., & Malmivaara, A. (2006). Outcome of non-invasive treatment modalities on back pain: An evidence-based review. *European Spine Journal*, 15(Suppl 1), S64–S81. <https://doi.org/10.1007/s00586-005-1048-6>

Woolf, A. D., & Pfleger, B. (2003). Burden of major musculoskeletal conditions. *Bulletin of the World Health Organization*, 81(9), 646–656. <https://doi.org/10.1590/S0042-96862003000900007>

Yong, X., Li, F., Ge, H., Sun, X., Ma, X., & Liu, J. (2020). Cross-sectional epidemiological study of work-related musculoskeletal disorders among coal miners in Xinjiang. *BioMed Research International*. <https://doi.org/10.1155/2020/3164056>

Zhang, B., Yin, X., Guo, Y., & Tong, R. (2024). What occupational risk factors significantly affect miners' health? Findings from a meta-analysis and association rule mining. *Journal of Safety Research*, 89, 197–209. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2024.02.010>

Zhu, Y. X., Sun, K., Zhang, Y. X., Yang, C., Guo, K. Y., & Jin, Y. L. (2025). Work-related musculoskeletal disorders and influencing factors among underground coal miners. *Chinese Journal of Industrial Hygiene and Occupational Diseases*, 43(8), 600–605. <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121094-20240421-00173>