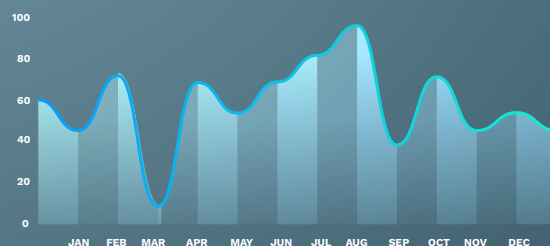
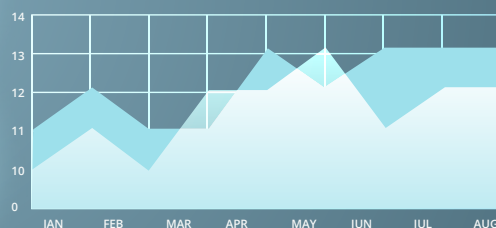
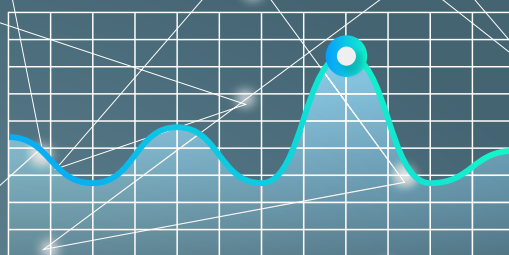


Vol.9



# CIENCIA, TECNOLOGÍA E, INNOVACION EN SALUD



# CIENCIA, TECNOLOGÍA E, INNOVACIÓN **EN SALUD**

**Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA**

**Grupo de Investigación Ciencia, Tecnología e Innovación en Salud  
CITEISA**

Jorge Eduardo Londoño Ulloa  
**Director General SENA**

Claudia Patricia Foreno Londoño  
**Coordinadora Grupo de Gestión  
Estratégica de la Formación**

Emily Elisa Coronado Garcés  
**Directora Regional Antioquia  
SENA Regional Antioquia**

Nora Luz Salazar Marulanda  
**Subdirectora  
Centro de Servicios de Salud**

Luis Guillermo Arboleda Nonera  
**Coordinador de Formación Profesional  
Centro de Servicios de Salud**

Diana Catalina Arcila Echavarría  
**Dinamizadora SENNOVA  
Centro de Servicios de Salud**

Maritza Elena Turizo Arzuza  
**Líder Grupo de Investigación CITEISA  
Centro de Servicios de Salud**

Sofía Rojas Quintero  
**Diseño y Diagramación  
Centro de Servicios de Salud**

Sebastián Londoño Marín  
**Corrección de Estilo  
Centro de Servicios de Salud**

Revista Ciencia, Tecnología e Innovación en Salud, 2024  
SENA Regional Antioquia.  
76 páginas; 21.59 cm x 27.94 cm

ISSN 2590-5708  
2024

## Comité Editorial

Diana Catalina Arcila Echavarría

**Ingeniera Química**

**Magíster en Ingeniería con Énfasis en Química**

**Doctorado en Biotecnología**

**Dinamizadora SENNOVA Centro de Servicios de Salud**

Sebastián Londoño Marín

**Administrador de Empresas**

**Especialista en Formulación y Evaluación de Proyectos**

**Contratista SENNOVA - SENA**



## Comité Científico

Samuel Agudelo Gamboa

**Estadístico.**

**Magíster en Epidemiología.**

Luisa Fernanda Granger Serrano

**Ingeniera biológica.**

**Magíster en Biotecnología.**

**Especialista en Métodos y Técnicas de investigación social.**

Heber Esteban Bermúdez González

**Bsc en Estadística.**

**Especialización en Ingeniería de Datos.**

**Msc en Inteligencia artificial.**

Fabian Andrés Muñoz Alegría

**Ingeniero de sistemas.**

**Especialista en Gestión de Sistemas y Tecnologías de la Información.**

John Fredy Holguín Múnera

**PhD en Biotecnología.**

Mariana Ramírez Zuleta

**Licenciada en Humanidades y Lengua Castellana, Magíster en Innovación Social y Territorio.**

Lileth Carolina Narváez González

**Enfermera.**

**Profesional en Administración en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST).**

**Especialista en Ergonomía.**

Gabriel Barrera González

**Ingeniero Industrial .**

**Magíster en Educación**



## POLÍTICA EDITORIAL

### Temática y Alcance

#### LISTA DE COMPROBACIÓN PARA LA PREPARACIÓN DE ENVÍOS

Como parte del proceso de envío, los autores/as están obligados a comprobar que su envío cumpla todos los elementos que se muestran a continuación. Se devolverán a los autores/as aquellos envíos que no cumplan estas directrices.

- El trabajo no ha sido publicado previamente, ni se ha presentado a otra revista (o se ha proporcionado una explicación en "Comentarios al editor").
- El archivo enviado está en formato, Microsoft Word.
- Se han añadido direcciones web para las referencias donde ha sido posible.
- El texto tiene interlineado doble; el tamaño y tipo de fuente es Times New Roman 12 puntos; se usa cursiva en vez de subrayado (exceptuando las direcciones URL); y todas las ilustraciones, figuras y tablas están dentro del texto en el sitio que les corresponde y no al final de todo.
- El texto cumple con los requisitos bibliográficos y de estilo indicados en las Instrucciones a los/las autores/as, que se pueden encontrar en Acerca de la revista.

#### DIRECTRICES PARA AUTORES/AS

La revista CITEISA se propone estimular la difusión de temas de actualidad nacional e internacional en las áreas de plásticos, materiales, metalmecánica, recubrimientos duros, gestión industrial, gestión medioambiental, gestión tecnológica, gestión de calidad, gestión del conocimiento y gestión de la innovación y afines, que recojan el resultado de investigaciones, la reflexión científica, y la producción intelectual de los investigadores. Los juicios emitidos por los autores de los artículos son de su entera responsabilidad; por lo tanto, no comprometen las políticas del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA ni las del comité editorial. La periodicidad de la revista es anual, la cual puede variar en caso de publicar una edición especial.

Los autores deben enviar sus artículos a la coordinación de la revista. Recibido el texto, éste se somete a una preselección por parte del comité editorial en la que se determina su pertinencia temática para la revista. Seguido, se somete a una revisión en busca de similitud en iThenticate.

Una vez calificado como pertinente para la publicación y que no contiene un % alto de similitud, inicia el proceso de evaluación académica, en el que se conserva el anonimato de los evaluadores y los autores. Este proceso determina la idoneidad académica del texto y la posibilidad de publicación, o la necesidad de solicitar modificaciones a los autores para nuevamente someter el trabajo a una nueva evaluación.

La revista CITEISA sigue las pautas de Minciencias para la indexación de publicaciones seriadas, dando preferencia a los artículos de:

La revista CITEISA sigue las pautas de Minciencias para la indexación de publicaciones seriadas, dando preferencia a los artículos de:

**INVESTIGACIÓN:** relata la manera de delimitar la pregunta de la investigación, el camino para someterla a prueba (análisis estadístico del experimento, protocolos disciplinarios) y la confrontación de los datos



generados con la literatura actual.

**REFLEXIÓN:** documentos que presentan resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales y de revisión.

**REVISIÓN:** es el resultado de una investigación terminada donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica superior a 50 referencias.

## PROCESO DE EDICIÓN DE LOS ARTÍCULOS

La revista es de acceso abierto y publica anualmente artículos en español e inglés sin costo alguno, durante todo el año se están recibiendo artículos. Sí los artículos son avalados por el comité editor, se envían a por lo menos dos pares anónimos calificados y externos al comité editor. Este proceso continúa con la verificación de las evaluaciones de los árbitros y las respuestas por parte del autor, solicitando de igual forma las modificaciones de estilo que considere pertinentes antes de autorizar su publicación. El artículo aprobado por el comité se remite a los autores para la aprobación de la versión final. El autor recibe un ejemplar de la publicación. Las publicaciones para autores afiliados al Centro de Servicios de Salud no superarán el 30% por número.

## LINEAMIENTOS PARA PRESENTACIÓN DE LOS ARTÍCULOS

- Los artículos remitidos deben ser originales, escritos en español o inglés, no publicados con anterioridad o simultáneamente en otra revista o en línea.
- Es indispensable que los autores indiquen si su artículo es producto o desarrollo de una investigación en curso o se debe incluir en una nota a pie de página el nombre del proyecto, las fechas en que inició y terminó, la entidad que lo financió y lo ejecutó.
- Los artículos pueden contener máximo 20 páginas numeradas, las cuales incluyen fotografías, gráficos o tablas, en papel tamaño carta. Deben presentarse a espacio sencillo (1,15) y en fuente Times New Roman, Tamaño de letra 12 puntos y (dichas solicitudes se plantean en aras de facilitar la revisión por parte de los evaluadores, pues una vez se aprueba el artículo pasa por un proceso de diagramación el cual puede variar el aspecto final del manuscrito)
- El autor debe anexar la siguiente información: correo electrónico personal, número telefónico, número de celular y dirección de correspondencia, a fin de facilitar el contacto y el seguimiento a la publicación.
- El documento se debe entregar en un archivo de Word.
- Se deben Anexar las imágenes en la más alta calidad posible.

## INSTRUCCIONES ESPECIALES PARA LA DIGITACIÓN:

**Párrafos:** se justifican sin dejar espacio entre los consecutivos y sin partir las palabras; no dejar más de un espacio entre palabras después de coma, punto y coma, dos puntos, paréntesis y punto seguido. No incluir saltos de página o finales de sección; los guiones tipográficos deben ser largos y tocar la palabra adjunta: (-) pero el que se usa entre palabras y números es el del teclado, y sin dejar espacio ejemplo: Petro-químico, 2000-2007.



**Ecuaciones:** se presentan en el procesador incluido en Word, en la fuente Times New Roman 9 puntos; para los símbolos de las constantes, variables y funciones se utilizan letras latinas básicas o griegas incluidas en las ecuaciones y deben ir en cursiva; los símbolos matemáticos y los números no van en cursiva, identificando los símbolos inmediatamente después de la ecuación. Los términos de las ecuaciones y las fórmulas químicas en el texto deben ir en cursiva. Los números que identifican las ecuaciones deben ir entre paréntesis y en letra cursiva, al lado derecho de las mismas. Las fracciones en las fórmulas deben escribirse con barra horizontal. Al enunciarlas dentro del texto se pueden escribir con la barra oblicua. Las ecuaciones deben numerarse secuencialmente y estar referenciadas dentro del texto.

**Figuras:** el término Figura se utiliza para los diagramas, las fotos y los gráficos, las notas relacionadas con la Figura se incluyen en la parte inferior de la misma y la información contenida debe ser muy completa e incluir indicadores que permitan dar información al artículo. Las figuras no requieren de recuadros y se deben nombrar, numerar y referenciar en el artículo, en estricto orden. El título se escribe tipo oración, se digita como un párrafo normal fuera de la figura, utilizando la fuente Times New Roman 12 puntos.

**Tablas:** los encabezamientos de cada columna deben ser breves con las unidades de medida entre paréntesis. Las notas relacionadas con la tabla deben ser muy completas, deben orientar al lector y se incluyen en la parte superior de la misma. Las tablas no deben estar como imagen y se deben nombrar, numerar y referenciar en el artículo, en estricto orden. El título se escribe tipo oración, se digita como un párrafo normal fuera de la figura, utilizando la fuente Times New Roman 12 puntos.

Las **figuras y tablas** deben tener numeración consecutiva independiente, deben estar referenciadas dentro del texto y antes de ser presentadas. Las abreviaturas y los símbolos usados en las tablas y las figuras deben ser explicados en la parte inferior de las mismas. Los gráficos, figuras y fotografías deben ser utilizados en colores con una resolución mayor a 250 píxeles.

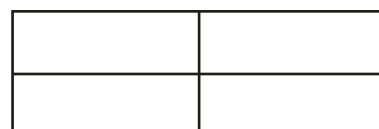
Las palabras **figura y tabla** deben ir en negrilla y con punto, Seguidos del enunciado de cada una; En la parte inferior debe ser citada la respectiva fuente, en fuente Times New Roman 9 puntos, como lo muestra los siguientes ejemplos:

**Figura 1.** Logo SENNOVA.



**Fuente:** Servicio Nacional de Aprendizaje.

**Figura 1.** Lineamientos artículos.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Nomenclatura:** los números decimales se deben señalar con coma (,) y los millares y millones con un punto (.) Se debe utilizar el Sistema Internacional de Unidades (SIU).

**Fórmulas químicas y expresiones matemáticas:** los subíndices y superíndices en las fórmulas se deben indicar claramente.

**Notas de pie de página:** en caso de ser necesarias deben contener solamente aclaraciones o complementos del trabajo que, sin afectar la continuidad del texto, aporten información adicional que el autor considere necesario incluir.



**Abreviaturas:** la primera vez que aparezcan dentro del texto deben ir entre paréntesis después de su expresión completa y en lo subsiguiente se escribe sólo la sigla o abreviatura respectiva.

**Archivo:** los originales recibidos se conservan como parte del archivo de la revista.

**Derechos de autor:** a la versión final del artículo, revisada por los autores después del proceso de evaluación, se le debe anexar una carta en la cual exprese que todos los autores del artículo están de acuerdo con la publicación y divulgación electrónica del mismo, y se responsabilizan por su contenido. De no ser así, se asume de hecho la aprobación por parte de los autores de estas condiciones. La AUTORÍA DE LOS ARTÍCULOS recae sobre quienes han participado suficientemente en el desarrollo del manuscrito o han realizado una revisión crítica, de importante contenido y aporte intelectual, y asumen la responsabilidad e integridad de lo publicado. Los derechos de autor de la publicación son protegidos con base en la normatividad vigente en Colombia.

**Evaluación por pares:** el autor podrá sugerir dos (2) o tres (3) posibles pares externos o internos al SENA, quienes al aceptar el rol de evaluadores o árbitros ingresan a hacer parte del Comité Científico. Estas personas deberán contar con elevado perfil académico – científico, teniendo en cuenta su formación profesional (preferiblemente con título de Maestría o Doctorado) y su reconocida trayectoria investigativa; Para realizar dicha sugerencia el autor deberá remitir un correo electrónico a la dirección: **revistaciteisa@sena.edu.co** donde indique el nombre de su artículo, nombre, dirección de correo electrónico e institución a la que pertenecen sus referidos.

## PRESENTACIÓN DE LOS ARTÍCULOS

La presentación de los artículos debe contener los siguientes elementos:

- **TÍTULO:** el título del artículo debe contener las palabras necesarias para describir con precisión el tema principal tratado sin que sea demasiado largo (Máximo 14 palabras, Times New Roman 16 puntos).
- **TITLE:** traducción del título al idioma inglés.
- **AUTORES:** deben estar completos los nombres y apellidos de todos los autores, así como la afiliación institucional de cada uno, grado académico de menor al más actual, ciudad, país y correo electrónico de contacto. El orden de la autoría estará dado por los aportes intelectuales al desarrollo del escrito. El autor de contacto debe estar resaltado por un asterisco (\*). Las comunicaciones se harán a través de este.
- **RESUMEN:** el tipo de resumen es estructurado, donde se incluyen: introducción, objetivo, metodología, resultados y conclusiones. El resumen debe redactarse con los apartados mencionados y debe contener máximo 250 palabras
- **ABSTRACT:** traducción del resumen al idioma inglés.
- **PALABRAS CLAVE:** máximo 5 y deben ser diferentes de las palabras usadas en el título, deben estar ordenadas de forma alfabética.
- **KEYWORDS:** traducción de las palabras clave al idioma inglés.
- **INTRODUCCIÓN:** formula los antecedentes del artículo, alcance (planteamiento de la hipótesis), el objetivo y la importancia, e impacto del trabajo.



- **RESULTADOS:** presenta los resultados que soportan las conclusiones y el alcance del artículo. Se debe soportar la información estadística (número de observaciones y desviaciones estándar entre otros), si aplica. Análisis de resultados enfocados hacia la comprobación de hipótesis y su confrontación con el estado de la técnica.
- **DISCUSIÓN:** se resumen, interpretan y extrapolan los resultados, se analizan sus implicaciones y limitaciones, y se confrontan con las hipótesis planteadas.
- **CONCLUSIONES:** se describen las implicaciones de los resultados y su relación con el objetivo.
- **AGRADECIMIENTOS:** se incluyen las instituciones o personas que han colaborado en el desarrollo del artículo o el trabajo objeto de análisis en el (Sólo si es requerido para el desarrollo del artículo).
- **REFERENCIAS:** cada una de las referencias bibliográficas (artículos, libros, normas, patentes, etc) que se especifiquen a lo largo del documento, deben aparecer en esta sección según la Norma VANCOUVER. No referenciar informes técnicos internos o de resultados no publicados. El artículo debe contener como mínimo 10 referencias bibliográficas y deben ser de los últimos 5 años de vigencia.

## PRESENTACIÓN DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

La lista de referencias debe seguir las reglas de estilo de la VANCOUVER para trabajos científicos; se coloca al final del trabajo, bajo el nombre de capítulo “Referencias”, sin numeración. El estilo Vancouver establece que las referencias deberían estar numeradas consecutivamente siguiendo el orden en que se mencionan por primera vez en el texto, utilizando números arábigos entre paréntesis (#). Si en una misma cita se incluyen varias referencias se incluirán varios números separados por comas cuando son solamente dos o si no son consecutivos. Si son más de dos referencias consecutivas se podrán conectar mediante un guion (1-2) (4-6).

En la lista de referencias deben enumerarse consecutivamente según el orden en que se mencionen por primera vez en el texto, en las tablas y en las leyendas de las figuras. Se recomienda que se utilicen números arábigos en superíndice y sin paréntesis.

## EJEMPLOS DE REFERENCIA MÁS UTILIZADOS

### Libro o monografía

Autor(es). Título. Edición. Lugar de publicación: Editor; Fecha de publicación.

Jenkins PF. Making sense of the chest x-ray: a hands-on guide. New York: Oxford University Press; 2005.

### Actas y ponencias de congresos

Editor(es). Título de la obra. Número y título del congreso; fecha del congreso; lugar del congreso. Lugar de publicación: editor; fecha.

Harnden P, Joffe JK, Jones WG, editors. Germ cell tumours V. Proceedings of the 5th Germ Cell Tumour Conference; 2001 Sep 13-15; Leeds, UK. New York: Springer; 2002.



## Tesis doctorales y trabajos de fin de estudios

Autor(es). Título de la tesis o trabajo [dissertation o master's thesis]. Lugar de publicación: editor; Fecha.

Borkowski MM. Infant sleep and feeding: a telephone survey of Hispanic Americans [dissertation]. Mount Pleasant (MI): Central Michigan University; 2002.

## Artículo de revista

Autor(es). Título del artículo. Título de la revista. Fecha;volumen(número):localización.

Morales A, Ivorra I, Gallego R. Membrane properties of glossopharyngeal sensory neurons in the petrosal ganglion of the cat. Brain Res. 1987;401(2):340-6.

## AVISO DE DERECHOS DE AUTOR/A

Los autores que publican en esta revista aceptan los siguientes términos:

- Conservar los derechos de autor.
- Otorgar y garantizar a la revista, el derecho de ser la primera publicación del trabajo.
- Permitir a la revista, compartir el trabajo con un reconocimiento de la autoría del trabajo.
- Conceder a la revista la difusión del artículo en medio impreso y electrónico, bajo licenciamiento. por Sistema de Publicación de Código Abierto [Open Acces, bajo la licencia Creative Commons].

## DECLARACIÓN DE PRIVACIDAD

Los contenidos, textos, imágenes, archivos publicados en la Revista CITEISA son responsabilidad exclusiva de los autores de los artículos y no reflejan ni comprometen de ninguna manera al Comité Editorial, ni al equipo responsable de la publicación, en cabeza Grupo de Investigación del Centro de Servicios de Salud, SENA Regional Antioquia).



## EDITORIAL

La salud digital se ha consolidado como un pilar esencial para alcanzar la cobertura sanitaria universal, fortalecer la respuesta ante emergencias y mejorar el bienestar de las comunidades. La transformación digital en este ámbito representa una oportunidad histórica para superar los grandes desafíos sociales y optimizar los procesos de atención en salud. No obstante, su éxito depende directamente de la formación y actualización del talento humano en salud, así como de la capacidad de los sistemas para incorporar tecnologías de manera equitativa y sostenible.

La incorporación de herramientas tecnológicas en el sector salud y bienestar no está exenta de retos. Los profesionales enfrentan barreras relacionadas con la brecha digital, tanto en el acceso a los recursos como en las competencias necesarias para su uso. Estas limitaciones pueden profundizar las inequidades y obstaculizar el aprovechamiento pleno de los avances tecnológicos.

Desde el Centro de Servicios de Salud del SENA, la formación de los aprendices y futuros profesionales del sector se reconoce como un componente clave para cerrar esta brecha. La educación técnica y tecnológica que ofrece el SENA contribuye directamente a fortalecer las competencias digitales, promover el uso responsable y ético de las TIC en la atención sanitaria, y fomentar una cultura de innovación orientada al bienestar de las personas y las comunidades.

La formación se convierte así en la herramienta más poderosa para empoderar al personal de salud frente a los desafíos de la era digital. A través de programas actualizados, prácticas simuladas y entornos de aprendizaje basados en tecnología, el SENA impulsa el desarrollo de habilidades que permiten utilizar las herramientas digitales con eficiencia, seguridad y sentido crítico. De esta manera, la institución no solo forma profesionales competentes, sino también agentes de cambio capaces de liderar la transformación digital del sistema sanitario colombiano.

Para que la salud digital sea verdaderamente inclusiva y contribuya a una atención equitativa, es indispensable invertir en la capacitación permanente del talento humano. Solo así se garantizará que los futuros profesionales y técnicos del sector estén preparados para integrar la innovación tecnológica con el cuidado humano, fortaleciendo la calidad, la accesibilidad y la seguridad en los servicios de salud.

En esta edición de la revista, se presenta una mirada multidisciplinaria sobre temas de gran relevancia para la salud y la ciencia aplicada: tecnología, análisis de datos, gestión organizacional y rendimiento deportivo. Las investigaciones incluidas evidencian cómo la integración entre ciencia y tecnología está transformando la práctica profesional y generando soluciones sostenibles.



En el ámbito clínico, se destacan los avances en el uso de modelos estadísticos avanzados para mejorar la toma de decisiones terapéuticas en pacientes con VIH. En salud pública, se subraya la importancia de incorporar los determinantes sociales en los modelos predictivos epidemiológicos, fortaleciendo la vigilancia poblacional. En el campo de la salud ocupacional, los estudios sobre ausentismo laboral revelan la necesidad de políticas preventivas fundamentadas en evidencia, mientras que, en la ciencia del deporte, la inteligencia artificial y la biomecánica abren nuevas perspectivas para la optimización del rendimiento físico y la personalización del entrenamiento.

Los hallazgos de estas investigaciones demuestran que la convergencia entre formación, investigación e innovación tecnológica redefine los paradigmas de la salud, la productividad y el bienestar. En el SENA, esta integración se traduce en un compromiso continuo con la excelencia formativa y la generación de conocimiento aplicado, al servicio del desarrollo humano integral y la transformación social del país.

**Andrés Álvarez Rojas**

**Psioterapeuta**

**Quinesiólogo**

**Magíster en Tecnologías de la Información y Comunicación**

**Instructor Centro de Servicios de Salud**



## CONTENIDO

|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| La influencia de la inteligencia artificial en el deporte: transformando el juego. ....                                                                                             | 14 |
| Aplicación de modelos mixtos en el análisis de recuentos de células CD4 para pacientes con VIH.....                                                                                 | 23 |
| Modelos predictivos de vigilancia epidemiológica en salud pública usando la salud digital y los determinantes sociales y estructurales de la salud(sdoH): revisión sistemática..... | 35 |
| Análisis comparativo del ausentismo laboral por causa médica y su relación con los riesgos en el entorno laboral.....                                                               | 50 |
| Causas Frecuentes de Accidentes Laborales en el Sector del Calzado en Colombia 2010-2024: una Revisión de Literatura.....                                                           | 64 |



# La influencia de la inteligencia artificial en el deporte: transformando el juego.

## The influence of artificial intelligence in sports: transforming the game.

Recibido: 11/11/2024- Aceptado: 27/05/2025 - Publicado: 13/06/2025

### Autores

#### David Eduardo Leon\*

Ingeniero Informático, Fundación Universitaria Internacional de La Rioja (UNIR)  
Profesional en Entrenamiento Deportivo, Fundación Universitaria del Área Andina.  
Profesional Maestro en Alta Dirección (MBA), Alianza Norteamericana de Estudios Superiores. Doctorando PhD en Investigación en Ingeniería, UNIVERSITAM. Organización internacional del trabajo.  
Bogotá- Colombia.  
eduardoleon9010@gmail.com

#### Cesar Augusto Jiménez Rodríguez

Universidad de Pamplona: Licenciado en Educación Básica con Énfasis en Educación Física, Recreación y Deportes. Universidad Pedagógica: Especialista en Pedagogía. Funiber, Maestrando en Actividad Física, Entrenamiento y Gestión Deportiva. Instructor CDA SENA Chía.  
Cajicá- Colombia.  
car09@hotmail.com

#### María Daniela Ríos Roja

Fundación Universitaria del Área Andina: Profesional en Entrenamiento Deportivo. Alianza Norteamericana de Estudios Superiores. Maestrando en Alta Dirección. Profesional independiente.  
Bogotá- Colombia.  
mdrios0297@gmail.com

---

\*Autor de correspondencia



## RESUMEN

**Introducción:** La inteligencia artificial (IA) ha irrumpido en el ámbito deportivo, transformando la forma en que se entrena, compete y se experimenta el deporte.

**Objetivo:** Este estudio analiza el impacto de la IA en el rendimiento deportivo, la gestión de equipos y la experiencia del espectador, explorando tanto sus beneficios como sus desafíos.

**Metodología:** Se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura, incluyendo artículos académicos, informes técnicos y entrevistas con expertos en el campo. Se analizaron los métodos y resultados de diversas investigaciones para identificar las principales tendencias y aplicaciones de la IA en el deporte.

**Resultados:** Los hallazgos revelan que la IA ha mejorado significativamente la capacidad de analizar grandes volúmenes de datos, permitiendo una personalización más precisa de los entrenamientos, la identificación de patrones de rendimiento y la optimización de estrategias de juego. La IA ha enriquecido la experiencia del espectador a través de herramientas de análisis en tiempo real y contenido personalizado.

**Conclusiones:** La IA está revolucionando el deporte, ofreciendo nuevas oportunidades para mejorar el rendimiento, la gestión y la experiencia del espectador. Sin embargo, es fundamental abordar los desafíos éticos y sociales asociados con su implementación, como la privacidad de los datos y la equidad en el acceso a estas tecnologías.

**Palabras clave:** Inteligencia artificial, deporte, rendimiento deportivo, análisis de datos, tecnología deportiva, ética, innovación.

## ABSTRACT

**Introduction:** Artificial intelligence (AI) has disrupted the sports industry, transforming how athletes train, compete, and how sports are experienced.

**Objective:** This study examines the impact of AI on athletic performance, team management, and spectator experience, exploring both its benefits and challenges.

**Methodology:** A systematic literature review was conducted, including academic articles, technical reports, and interviews with industry experts. The methods and results of various studies were analyzed to identify the main trends and applications of AI in sports.

**Results:** Findings reveal that AI has significantly improved the ability to analyze large volumes of data, enabling more precise customization of training, identification of performance patterns, and optimization of game strategies. Additionally, AI has enriched the spectator experience through real-time analytics tools and personalized content.

**Conclusions:** AI is revolutionizing sports, offering new opportunities to enhance performance, management, and spectator experience. However, addressing the ethical and social challenges associated with its implementation is crucial, such as data privacy and equitable access to these technologies.

**Keywords:** Artificial intelligence, sports, athletic performance, data analysis, sports technology, ethics, innovation.



## INTRODUCCIÓN

En la última década, la inteligencia artificial ha emergido como una de las tecnologías más disruptivas en múltiples campos, incluyendo el deporte. La integración de sistemas de IA en la gestión deportiva ha permitido optimizar desde el rendimiento de los atletas hasta la experiencia de los espectadores. En este contexto, es crucial comprender cómo estas innovaciones están redefiniendo el panorama deportivo.

El deporte, tradicionalmente basado en el talento y la preparación física, está experimentando un cambio paradigmático impulsado por la IA. Esta transformación plantea preguntas sobre cómo la tecnología está modificando no solo las estrategias de entrenamiento y competición, sino también la integridad del deporte. Es imperativo analizar el alcance de estos cambios para prever su impacto a largo plazo en la industria deportiva.

La inteligencia artificial (IA) está revolucionando el campo de la medicina deportiva y ortopédica. La IA tiene el potencial de predecir el riesgo de lesiones en los atletas, interpretar imágenes avanzadas y evaluar los resultados informados por los pacientes, lo que permite una atención más centrada en el atleta. La adopción de herramientas basadas en IA en medicina deportiva no es solo una cuestión tecnológica, sino que también requiere que los especialistas comprendan los fundamentos de la IA, sus limitaciones y sus aplicaciones. La formación en estas áreas será esencial para que los médicos deportivos puedan integrar efectivamente la IA en su práctica, automatizando tareas y mejorando la experiencia del paciente a través de una atención más personalizada y basada en datos.

El objetivo principal de esta investigación es explorar el impacto de la inteligencia artificial en el deporte, específicamente en cómo mejora el rendimiento de los atletas, optimiza la gestión de equipos y transforma la experiencia de los espectadores. Asimismo, se busca evaluar las implicaciones éticas y

sociales derivadas de la adopción de estas tecnologías.

## METODOLOGÍA

Para este estudio, se realizó una exhaustiva recopilación de materiales, incluyendo artículos académicos recientes, informes técnicos y estudios de caso relevantes en el ámbito de la inteligencia artificial aplicada al deporte. Se consultaron bases de datos como IEEE Xplore, PubMed y Google Scholar para obtener fuentes confiables y actualizadas.

El enfoque adoptado fue cualitativo, centrado en la exploración de la literatura de expertos en deporte y tecnología. Esta literatura permitió explorar las percepciones y experiencias de los profesionales en la implementación de IA en contextos deportivos, proporcionando una comprensión detallada de los desafíos y oportunidades que estas tecnologías presentan.

Para el análisis de los datos cualitativos, se utilizó la herramienta NVivo, que facilitó la organización y codificación de la información obtenida. El análisis temático se aplicó para identificar patrones y temas recurrentes, permitiendo una interpretación profunda de las relaciones significativas entre las variables estudiadas.

La selección de la muestra fue intencionada, artículos, informes técnicos y otros recursos electrónicos enfocándose en equipos deportivos de élite, entrenadores y analistas deportivos que han adoptado la IA. Este enfoque garantizó una representación adecuada de diferentes deportes y contextos tecnológicos, proporcionando una visión comprensiva de cómo se está integrando la IA en el deporte.

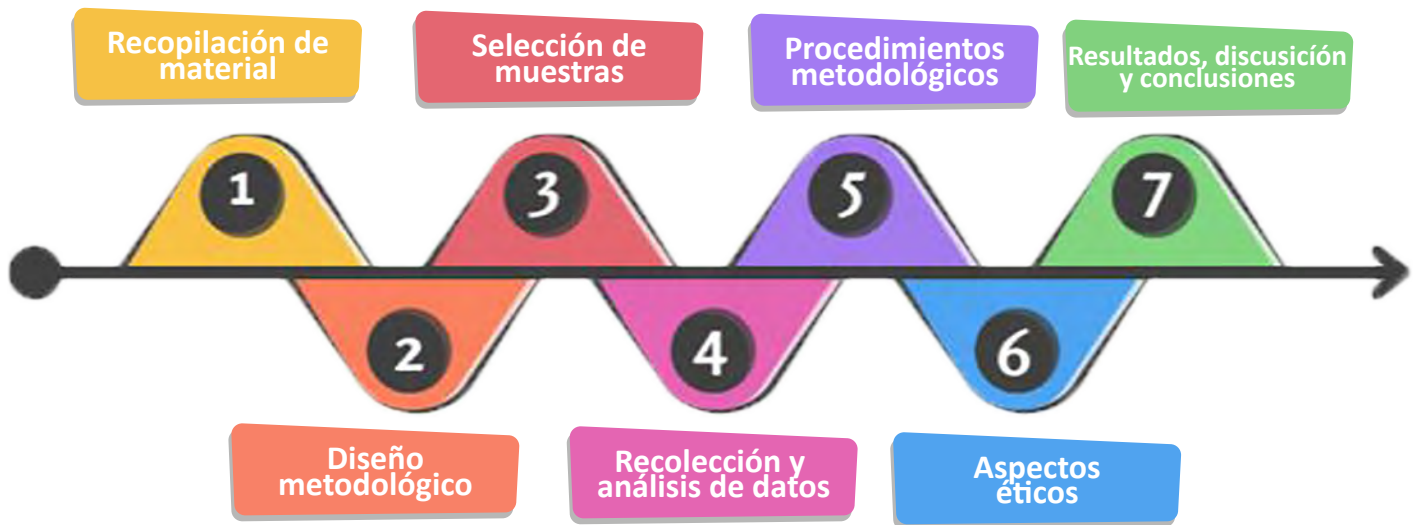
Los procedimientos metodológicos incluyeron una exploración crítica de la literatura científica para identificar tendencias clave y la realización de entrevistas para profundizar en el conocimiento y las prácticas actuales en la implementación de IA en el



Los procedimientos metodológicos incluyeron una exploración crítica de la literatura científica para identificar tendencias clave y la realización de entrevistas para profundizar en el conocimiento y las prácticas actuales en la implementación de IA en el

deporte. Se respetaron rigurosamente todos los principios éticos en la recolección de datos, asegurando la confidencialidad de todos los participantes.

**Figura 1.** Diseño metodológico propuesto.



Fuente: Elaboración propia.

## RESULTADOS

**Tabla 1.** Resultados del análisis de la integración de IA en el deporte.

| Referencia | Área de Impacto          | Hallazgo Técnico                                                                                                                                        |
|------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [1]        | Prevención de lesiones   | La IA detecta patrones de sobre entrenamiento, previniendo lesiones comunes en deportes como el fútbol y balonmano, optimizando ejercicios isométricos. |
| [2]        | Medicina deportiva       | Personalización de diagnósticos, tratamientos y planes de rehabilitación, mejorando la prevención y tratamiento de lesiones deportivas.                 |
| [3]        | Innovación estratégica   | China utiliza la IA para desarrollar y aplicar tecnologías deportivas, alineando su avance con objetivos de convertirse en potencia deportiva global.   |
| [4]        | Entrenamiento deportivo  | La IA transforma el entrenamiento deportivo con aprendizaje profundo y visión por computadora, mejorando la personalización y prevención de lesiones.   |
| [5]        | Rendimiento y predicción | IA y aprendizaje automático redefinen el análisis de rendimiento y predicción de lesiones; Enfrentar desafíos relacionados con dinámicas deportivas.    |



|      |                                             |                                                                                                                                                       |
|------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [6]  | <b>Experiencia del espectador</b>           | La IA impacta en el análisis de rendimiento y la participación de aficionados, cambiando la interacción en eventos deportivos.                        |
| [7]  | <b>Gestión deportiva</b>                    | Soluciones basadas en IA mejoran la gestión del rendimiento, prevención de lesiones y vinculación con aficionados, estableciendo directrices futuras. |
| [8]  | <b>Prevención de lesiones</b>               | Comprensión más profunda de factores complejos que contribuyen a lesiones deportivas gracias a tecnologías de IA.                                     |
| [9]  | <b>Estrategias tácticas y de juego</b>      | IA y ciencia de datos optimizan estrategias de juego; persisten retos relacionados con privacidad y aceptación tecnológica.                           |
| [10] | <b>Toma de decisiones en el fútbol</b>      | Implementación de análisis predictivo y optimización de estrategias tácticas mediante inteligencia artificial.                                        |
| [11] | <b>Analítica deportiva</b>                  | El aprendizaje automático transforma la analítica deportiva para mejorar el rendimiento y prevenir lesiones.                                          |
| [12] | <b>Participación en eventos deportivos.</b> | Tecnologías basadas en IA y realidad aumentada mejoran la participación de aficionados con análisis de datos en tiempo real.                          |
| [13] | <b>Diagnóstico de lesiones</b>              | Técnicas de IA destacan la importancia de implementar enfoques más avanzados en diferentes deportes para prevenir lesiones.                           |
| [14] | <b>Análisis postural</b>                    | Sistemas de big data e IA mejoran el análisis postural y del movimiento, transformando enfoques tradicionales de entrenamiento.                       |
| [15] | <b>Prevención mediante ML</b>               | Áreas clave de prevención de lesiones identificadas; se requiere investigación futura para mejorar el aprendizaje automático en deportes.             |
| [16] | <b>Identificación de talento</b>            | IA revoluciona identificación de talentos deportivos, especialmente en deportes como el cricket, con enfoques más rigurosos.                          |
| [17] | <b>Enfoques interdisciplinarios</b>         | Combinación de IA, visión por computadora y aprendizaje automático avanza el análisis de datos deportivos.                                            |
| [18] | <b>Sensores portátiles</b>                  | Sensores habilitados con IA transforman análisis de rendimiento y prevención de lesiones; desafíos en privacidad y precisión.                         |
| [19] | <b>Entrenadores virtuales</b>               | Sistemas de entrenamiento virtual motivan a estudiantes, promoviendo actividad física sin supervisión presencial.                                     |
| [20] | <b>Prevención y prevención de lesiones</b>  | Los métodos de aprendizaje automático identifican riesgos de lesiones, pero requieren mejoras en calidad metodológica e interpretación de modelos.    |
| [21] | <b>Desarrollo atlético</b>                  | Tecnologías IA aplicadas bajo dinámicas ecológicas sugieren colaboración interdisciplinaria para maximizar resultados.                                |
| [22] | <b>Análisis competitivo</b>                 | IA integrada en múltiples aspectos del deporte competitivo, incluyendo análisis de datos y desarrollo táctico, superando desafíos operativos.         |
| [23] | <b>Transmisión deportiva</b>                | IA transforma la transmisión de eventos deportivos, mejorando la experiencia del espectador; Los desafíos en áreas técnicas persisten.                |
| [24] | <b>Reconocimiento de acciones</b>           | ARBIGNet, técnica basada en IA, analiza videos de entrenamiento con precisión del 95.5% y eficiencia en deportes como baloncesto.                     |



|      |                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [25] | <b>Realidad virtual y aumentada</b>                                 | Mejoras significativas en inmersión y personalización para espectadores mediante VR y AR, transformando visualización deportiva.                                                                                                                    |
| [26] | <b>Diagnóstico médico deportivo</b>                                 | Los programas de IA fueron efectivos en el diagnóstico de lesiones comunes, pero presentaron limitaciones con condiciones crónicas como la inestabilidad del LCA. La calidad de los datos y la comprensión del usuario son clave para la precisión. |
| [27] | <b>Reconocimiento de acciones deportivas con sensores</b>           | Los sistemas de IA presentan ventajas, pero enfrentan problemas como interferencias ambientales y calibración incorrecta de sensores, limitando su efectividad en entrenamientos intensivos y movimientos complejos.                                |
| [28] | <b>Monitorización en tiempo real de señales vitales</b>             | A pesar de los avances, persisten problemas de precisión, durabilidad de los sensores y privacidad de los datos, lo que limita la adopción en deportes de élite.                                                                                    |
| [29] | <b>Integración de algoritmos de IA en el deporte</b>                | La integración de IA requiere un procesamiento robusto de datos. La calidad de los datos de entrada es crucial, especialmente en condiciones cambiantes.                                                                                            |
| [30] | <b>Pronóstico de resultados deportivos</b>                          | Los modelos de IA son eficaces en deportes como el fútbol, pero limitados por la complejidad del comportamiento humano y factores externos impredecibles. La calidad de los datos es esencial para evitar sesgos.                                   |
| [31] | <b>Evaluación deportiva en gimnasia artística</b>                   | La IA mejora la evaluación en gimnasia, pero no captura la esencia artística de las actuaciones, lo que requiere un enfoque más detallado en su aplicación.                                                                                         |
| [32] | <b>Sistemas de arbitraje y reconocimiento de acciones</b>           | La calidad de los datos y su interpretación en situaciones subjetivas limita la efectividad de los sistemas de arbitraje y reconocimiento en escenarios competitivos.                                                                               |
| [33] | <b>Uso de drones y tecnologías automatizadas</b>                    | Las limitaciones legales en el uso de drones y tecnologías automatizadas deben ser superadas para su implementación efectiva en el deporte de alto rendimiento.                                                                                     |
| [34] | <b>Estimación de posturas y análisis del rendimiento deportivo.</b> | Las técnicas de estimación de poses son efectivas, pero dependen de la calidad de los datos de entrada. Se requiere más investigación para optimizar su uso y superar las limitaciones actuales.                                                    |
| [35] | <b>Monitoreo de dispositivos portátiles en el deporte</b>           | El modelo VMD-LSTM mostró limitaciones en la precisión del reconocimiento de señales vitales, con una alta cantidad de iteraciones que limitan su uso en análisis en tiempo real.                                                                   |
| [36] | <b>Sensores de salud en deportes de élite</b>                       | A pesar de los avances, persisten problemas de ruido y deriva en los datos, comprometiendo la efectividad de los sensores en competencias de alto nivel donde la precisión es crítica.                                                              |
| [37] | <b>Análisis de tiro en baloncesto.</b>                              | Los sistemas de análisis de tiro con IA en baloncesto mejoran la técnica de tiro al evaluar la postura y predecir la trayectoria del balón, optimizando el rendimiento de los jugadores.                                                            |
| [38] | <b>Monitoreo de signos vitales en deportes</b>                      | Dispositivos portátiles que monitorean signos vitales ayudan en la prevención de lesiones y en la mejora del rendimiento deportivo, siendo útiles en la gestión de la salud deportiva.                                                              |

Fuente: Elaboración propia.



## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este análisis sugieren que la inteligencia artificial (IA) está emergiendo como una herramienta fundamental en el campo del deporte, ofreciendo soluciones innovadoras para la prevención de lesiones, la optimización del rendimiento deportivo y la mejora de la participación de los aficionados. La creciente integración de la IA en el deporte se refleja en estudios como el de Morcillo-Jiménez et al, que subraya la importancia de modelos explicables en IA para la toma de decisiones en ejercicios de fuerza isométrica, y en la investigación de Wang & Song, que resalta la capacidad de la IA para personalizar planes de rehabilitación y tratamiento.

Por otro lado, los estudios revisados muestran que, aunque la IA ha avanzado significativamente en la predicción de lesiones y análisis de rendimiento, aún existen desafíos importantes. (3) señalan que la complejidad de las dinámicas deportivas requiere modelos de IA más precisos y personalizados. Además, (4) advierten sobre los problemas de privacidad y la aceptación de la IA entre los profesionales del deporte, lo que podría limitar su implementación a gran escala.

Otro aspecto destacado es la necesidad de un enfoque interdisciplinario en el uso de la IA en el deporte, como lo discuten (5) Este enfoque permite una mejor integración de la ciencia de datos con la investigación deportiva, lo que es crucial para maximizar el potencial de la IA en este campo.

Estudios como los de (6) y (7) muestran que la IA no solo mejora el rendimiento deportivo y la prevención de lesiones, sino que también tiene un impacto significativo en la educación física y en la experiencia de los aficionados, indicando que su influencia en el deporte seguirá expandiéndose en el futuro.

Como sugiere (8), la implementación de tecnologías de IA en el desarrollo atlético requiere un enfoque interdisciplinario respaldado por marcos teóricos

sólidos. La colaboración entre científicos del deporte, tecnólogos y entrenadores es crucial para maximizar los beneficios de estas tecnologías sin deshumanizar el proceso de entrenamiento.

Hay que subrayar la necesidad de mejorar la calidad metodológica en los estudios de ML para la predicción de lesiones. La interpretación adecuada de los modelos y la transparencia en la aplicación de la IA son aspectos clave que requieren atención para evitar sesgos y asegurar resultados confiables (9).

Es de destacar que, aunque la IA ha transformado áreas como la transmisión de eventos deportivos y la experiencia de los espectadores, la adopción de estas tecnologías debe ser cuidadosa. Es necesario equilibrar la innovación con la ética y la equidad, asegurando que los avances tecnológicos beneficien a todas las partes involucradas en el deporte, desde los atletas hasta los espectadores, como señala (10); (11).

Los avances en la IA y los sensores portátiles ofrecen una gran promesa para la mejora del rendimiento deportivo y la atención médica. Sin embargo, las limitaciones técnicas y legales aún representan desafíos significativos que deben ser abordados. La necesidad de personalización en los sistemas de monitorización y la integración de modelos híbridos que combinen IA y la experiencia humana son esenciales para maximizar la eficacia de estas tecnologías en el deporte.

Es fundamental considerar las limitaciones técnicas y prácticas en la implementación de sistemas de IA en el deporte. A pesar de sus ventajas, los errores dinámicos y la calidad de los datos son áreas que requieren atención en futuras investigaciones. Estos desafíos deben ser abordados para mejorar la robustez de los sistemas en condiciones de entrenamiento reales.

El trabajo de Wu et al, en la estimación de poses en tenis de mesa ha permitido un análisis preciso del rendimiento de los atletas, facilitando la creación de programas de entrenamiento personalizados. La



capacidad de realizar análisis sin contacto mejora la eficiencia del entrenamiento y proporciona herramientas valiosas para los entrenadores.

Un ejemplo destacado es el uso de sensores de reconocimiento de acciones en el atletismo, donde se utilizan nodos de inercia para analizar el entrenamiento en campo y pista. Estos sistemas han demostrado ser eficaces en la corrección de posturas en eventos como el salto de altura y la carrera de velocidad, proporcionando datos que permiten a los entrenadores ajustar sesiones de entrenamiento personalizadas (12).

La aplicación del modelo VMD-LSTM para el monitoreo de señales vitales demuestra su potencial en la optimización del rendimiento deportivo. La detección en tiempo real de la oxigenación en sangre permite a los entrenadores ajustar rutinas para prevenir lesiones y personalizar programas de entrenamiento (13).

Los modelos predictivos de IA han revolucionado la estrategia en deportes como el fútbol. (14) Demostraron que el análisis de grandes conjuntos de datos históricos permite ajustar tácticas en tiempo real y ha transformado las apuestas deportivas, aunque la naturaleza impredecible de los deportes aún representa un reto.

La inteligencia artificial está transformando la medicina deportiva, permitiendo la predicción del riesgo de lesiones y una atención más centrada en la salud del deportista (15). Esta integración no solo mejora el rendimiento, sino que también resalta la importancia de la salud del atleta.

## CONCLUSIONES

La inteligencia artificial (IA) está provocando una transformación significativa en el ámbito deportivo, afectando desde el rendimiento atlético individual hasta la gestión de equipos y la experiencia del espectador. Los estudios revisados subrayan cómo la IA ha mejorado la precisión en el análisis de datos y la

toma de decisiones estratégicas, ofreciendo a atletas y entrenadores herramientas avanzadas para optimizar el rendimiento y minimizar el riesgo de lesiones. La implementación de tecnologías de IA en la transmisión de eventos deportivos y en la interacción con los fanáticos está redefiniendo la manera en que los espectadores experimentan el deporte, proporcionando un nivel de inmersión y personalización sin precedentes.

Es de destacar también los desafíos y riesgos asociados con la integración de la IA en el deporte. Si bien las oportunidades que ofrece la IA son vastas, la falta de un marco teórico adecuado y prácticas de trabajo aisladas pueden limitar su efectividad y potencial. Asimismo, la aplicación de estas tecnologías plantea dilemas éticos, especialmente en cuanto a la preservación de la esencia del deporte como una actividad intrínsecamente humana.

Es imperativo continuar investigando los efectos a largo plazo de la IA en el deporte, asegurando que su desarrollo y aplicación se realicen de manera ética y equilibrada. La creación de marcos éticos robustos y el desarrollo de estrategias que integren la IA de manera armoniosa dentro del ecosistema deportivo serán cruciales para maximizar los beneficios de estas tecnologías sin comprometer la integridad del deporte. En este sentido, la colaboración entre científicos del deporte, tecnólogos, entrenadores y otros actores clave será fundamental para guiar la evolución del deporte en esta nueva era digital.

La inteligencia artificial tiene el potencial de transformar el ámbito deportivo al proporcionar herramientas que mejoren la precisión y la personalización en el entrenamiento y la atención médica. Sin embargo, es fundamental abordar las limitaciones tecnológicas, legales y éticas asociadas con su implementación. La formación y comprensión de los especialistas en medicina deportiva sobre IA será crucial para su adopción efectiva. A medida que se desarrollan nuevas tecnologías, la integración responsable y cuidadosa de la IA puede optimizar el rendimiento de los atletas y garantizar su salud y bienestar.



## REFERENCIAS

1. Morcillo-Jimenez R, Morales-Garzón A, Gutiérrez-Batista K, Chirsa-Ríos I, Martín-Bautista MJ. Advances in AI for Isometric Training: Towards Explainable Models and Injury Prevention in Sports Science using Fuzzy Logic. 2024.
2. Wang D, Song G. An exploratory study of artificial intelligence applications in sports medicine [Internet]. Chongqing; 2023. Available from: [www.jclinmedimages.org](http://www.jclinmedimages.org)
3. Reis FJJ, Alaiti RK, Vallio CS, Hespanhol L. Artificial intelligence and Machine Learning approaches in sports: Concepts, applications, challenges, and future perspectives. Vol. 28, Brazilian Journal of Physical Therapy. Revista Brasileira de Fisioterapia; 2024.
4. Sanghvi N, Porwal A, Sanghvi N, Rawalh N, Sanghvi N. Artificial Intelligence in Sports Analytics [Internet]. 2024. Available from: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/sports-analytics->
5. Brefeld U, Davis J, Lames M, Little JJ, Little J. Machine Learning in Sports 1 Executive Summary. Report from Dagstuhl Seminar [Internet]. 2022;21411. Available from: <http://www.dagstuhl.de/21411>
6. Li C, Cui J. Intelligent Sports Training System Based on Artificial Intelligence and Big Data. Mobile Information Systems. 2021;2021.
7. Mokmin NAM. The effectiveness of a personalized virtual fitness trainer in teaching physical education by applying the artificial intelligent algorithm. International Journal of Human Movement and Sports Sciences. 2020;8(5):258–64.
8. Aulton C, Strafford BW, Davids K, Chiu CY. Optimizing the Use of Machine Learning and Computer Vision in Sport: An Ecological Dynamics Perspective [Internet]. 2024. Available from: <https://www.journalofexpertise.org>
9. Van Eetvelde H, Mendonça LD, Ley C, Seil R, Tischer T. Machine learning methods in sport injury prediction and prevention: a systematic review. Vol. 8, Journal of Experimental Orthopaedics. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; 2021.
10. Kumar S. 290 International Journal for Modern Trends in Science and Technology As per UGC guidelines an electronic bar code is provided to secure your paper. International Journal for Modern Trends in Science and Technology. 2023;9(03):290–4.
11. Pickman DK. The Use of Virtual Reality and Augmented Reality in Enhancing the Sports Viewing Experience [Internet]. Vol. 1, International Journal of Arts, Recreation and Sports. 2023. Available from: [www.carijournals.org40](http://www.carijournals.org40)
12. Liu C, Chang Z. Sensor and Attitude Analysis of Track and Field Training Action Recognition Based on Artificial Intelligence. J Sens. 2022;2022.
13. Zhang T, Fu C. Application of Improved VMD-LSTM Model in Sports Artificial Intelligence. Comput Intell Neurosci. 2022;2022.
14. Fialho G, Manhães A, Teixeira JP. Predicting Sports Results with Artificial Intelligence- A Proposal Framework for Soccer Games. In: Procedia Computer Science. 2019.
15. Ramkumar PN, Luu BC, Haeberle HS, Karnuta JM, Nwachukwu BU, Williams RJ. Sports Medicine and Artificial Intelligence: A Primer. American Journal of Sports Medicine. 2022;50(4).



# Aplicación de modelos mixtos en el análisis de recuentos de células CD4 para pacientes con VIH.

## Application of Mixed Models in Analyzing CD4 Cell Counts for HIV Patients.

Recibido: 29/11/2024 - Aceptado: 09/04/2025 - Publicado: 15/09/2025

### Autores

#### Heber Esteban Bermúdez González\*

Estadístico. BSc.  
Centro de Servicios de Salud,SENA.  
Medellín - Colombia  
hebermudez@sena.edu.co

#### Mónica Liliana Arteaga Sierra

Matemáticas aplicadas. MSc.  
Centro de Servicios de Salud,SENA.  
Medellín - Colombia  
marteaga@sena.edu.co



## RESUMEN

Este estudio evalúa la eficacia de modelos mixtos para analizar el recuento de la glucoproteína CD4 en pacientes con VIH y supresión inmune avanzada, utilizando datos del estudio 193A del Grupo de Ensayo Clínico del SIDA (ACTG) en Estados Unidos. El objetivo fue identificar los factores que influyen en la variabilidad de los recuentos de CD4 y evaluar la eficacia de diferentes tratamientos antirretrovirales. Se aplicaron modelos mixtos que consideraron efectos fijos y aleatorios para variables como edad, sexo, tipo de tratamiento y tiempo de seguimiento. Se compararon varios modelos, destacando el modelo con interacción tratamiento-sexo y términos cuadráticos para el tiempo, que incorporó intercepto y pendientes aleatorias. Este modelo mostró un mejor ajuste según los criterios AIC (Criterio de Información de Akaike) y BIC (Criterio de Información Bayesiano), capturando de manera efectiva la tendencia decreciente en los recuentos de CD4. El análisis demuestra que los modelos mixtos son herramientas poderosas para entender la complejidad de los datos longitudinales en contextos clínicos, proporcionando una base sólida para optimizar la toma de decisiones terapéuticas en pacientes con SIDA.

**Palabras clave:** Análisis de supervivencia, Estadística longitudinal, Inferencia estadística, Modelos jerárquicos, Variabilidad intra-paciente, VIH/SIDA.

## ABSTRACT

This study evaluates the effectiveness of mixed models in analyzing the CD4 glycoprotein count in HIV patients with advanced immune suppression, using data from the AIDS Clinical Trials Group (ACTG) study 193A in the United States. The objective was to identify factors influencing CD4 count variability and to assess the effectiveness of different antiretroviral treatments. Mixed models were applied, considering fixed and random effects for variables such as age, sex, type of treatment, and follow-up time. Several models were compared, highlighting the model with treatment-sex interaction and quadratic terms for time, which incorporated random intercepts and slopes. This model showed the best fit according to AIC (Akaike Information Criterion) and BIC (Bayesian Information Criterion) criteria, effectively capturing the declining trend in CD4 counts. The analysis demonstrates that mixed models are powerful tools for understanding the complexity of longitudinal data in clinical contexts, providing a solid foundation for optimizing therapeutic decision-making in AIDS patients.

**Keywords:** Survival analysis, Longitudinal statistics, Statistical inference, Hierarchical models, Intra-patient variability, HIV/AIDS.



## INTRODUCCIÓN

En el contexto de la inmunología, la glucoproteína CD4 es un componente crítico del sistema inmunológico humano. Esta proteína de superficie se encuentra en diversas células inmunitarias, incluyendo linfocitos T auxiliares, monocitos, macrófagos y células dendríticas. La función principal de los linfocitos T CD4+ es coordinar las respuestas inmunitarias adaptativas a través de la secreción de citocinas y el contacto célula a célula. Su función se realiza principalmente mediante la activación de otras células del sistema inmunológico, como los linfocitos T citotóxicos CD8+, que son responsables de eliminar células infectadas y patógenos. La disminución en el número de células CD4, como se observa en infecciones por VIH no tratadas, compromete gravemente la capacidad del organismo para combatir infecciones, aumentando la susceptibilidad a enfermedades que, en condiciones normales, serían controladas eficazmente.

El recuento de CD4 se utiliza comúnmente como un marcador para evaluar el estado del sistema inmunológico en pacientes infectados con el VIH. Los modelos mixtos o modelos jerárquicos se han aplicado para analizar los recuentos de CD4 debido a su capacidad para manejar datos con efectos fijos y aleatorios. Estos modelos son particularmente útiles en estudios longitudinales donde se realizan mediciones repetidas en los mismos individuos, permitiendo capturar la variabilidad intra e interindividual.

A pesar de la importancia del recuento de CD4+, existe una comprensión limitada de los factores que influyen en su variabilidad. La investigación ha demostrado que factores como el tipo de tratamiento antirretroviral, el tiempo de seguimiento y características demográficas como la edad y el sexo pueden afectar los recuentos de CD4+. Sin embargo, el grueso de los estudios desarrollados a la fecha ha utilizado métodos estadísticos que no capturan adecuadamente la complejidad de los datos longitudinales, lo que limita la capacidad para identificar patrones y relaciones significativas.

En este estudio, se presenta una investigación de los recuentos de CD4 en pacientes con supresión inmune avanzada utilizando modelos mixtos o modelos jerárquicos. Los datos provienen del estudio 193A del Grupo de Ensayo Clínico del SIDA (ACTG) realizado en Estados Unidos, en el cual los pacientes fueron asignados aleatoriamente a combinaciones duales o triples de inhibidores del VIH-1. Este análisis es crucial para mejorar la comprensión de los factores que influyen en el recuento de CD4 y la eficacia de los tratamientos contra el VIH-1 en pacientes con SIDA, así como proporcionar una metodología estadística robusta para analizar y hacer inferencias sobre esta enfermedad, lo cual es fundamental para avanzar en la investigación de esta.

El objetivo de este estudio es aplicar modelos mixtos para analizar cómo factores como el tipo de tratamiento, la semana de seguimiento, el sexo y la edad del paciente influyen en el recuento de CD4. Además, se exploran posibles interacciones entre estos factores mediante la construcción de varios modelos con diferentes niveles de complejidad. La selección del mejor modelo se basa en varios criterios, incluyendo el AIC y BIC, la correlación entre los valores reales y ajustados, y el MSE.

## MARCO TEÓRICO

La importancia del recuento de células CD4+ radica en su capacidad para reflejar el estado inmunológico de los pacientes. Este recuento es un marcador crucial en el manejo de la infección por VIH, ya que permite evaluar tanto la progresión de la enfermedad como la efectividad del tratamiento antirretroviral (ART). Estudios han demostrado que el recuento de CD4+ es un parámetro fundamental para iniciar la terapia antirretroviral (1,2).

Un aumento adecuado en el recuento de células CD4+ está significativamente asociado con una mayor supervivencia en pacientes con VIH (3,4). El recuento de células CD4+ al inicio del tratamiento ART puede servir como un indicador del momento de detección del VIH. Un recuento bajo de CD4+ ( $\leq 350$  células/ $\mu$ l) generalmente señala una detección



tardía, lo cual se asocia con un mayor riesgo de progresión rápida a SIDA y una mayor mortalidad relacionada. Por lo tanto, un inicio temprano del tratamiento ART, reflejado en recuentos de CD4+ más altos, es esencial para mejorar los resultados clínicos y reducir la mortalidad (2,4,5).

En cuanto al análisis del recuento de células CD4+ en pacientes con VIH, la eficacia de los modelos mixtos ha sido explorada en la literatura. Estos modelos son especialmente útiles para analizar datos longitudinales en contextos clínicos, ya que pueden manejar la correlación entre observaciones repetidas en el tiempo para un mismo individuo e incorporar efectos tanto fijos como aleatorios (6). Algunos estudios han demostrado que estos modelos capturan de manera efectiva la variabilidad en los recuentos de CD4+, evaluando no solo los efectos del tiempo, sino también las interacciones entre diferentes covariables. Por ejemplo, un estudio que analizó datos de pacientes con VIH en China utilizando modelos mixtos encontró diferencias significativas en los recuentos de CD4+ según el género y la edad, capturando variaciones en la progresión de la enfermedad y la respuesta inmunológica individualizada al ART (7).

Un estudio similar realizado en 21 países de África subsahariana analizó las diferencias de género en la supresión de la carga viral y las tasas de mortalidad en personas bajo tratamiento antirretroviral (ART), utilizando modelos mixtos para evaluar tanto la carga viral como los recuentos de CD4+ (8). Estos modelos también permitieron predecir el tiempo necesario para la supresión viral y los cambios en los niveles de CD4+ en bebés con VIH (9). Asimismo, en España, un estudio con pacientes de la red CoRIS empleó modelos mixtos para comparar los cambios en la relación CD4/CD8 a lo largo del tiempo, evaluando el impacto de diferentes terapias antirretrovirales de primera línea en la recuperación a largo plazo de dicha relación en personas con VIH (5).

En otro estudio realizado en San Petersburgo, Rusia, que investigó el impacto del consumo excesivo de alcohol en mujeres con VIH, los modelos mixtos de efectos múltiples mostraron que las mujeres que

bebían alcohol en exceso tenían en promedio 41 células CD4/mm<sup>3</sup> menos que aquellas que no consumían alcohol excesivamente. Además, reportaban más síntomas del VIH y menor adherencia al tratamiento antirretroviral (10). Un estudio similar sobre los determinantes de la falta de adherencia al ART en mujeres con VIH/SIDA identificó factores como el nivel educativo, la edad, los ingresos, y aspectos personales como el apoyo sociofamiliar y el estigma percibido, entre otros (1,2).

El uso de criterios de información como el AIC (Criterio de Información de Akaike) y el BIC (Criterio de Información Bayesiano) ha sido fundamental para comparar la eficacia de diferentes modelos mixtos. Estos criterios permiten seleccionar el modelo que mejor se ajusta a los datos, penalizando la complejidad del modelo para evitar el sobreajuste (1). Aunque los modelos mixtos ofrecen una herramienta poderosa para el análisis de datos complejos, presentan ciertos desafíos, como la selección adecuada del modelo y la interpretación de interacciones complejas entre variables. (11,12).

## METODOLOGÍA

A continuación, describe detalladamente la metodología empleada en el estudio. Se abordan aspectos clave como la descripción del estudio clínico, el análisis estadístico realizado, y el modelamiento utilizado para interpretar los datos.

### Descripción del estudio clínico

El conjunto de datos usado corresponde al estudio 193A del Grupo de Ensayo Clínico del SIDA realizado en Estados Unidos. Participaron pacientes con SIDA que presentaban supresión inmune avanzada, definida como un recuento de la glucoproteína CD4 igual o inferior a 50 células/mm<sup>3</sup>. Los pacientes fueron asignados aleatoriamente a una de cuatro combinaciones de tratamientos diarios que incluían 600 mg de zidovudina. Las mediciones del recuento de CD4 se realizaron al inicio del estudio y cada 8 semanas durante el seguimiento.



## Variables del estudio

- **CD4:** Recuento transformado como  $\log(\text{CD4} + 1)$ , que es la variable de respuesta.
- **ID:** Identificación del paciente.
- **Tratamiento:** Variable categórica codificada como:
  - 1 = Zidovudina alternando mensualmente con 400 mg de didanosina.
  - 2 = Zidovudina más 2.25 mg de zalcitabina.
  - 3 = Zidovudina más 400 mg de didanosina.
  - 4 = Zidovudina más 400 mg de didanosina y 400 mg de nevirapina.
- **Semana:** Tiempo desde el inicio del tratamiento.
- **Edad:** Edad en años del paciente.
- **Sexo:** Sexo del paciente, codificado como M (Masculino) y F (Femenino).

## Análisis descriptivo de datos

Se realizó un análisis descriptivo inicial para explorar las características de la población estudiada y la distribución de las variables. Esto incluyó la generación de estadísticas descriptivas y gráficos para las variables. La distribución del recuento de CD4 por tratamiento y sexo se evaluó utilizando histogramas y boxplots. A continuación, se pueden observar una parte del conjunto de datos obtenidos del estudio clínico.

**Tabla 1.** Tabla datos.

| ID | Tratamiento | Edad    | Sexo | Semana  | CD4      |
|----|-------------|---------|------|---------|----------|
| 1  | 2           | 36.4271 | M    | 0.0000  | 3.135494 |
| 1  | 2           | 36.4271 | M    | 7.5714  | 3.044522 |
| 1  | 2           | 36.4271 | M    | 15.5714 | 2.772589 |
| 1  | 2           | 36.4271 | M    | 23.5714 | 2.833213 |
| 1  | 2           | 36.4271 | M    | 32.5714 | 3.218876 |
| 1  | 2           | 36.4271 | M    | 40.0000 | 3.044522 |
| 2  | 4           | 47.8467 | M    | 0.0000  | 3.068053 |
| 2  | 4           | 47.8467 | M    | 8.0000  | 3.891820 |
| 2  | 4           | 47.8467 | M    | 16.0000 | 3.970292 |
| 2  | 4           | 47.8467 | M    | 23.0000 | 3.610918 |

**Fuente:** Elaboración propia.

El conjunto de datos consta de 5036 observaciones y 6 columnas, que corresponden al ID del paciente, tratamiento, edad, sexo, semana de tratamiento y la variable de respuesta, que es el conteo transformado de la glucoproteína CD4. El conjunto de datos incluye un total de 1309 pacientes. Se determinó que el número máximo de seguimientos para un paciente en el estudio fue de 9, mientras que el número mínimo fue de 1. Es importante destacar que aquellos pacientes con solo una observación no proporcionaron información sobre los cambios longitudinales a lo largo de las semanas de estudio. Sin embargo, estos datos fueron útiles para estimar las variaciones y efectos aleatorios entre pacientes.

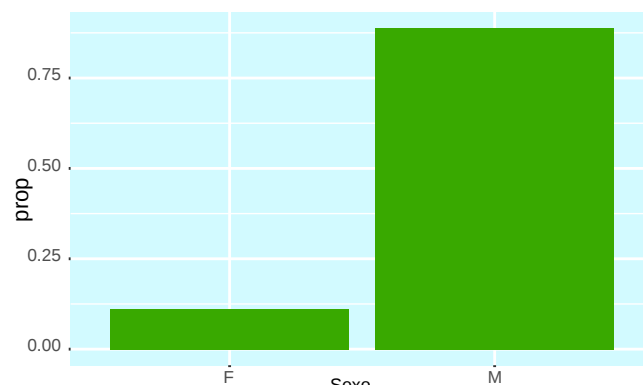
La cantidad de pacientes que recibieron cada uno de los tratamientos se detalla a continuación:

- 325 pacientes recibieron el tratamiento 1
- 324 pacientes recibieron el tratamiento 2
- 330 pacientes recibieron el tratamiento 3
- 330 pacientes recibieron el tratamiento 4

Se observó que la proporción de pacientes que recibieron cada tratamiento fue relativamente equilibrada, lo cual resultó útil para mantener un balance adecuado de las clases de tratamiento, aspecto importante en el estudio.

Se realizó un análisis de la distribución de los pacientes por sexo para evaluar el balance de género en el estudio. La Figura 1 muestra la proporción de pacientes de sexo masculino y femenino en la muestra.

**Figura 1.** Proporción de pacientes por sexo.



**Fuente:** Elaboración propia.

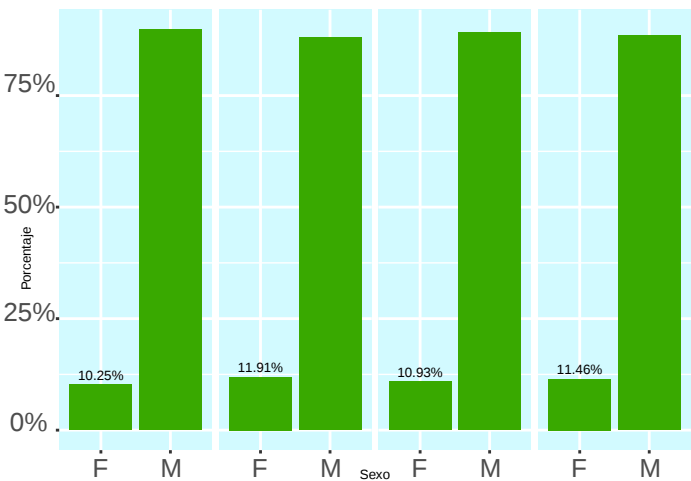
Como se puede observar en la Figura 1, existe un desequilibrio significativo en la distribución del sexo. La mayoría de los pacientes son de sexo masculino, representando aproximadamente el 87.62% de la



muestra, mientras que los pacientes de sexo femenino constituyen solo el 12.38%. Este desequilibrio de sexo es importante de considerar, ya que influye en los resultados y la interpretación del estudio, especialmente si existen diferencias en la respuesta al tratamiento entre hombres y mujeres.

En la Figura 2, se presenta la distribución de sexo por tratamiento, donde se puede apreciar este desbalance por tratamiento.

Figura 2. Distribución del sexo por tratamiento.

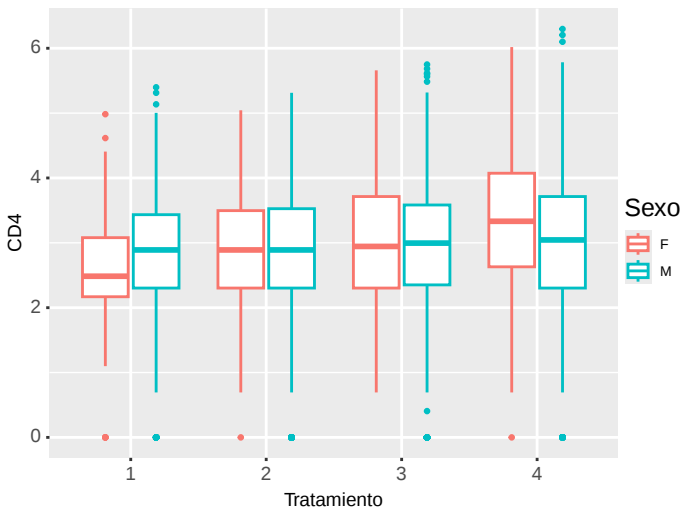


Fuente: Elaboración propia.

Este desbalance del sexo se consideró al interpretar los resultados del modelo, ya que la baja proporción de datos de sexo femenino puede influir en la estimación de los efectos del tratamiento. La baja cantidad de datos correspondientes a mujeres implica que el modelo podría tener un mejor desempeño en el sexo masculino. No obstante, se optó por no aplicar metodologías de remuestreo debido a que la cantidad de datos femeninos disponibles fue considerada suficiente para realizar inferencias razonables y evaluar el modelo adecuadamente.

En la Figura 3, se presenta el conteo de CD4 por tratamiento y género. Este gráfico permite visualizar posibles diferencias en la respuesta al tratamiento entre hombres y mujeres.

Figura 3. Conteo de CD4 por tratamiento.

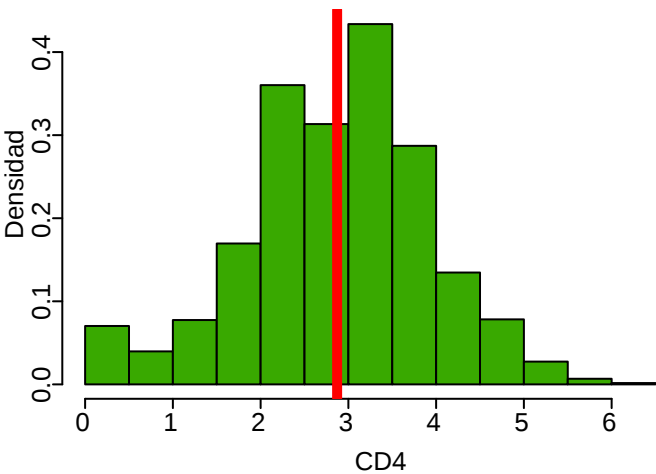


Fuente: Elaboración propia.

Se observó que los tratamientos 1 y 4 presentaron comportamientos levemente diferentes cuando se subdividieron por género. Aunque estas diferencias no fueron claramente evidentes, resultó importante incluir la interacción entre tratamiento y género en el modelo mixto para los efectos fijos, y verificar si esta interacción era significativa y mejoraba el ajuste del modelo.

Para una mejor comprensión de la variable respuesta, se presenta a continuación un histograma de su distribución. La Figura 4 muestra la distribución del conteo de CD4 transformado.

Figura 4. Histograma CD4.



Fuente: Elaboración propia.

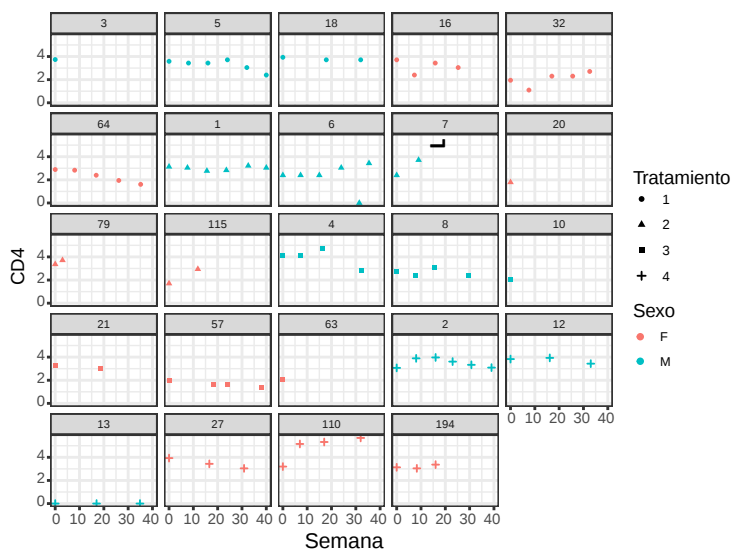


Se observó que esta variable se comportó aproximadamente como una distribución normal, con una media cercana al valor de 3. Sin embargo, también fue evidente que la distribución presenta una cola izquierda más pesada, lo que podría indicar una asimetría en los datos. Esta asimetría debe ser considerada al realizar análisis estadísticos y al interpretar los resultados.

A continuación, se seleccionaron aleatoriamente algunos pacientes para observar cómo se comporta el fenómeno a nivel individual, con el objetivo de identificar posibles variaciones o variables importantes a considerar en los efectos aleatorios intrapacientes.

En la Figura 5, se pueden observar las mediciones de CD4 a lo largo del tiempo para los pacientes seleccionados, diferenciados por sexo y tratamiento.

**Figura 5.** Mediciones de CD4 por paciente, diferenciadas por sexo y tratamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Se observó que en el tratamiento 1, las mediciones de CD4 comenzaron ligeramente más bajas para las mujeres que para los hombres, lo cual se nota en las parcelas 32 y 64, donde las mediciones iniciales están un poco por debajo de 4, mientras que en las parcelas 3, 5 y 18, correspondientes a hombres, las mediciones iniciales están más cerca de 4. En general, es difícil apreciar a simple vista el efecto del

tratamiento debido a la variabilidad entre pacientes. Sin embargo, se destacó que las mediciones para las mujeres fueron un poco más bajas en la mayoría de los tratamientos. En particular, en las parcelas 32, 64, 115, 57, 63 y 194, que corresponden a mujeres, se observaron mediciones de CD4 inferiores a 4, mientras que para los hombres estas mediciones fueron más cercanas a 4. En consecuencia, se consideró el sexo como una variable importante para los efectos aleatorios.

Cabe destacar que, en la mayoría de los pacientes, a lo largo de las semanas, los recuentos de CD4 disminuyeron, lo cual es preocupante para la salud del paciente. Sin embargo, es difícil evitar esta situación debido a su condición de salud. En la parcela 110, se observó que la paciente con tratamiento 4 mostró una leve mejoría en el recuento de CD4, al igual que en la parcela 194. No obstante, no se pudo afirmar si esta mejoría fue debida al efecto del tratamiento 4, ya que en la parcela 27, las observaciones fueron decrecientes. Por tanto, fue necesario incluir pendientes aleatorias en el modelamiento para capturar estos casos.

También se tuvo en cuenta los bajos conteos de algunos pacientes, como el paciente 13, un hombre con tratamiento 4, quien presentó niveles de CD4 inferiores a los demás pacientes en esta muestra. Por lo tanto, fue importante considerar un intercepto aleatorio para los pacientes en el modelamiento, ya que, para algunos de ellos, sus conteos comenzaron en niveles muy distintos.

Algunas observaciones mostraron un patrón que podría ser descrito por una función cuadrática en relación con alguna de las variables continuas. Este comportamiento se observó en las parcelas 5, 64, 2 y 110. Por lo tanto, fue relevante considerar la inclusión de un término cuadrático en el modelo y comparar su desempeño con otros modelos.

### Modelos Mixtos Considerados

Se desarrollaron y compararon varios modelos mixtos para analizar la relación entre el recuento de CD4 y los factores mencionados:



## Modelo 1: Modelo Lineal con Intercepto Aleatorio

A continuación, se presenta el modelo matemático que se ajustó. En primer lugar, se consideró la combinación lineal de todas las covariables involucradas y únicamente el intercepto aleatorio.

### Ecuación 1

$$CD4_{ij} \sim N(\mu_{ij}, \sigma_{CD4}^2)$$

$$\mu_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \text{Tratamiento}_{2i} + \beta_2 \text{Tratamiento}_{3i} + \beta_3 \text{Tratamiento}_{4i} + \beta_4 \text{Edad}_{ij} + \beta_5 \text{Sexo}_{Mi} + \beta_6 \text{Semana}_{ij} + b_{0i}$$

$$b_{0i} \sim N(0, \sigma_{b0}^2)$$

CD4 corresponde al conteo transformado de la glucoproteína CD4 y donde el vector de parámetros para este modelo es:

### Ecuación 2.

$$\Theta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \sigma_{CD4}, \sigma_{b0})^T$$

## Modelo 2: Modelo Lineal con Intercepto y Pendiente Aleatorio.

A continuación, se presenta el segundo modelo matemático que se ajustó. En este modelo, se consideraron tanto el intercepto como la pendiente aleatoria para capturar la variabilidad en el tiempo.

### Ecuación 3.

$$CD4_{ij} \sim N(\mu_{ij}, \sigma_{CD4}^2)$$

$$\mu_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \text{Tratamiento}_{2i} + \beta_2 \text{Tratamiento}_{3i} + \beta_3 \text{Tratamiento}_{4i} + \beta_4 \text{Edad}_{ij} + \beta_5 \text{Sexo}_{Mi} + \beta_6 \text{Semana}_{ij} + b_{0i} + b_{1i} \text{Semana}_{ij}$$

$$\begin{pmatrix} b_{0i} \\ b_{1i} \end{pmatrix} \sim N \left( \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \sigma_{b0}^2 & \sigma_{b0b1} \\ \sigma_{b0b1} & \sigma_{b1}^2 \end{pmatrix} \right)$$

CD4 corresponde al conteo transformado de la glucoproteína CD4 y donde el vector de parámetros para este modelo es:

### Ecuación 4.

$$\Theta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \sigma_{CD4}, \sigma_{b0}, \sigma_{b1}, \sigma_{b0b1})^T$$

## Modelo 3: Modelo con Interacción Tratamiento-Sexo, Intercepto y Pendiente Aleatorios.

A continuación, se presenta el tercer modelo matemático que se ajustó. En este modelo, se consideraron tanto el intercepto como la pendiente aleatoria, además de la interacción entre el tratamiento y el sexo.

### Ecuación 5.

$$CD4_{ij} \sim N(\mu_{ij}, \sigma_{CD4}^2)$$

$$\mu_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \text{Tratamiento}_{2i} + \beta_2 \text{Tratamiento}_{3i} + \beta_3 \text{Tratamiento}_{4i} + \beta_4 \text{Edad}_{ij} + \beta_5 \text{Sexo}_{Mi} + \beta_6 \text{Semana}_{ij} + \beta_7 (\text{Tratamiento}_{2i} \cdot \text{Sexo}_{Mi}) + \beta_8 (\text{Tratamiento}_{3i} \cdot \text{Sexo}_{Mi}) + \beta_9 (\text{Tratamiento}_{4i} \cdot \text{Sexo}_{Mi}) + b_{0i} + b_{1i} \text{Semana}_{ij}$$

$$\begin{pmatrix} b_{0i} \\ b_{1i} \end{pmatrix} \sim N \left( \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \sigma_{b0}^2 & \sigma_{b0b1} \\ \sigma_{b0b1} & \sigma_{b1}^2 \end{pmatrix} \right)$$

CD4 corresponde al conteo transformado de la glucoproteína CD4 y donde el vector de parámetros para este modelo es:

### Ecuación 6.

$$\Theta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8, \beta_9, \sigma_{CD4}, \sigma_{b0}, \sigma_{b1}, \sigma_{b0b1})^T$$

## Modelo 4: Modelo con Interacción Tratamiento-Sexo, Variable Cuadrática de Semana y Efectos Aleatorios.

A continuación, se presenta el cuarto modelo matemático que se ajustó. En este modelo, se consideraron tanto el intercepto como la pendiente aleatoria, la interacción entre tratamiento y sexo, y una variable cuadrática de semana.

### Ecuación 7.

$$CD4_{ij} \sim N(\mu_{ij}, \sigma_{CD4}^2)$$

$$\mu_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \text{Tratamiento}_{2i} + \beta_2 \text{Tratamiento}_{3i} + \beta_3 \text{Tratamiento}_{4i} + \beta_4 \text{Edad}_{ij} + \beta_5 \text{Sexo}_{Mi} + \beta_6 \text{Semana}_{ij} + \beta_7 \text{Semana}_{ij}^2 + \beta_8 (\text{Tratamiento}_{2i} \cdot \text{Sexo}_{Mi}) + \beta_9 (\text{Tratamiento}_{3i} \cdot \text{Sexo}_{Mi}) + \beta_{10} (\text{Tratamiento}_{4i} \cdot \text{Sexo}_{Mi}) + b_{0i} + b_{1i} \text{Semana}_{ij} + b_{2i} \text{Semana}_{ij}^2$$

$$\begin{pmatrix} b_{0i} \\ b_{1i} \\ b_{2i} \end{pmatrix} \sim N \left( \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \sigma_{b0}^2 & \sigma_{b0b1} & \sigma_{b0b2} \\ \sigma_{b0b1} & \sigma_{b1}^2 & \sigma_{b1b2} \\ \sigma_{b0b2} & \sigma_{b1b2} & \sigma_{b2}^2 \end{pmatrix} \right)$$



CD4"# corresponde al conteo transformado de la glucoproteína CD4 y donde el vector de parámetros para este modelo es:

### Ecuación 8.

$$\Theta = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8, \beta_9, \beta_{10}, \sigma_{CD4}, \sigma_{b0}, \sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \sigma_{b0b1}, \sigma_{b0b2}, \sigma_{b1b2})^T$$

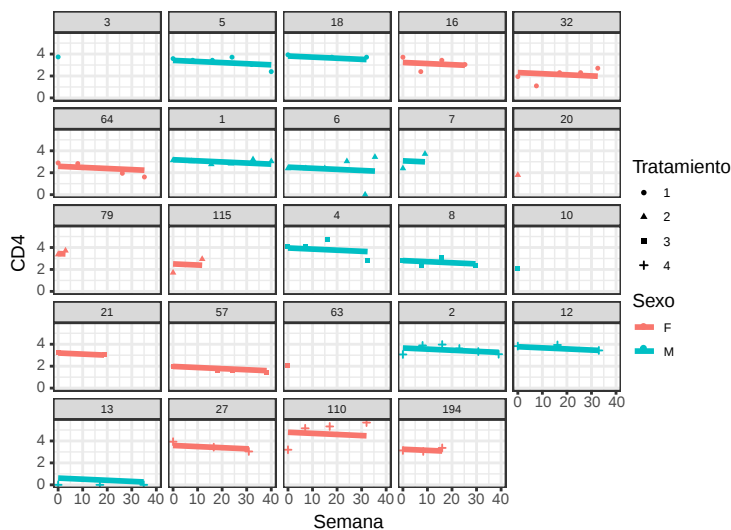
### Entrenamiento de Modelos.

Se utilizó la función lme() del paquete nlme en R para ajustar los modelos a los datos. Los criterios de selección de modelos incluyeron el AIC, BIC, la correlación entre los valores reales y ajustados, y el error cuadrático medio (MSE).

### Comparación de Modelos.

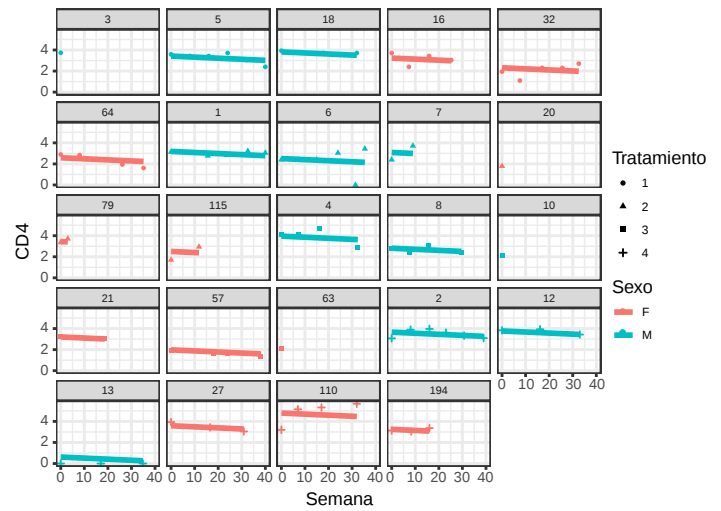
Los modelos se compararon utilizando pruebas de razón de verosimilitud y análisis de residuales. El modelo con el valor más bajo de AIC y BIC, la mayor correlación y el menor MSE se seleccionó como el mejor modelo ajustado.

**Figura 6.** Ajuste de modelo 1.



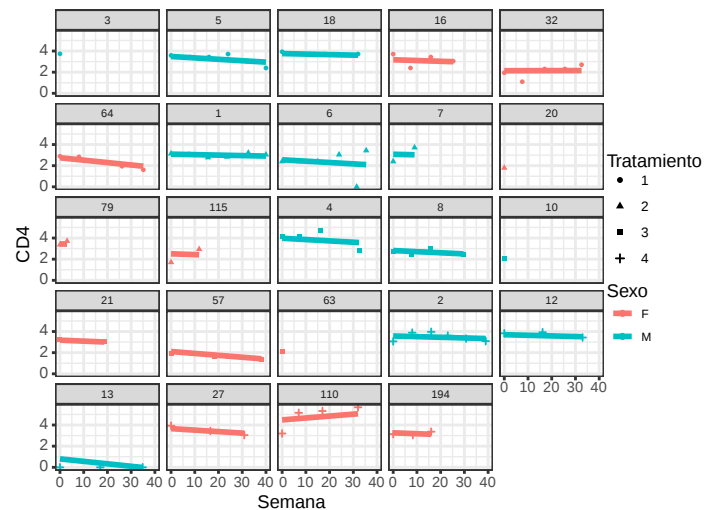
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 7.** Ajuste de modelo 2.



Fuente: Elaboración propia.

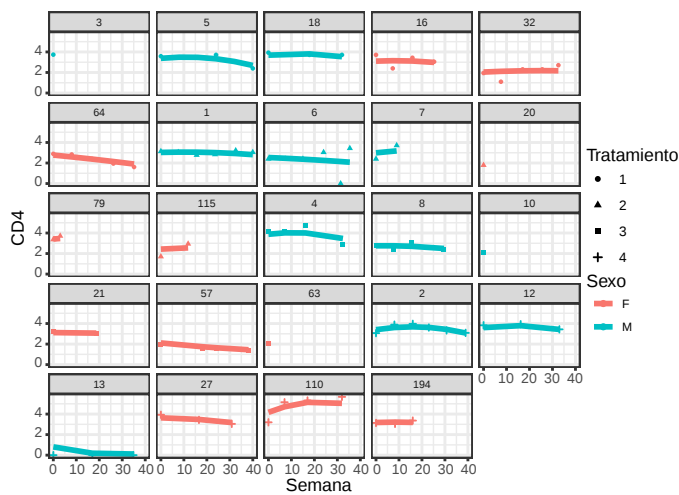
**Figura 8.** Ajuste de modelo 3.



Fuente: Elaboración propia.



Figura 9. Ajuste de modelo 4.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Comparación de Métricas de Ajuste de Modelos.

| Métricas | Modelo 1 | Modelo 2 | Modelo 3 | Modelo 4 |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| AIC      | 12281.35 | 12143.67 | 12147.18 | 12017.50 |
| BIC      | 12340.05 | 12215.42 | 12238.50 | 12134.90 |
| logLik   | -6131.67 | -6060.83 | -6059.59 | -5990.75 |

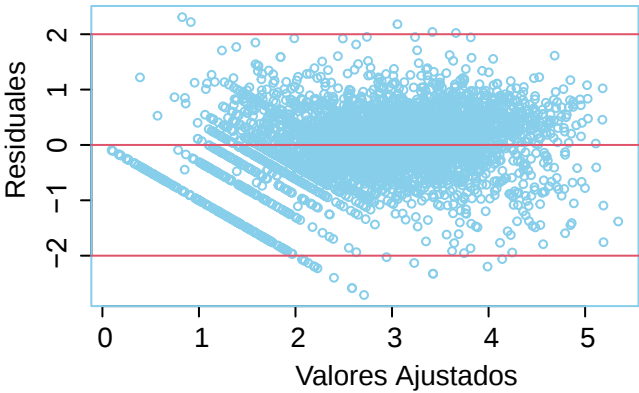
Fuente: Elaboración propia.

Análisis de Residuales y Normalidad de Efectos Aleatorios.

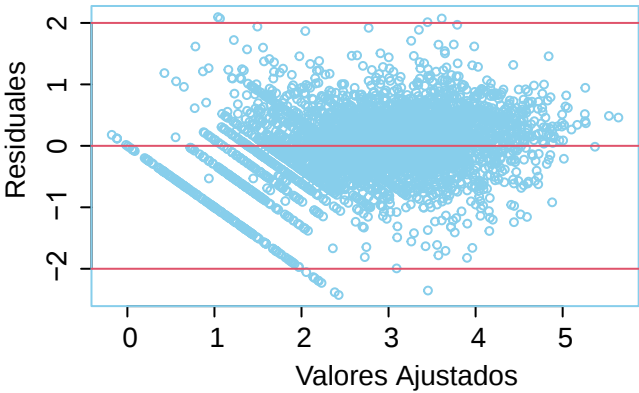
Se evaluaron los residuales para verificar el cumplimiento de los supuestos de homogeneidad de varianza y normalidad. Se generaron gráficos de valores ajustados vs valores reales y se calcularon las correlaciones y el MSE para cada modelo.

Figura 10. Distribución de los residuales de los modelos.

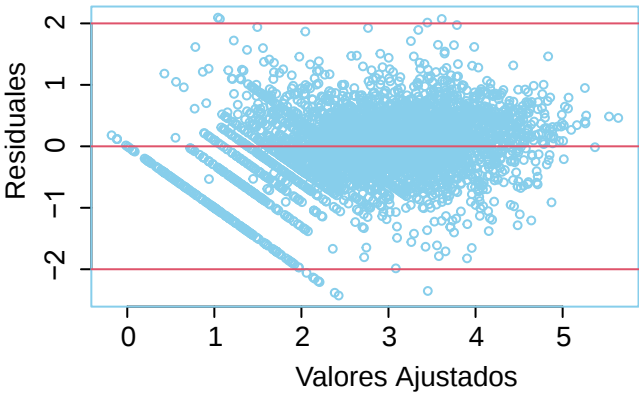
Residuales modelo1



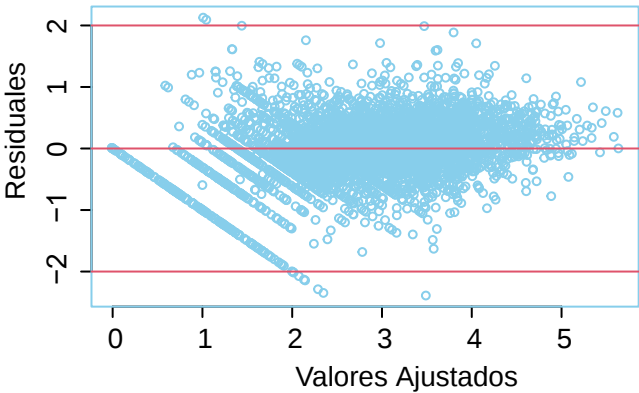
Residuales modelo2



Residuales modelo3



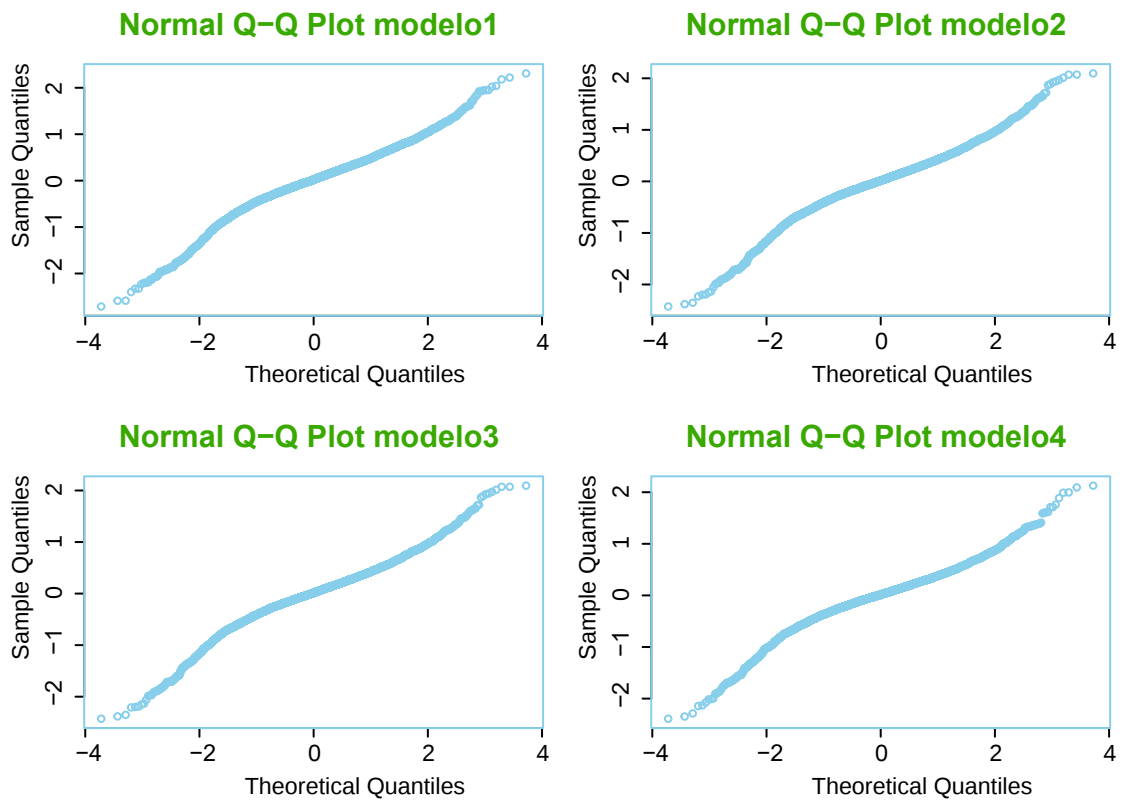
Residuales modelo4



Fuente: Elaboración propia.

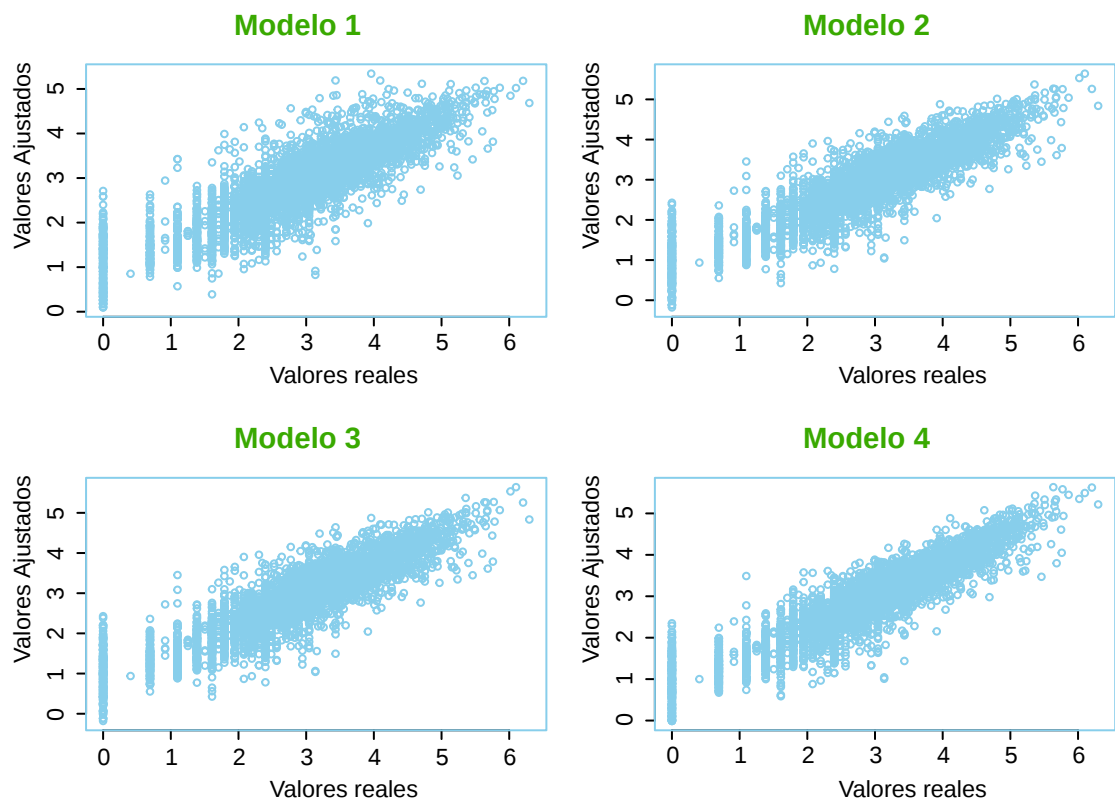


**Figura 11.** Gráfico QQ-plot, normalidad de los residuales.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 12.** De valores reales contra valores ajustados.



Fuente: Elaboración propia.



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos a partir del ajuste de modelos mixtos para el recuento de la glucoproteína CD4 en pacientes con supresión inmune avanzada reflejan la capacidad de estos modelos para capturar tanto la variabilidad intraindividual como interindividual en los datos longitudinales. Se evaluaron cuatro modelos con diferentes niveles de complejidad, incluyendo interacciones entre variables y términos cuadráticos para capturar posibles efectos no lineales.

El Modelo 4, que incorpora la interacción entre tratamiento y sexo, además de un término cuadrático para la variable tiempo (Semana), demostró ser el más adecuado según los criterios AIC, BIC, error cuadrático medio (MSE), y la correlación entre valores predichos y observados.

Este modelo logró describir con precisión la tendencia decreciente en los recuentos de CD4 a lo largo del tiempo, ajustando también la heterogeneidad observada entre pacientes.

En particular, el coeficiente asociado con el tratamiento 4 ( $\beta = 0.602$ ,  $p < 0.01$ ) indica una mejora significativa en los recuentos de CD4 en comparación con otros tratamientos, sugiriendo que este tratamiento es más efectivo. Además, la interacción entre el tratamiento 4 y el sexo masculino ( $\beta = -0.615$ ,  $p < 0.01$ ) muestra que la eficacia del tratamiento 4 es significativamente menor en hombres en comparación con mujeres. El término cuadrático para el tiempo ( $\beta = -0.000465$ ,  $p < 0.001$ ) confirma la tendencia no lineal decreciente en los recuentos de CD4 a medida que avanza el tiempo.

El análisis de residuales y la verificación de la normalidad de los efectos aleatorios respaldan la idoneidad del modelo. Los residuales mostraron homogeneidad, y las pruebas de normalidad sugirieron la ausencia de desviaciones significativas en los efectos aleatorios.

A continuación, se presenta una tabla con los

coeficientes relevantes del Modelo 4:

**Tabla 3.** Estimaciones de Coeficientes, Errores Estándar y Valores p.

| Coeficiente             | Estimación ( $\beta$ ) | Error Estándar | Valor p |
|-------------------------|------------------------|----------------|---------|
| Intercepto              | 2.339                  | 0.184          | < 0.001 |
| Tratamiento 2           | 0.317                  | 0.204          | 0.121   |
| Tratamiento 3           | 0.236                  | 0.202          | 0.243   |
| Tratamiento 4           | 0.602                  | 0.205          | 0.003   |
| Edad                    | 0.010                  | 0.003          | 0.001   |
| Sexo Masculino          | 0.220                  | 0.160          | 0.169   |
| Semana                  | 0.005                  | 0.003          | 0.036   |
| (Semana <sup>2</sup> )  | -0.000465              | 0.000068       | < 0.001 |
| Tratamiento 2 Masculino | -0.338                 | 0.217          | 0.119   |
| Tratamiento 3 Masculino | -0.237                 | 0.216          | 0.271   |
| Tratamiento 4 Masculino | -0.615                 | 0.218          | 0.005   |

**Fuente:** Elaboración propia.

Nota: La tabla presenta únicamente las estimaciones de los coeficientes fijos. Los coeficientes asociados a los efectos aleatorios no se muestran para mantener la claridad y concisión de la tabla.

## CONCLUSIONES

Los modelos mixtos implementados han demostrado ser herramientas efectivas para el análisis de datos longitudinales en contextos clínicos, especialmente en pacientes con SIDA y supresión inmune avanzada. El modelo óptimo, que incluye interacciones y términos no lineales, proporciona una visión detallada de los factores que influyen en los recuentos de CD4, resaltando la importancia de considerar tanto las características demográficas como la evolución temporal de la enfermedad.

El tratamiento 4 mostró una eficacia significativa en la mejora de los recuentos de CD4, especialmente en mujeres, mientras que la interacción negativa con el sexo masculino sugiere una menor eficacia en hombres. La tendencia decreciente no lineal observada en los recuentos de CD4 a lo largo del tiempo tiene importantes implicaciones clínicas, sugiriendo la necesidad de ajustar y personalizar las intervenciones terapéuticas para optimizar la



respuesta al tratamiento. Estos hallazgos subrayan la utilidad de los modelos mixtos para mejorar la toma de decisiones clínicas basadas en datos y contribuyen a la optimización de estrategias terapéuticas en pacientes con VIH.

## REFERENCIAS

1. Veil R, Poizot-Martin I, Reynes J, Goujard C, Seng R, Delobel P, et al. Virological and immunological impact of integrase inhibitor-based regimens initiated during primary HIV-1 infection. *AIDS*. 2020 Mar 15;34(4):493–500.
2. Peña SS, del Mar Pastor Bravo M, Tomás MÁC, Martínez PA, Guillén CP, Jiménez-Ruiz I. Factors affecting adherence to antiretroviral treatment in women with HIV: A sequential mixed model research design. *Enfermería Global*. 2021;20(2):18–34.
3. Marín-Palma D, Cardona-Arias JA, Hernández JC. Immunological factors related to HIV-1 in colombian patients. *Revista Ciencias de la Salud*. 2019;17(2):245–58.
4. Serrano-Villar S, De Lagarde M, Vázquez-Castellanos J, Vallejo A, Bernadino JI, Madrid N, et al. Effects of immunonutrition in advanced human immunodeficiency virus disease: A randomized placebo-controlled clinical trial (Promaltia study). *Clinical Infectious Diseases*. 2019 Jan 1;68(1):120–30.
5. Fernández-Felix M, Phd AM, Ciber Epidemiología ) ;, Pública S, Msc FF, Serrano-Villar S, et al. Effects of first-line antiretroviral therapy on the CD4/CD8 ratio and CD8 cell counts in CoRIS: a prospective multicentre cohort study. 2020. Available from: [www.thelancet.com/hivVol](http://www.thelancet.com/hivVol).
6. Casadiego Rincon EJ, Sosa Martinez JC. Generalized time-varying coefficient models for the analysis of longitudinal data in health: an application in HIV / AIDS and COVID-19. *SantoTomasUniversityJorunal*. 2021 May;
7. Tang L, Chen F, Ling Q, Li P, Ge L, Cai C, et al. HIV disease progression among heterosexually-infected individuals before the introduction of universal ART in China: A linear mixed-effects model. *Glob Health Med*. 2024;
8. Fernandez D, Ali H, Pals S, Alemnji G, Vasireddy V, Siberry GK, et al. Assessing sex differences in viral load suppression and reported deaths using routinely collected program data from PEPFAR-supported countries in sub-Saharan Africa. *BMC Public Health*. 2023 Dec 1;23(1).
9. Schröter J, Anelone AJN, Yates AJ, De Boer RJ. Time to Viral Suppression in Perinatally HIV-Infected Infants Depends on the Viral Load and CD4 T-Cell Percentage at the Start of Treatment. 2020. Available from: <http://penta-id.org/>
10. Capasso A, Brown JL, Safonova P, Belyakov N, Rassokhin V, DiClemente RJ. Heavy Alcohol Use is Associated with Lower CD4 Counts among Russian Women Living with HIV: A Multilevel Analysis. *AIDS Behav*. 2021 Nov 1;25(11):3734–42.
11. Demidenko E. *Mixed Models Theory and Applications with R* Second Edition. 2013.
12. Anderegg N, Panayidou K, Abo Y, Alejos B, Althoff KN, Anastos K, et al. Global Trends in CD4 Cell Count at the Start of Antiretroviral Therapy: Collaborative Study of Treatment Programs. *Clinical Infectious Diseases*. 2018 Mar 5;66(6):893–903.



# Modelos predictivos de vigilancia epidemiológica en salud pública usando la salud digital y los determinantes sociales y estructurales de la salud(sdoh): revisión sistemática.

## Predictive models of epidemiological surveillance in public health using digital health and social and structural determinants of health (sdoh): systematic review.

Recibido: 18/11/2024- Aceptado: 31/08/2025 - Publicado: 08/10/2025

### Autores

#### Deiber Armando Pinzón Castro \*

Médico especialista en Medicina Aplicada a la Actividad física y el Deporte. Epidemiólogo Clínico.  
Centro de Servicios de Salud-SENA  
Medellín - Colombia  
deiberpinzon@gmail.com

#### Diana Catalina Arcila Echavarría

Ingeniera Química. Magister en Ingeniería. PhD en Biotecnología.  
Centro de Servicios de Salud-SENA  
Medellín - Colombia  
darcilae@sena.edu.co

#### Sandra M. Arroyave Espinal

Enfermera profesional.  
Centro de Servicios de Salud-SENA  
Medellín - Colombia  
arroyaveespinalsandramilena@gmail.com

#### Jor F. Maturana Cuesta

Administrador en Salud con énfasis en Gestión Sanitaria Ambiental. Profesional en salud pública.  
Centro de Servicios de Salud-SENA.  
Medellín - Colombia  
macues.jor@gmail.com

#### Brodny Y. Herrera López

Profesional en Gerencia de sistemas de información en salud. Especialista en mercadeo. Magister en mercadeo con énfasis en servicios y experiencias.  
Centro de Servicios de Salud-SENA  
Medellín - Colombia  
byherreral@eafit.edu.co

#### Álvaro A. Araque Fernández

Médico especialista en ginecología y obstetricia.  
Centro de Servicios de Salud-SENA.  
Medellín - Colombia  
aaraquefernandez@gmail.com

\*Autor de correspondencia



## RESUMEN

**Contexto:** Los determinantes sociales y estructurales de la salud son aquellas estructuras sociales y económicas que median las desigualdades en salud, que están relacionadas entre sí y se superponen para facilitar o limitar un desenlace, se incluyen los entornos sociales y físicos, servicios de salud, factores sociales. Se pueden dividir en dos categorías: individuales o específicos del paciente, como educación, empleo o vivienda; y determinantes comunitarios, que miden el ambiente en el cual se desenvuelve el individuo o socioeconómicas como la contaminación del aire, características de la vivienda, tasa de desempleo, y aquí es importante resaltar la importancia del registro de estos en los diferentes modelos de historia clínica electrónica. Se concluye que se requiere herramientas con amplia difusión y uso interinstitucional, que facilite la inclusión de las variables que hagan referencia a estos determinantes sociales y que puedan ayudar a identificar factores de riesgo para poblaciones especiales.

**Objetivo:** evaluar de forma crítica, qué tipo de modelos predictivos se han desarrollado para predecir desenlaces en salud, usando herramientas digitales para el registro y procesamiento de la información y que incluyan los SDOH.

**Métodos:** Esta es una revisión sistemática de la literatura, de tipo narrativo, brinda una visión crítica de los resultados encontrados respecto a estudios de pronóstico, que usaron herramientas digitales para su construcción y que incluyeron determinantes sociales y estructurales de la salud para la predicción del riesgo. Para su elaboración, se han seguido las recomendaciones de la declaración PRISMA.

**Resultados:** Las primeras búsquedas se realizaron en abril de 2022, utilizando los términos MeSH: “determinantes sociales”, “pronóstico” y “tecnologías en salud”, “salud pública” y los operadores booleanos AND y OR según necesidad, se usaron las bases de datos PubMed, Cochrane, además de los servidores de prepublicación bioRxiv y medRxiv, también se realizó búsqueda en Google Scholar. Posteriormente se procedió a realizar una revisión por título en cada base de datos para identificar artículos relacionados con las palabras clave y que pudieran ser incluidos en la revisión sistemática, eliminando 1020 artículos, quedando para evaluación por Abstrac y texto completo 45 artículos, de los cuales fueron eliminados 40 artículos adicionales por no encontrar relación con el tema de la revisión sistemática y uno por ser una carta al editor de una revista. Se encontraron 2 revisiones sistemáticas que tenían tema similar a esta revisión pero que no tenían en cuenta la misma profundidad respecto al tema. Por lo anterior se decidió incluir en la revisión sistemática 5 artículos de pronóstico.

**Conclusiones:** Esta revisión sistemática permite concluir que los modelos predictivos que incorporan SDOH, junto con herramientas digitales para la recolección de información, mejoran significativamente su capacidad predictiva y precisión. Los mejores resultados se observan cuando se incluyen tanto los SDOH individuales como los comunitarios.

**Palabras clave:** Interpretación de datos, salud pública, predicción de riesgo, diseño de investigación, modelos, vigilancia epidemiológica.



## ABSTRACT

**Context:** The social and structural determinants of health are those social and economic structures that mediate health inequalities, which are interrelated and overlapping to facilitate or limit an outcome. Including social and physical environments, health services and social factors, they can be divided into two categories: individual or patient-specific, such as education, employment, or housing; and community determinants, which measure the environment in which the individual develops or socioeconomic factors such as air pollution, housing characteristics, unemployment rate, and here it is important to highlight the importance of recording these in the different models of electronic medical records. It is concluded that tools with wide dissemination and inter-institutional use are required, which facilitate the inclusion of variables that refer to these social determinants and that can help identify risk factors for special populations.

**Objective:** To critically evaluate what kind of predictive models have been developed to predict health outcomes, using digital tools for recording and processing information and including SDOH.

**Methods:** This is a systematic review of narrative literature, providing a critical view of the results found with respect to prognostic studies, which used digital tools for their construction and included social and structural determinants of health for risk prediction. For its preparation, the recommendations of the PRISMA declaration have been followed.

**Results:** The first searches were conducted in April 2022, using the MeSH terms: "social determinants", "forecast" and "health technologies", "public health" and the Boolean operators AND and OR as needed, the PubMed, Cochrane databases were used, in addition to the bioRxiv and medRxiv prepublication servers, Google Scholar was also used. Subsequently, a review by title was carried out in each database to identify articles related to the keywords and that could be included in the systematic review, eliminating 1020 articles, selecting 45 articles for evaluation by abstract and full text, of which 40 additional articles were eliminated for not finding a relationship with the topic of the systematic review and one for being a letter to the editor of a journal. We found 2 systematic reviews that had a similar theme to our review but did not take into account the same depth regarding the topic. Therefore, it was decided to include 5 prognostic articles in this systematic review.

**Conclusions:** This systematic review concludes that predictive models that incorporate SDOH, along with digital tools for data collection, significantly improve their predictive capacity and accuracy. The best results are observed when both individual and community SDOH are included.

**Keywords:** Data interpretation, public health, risk prediction, research design, models, epidemiological surveillance.



## INTRODUCCIÓN

La vigilancia epidemiológica tiene como objetivo identificar riesgos en salud tempranamente, buscando intervenir y disminuir el impacto de estas condiciones en la población, por lo anterior es importante poder identificar cuales variables potenciales están asociadas a un riesgo específico o una condición de salud que, mediante una intervención temprana, pueda mitigar su impacto poblacional (1-5). La investigación relacionada con pronóstico tiene gran importancia en esta área del conocimiento, ya que mediante este tipo de estudios es posible identificar factores pronósticos para desenlaces en salud y posteriormente validar estos trabajos en diferentes poblaciones, buscando hallar causalidad entre factores pronóstico y un desenlace (1, 2, 5-7). Para poder desarrollar un modelo predictivo (pronóstico), se debe llevar a cabo una adecuada selección, definición, medición y categorización de las variables a incluir; definir sus posibles interacciones, número de variables, tamaño de muestra, enfatizar en la importancia de la calidad del dato, pruebas estadísticas a utilizar, validación, calibración del modelo, discriminación y utilidad (1, 7, 8).

Los modelos epidemiológicos utilizados para dar respuesta a este tipo de preguntas orientadas al pronóstico, son los estudios observacionales tipo cohorte, los cuales incluyen a grupos de individuos con características en común, se realiza seguimiento en un tiempo determinado, posteriormente con la información recolectada es posible observar la aparición de eventos o un desenlace que se quiera evaluar, a partir de esto podremos realizar estimaciones sobre la probabilidad de ocurrencia del evento en el tiempo, se podrán comparar diferentes cohortes, lo que permitirá establecer la fuerza de asociación de las variables pronóstico con el desenlace (1, 7, 9-11). Este tipo de trabajos de investigación deben ceñirse a unas normas de realización, publicación y validación, para que sus resultados sean válidos y puedan ser generalizables, de lo contrario no estarían aportando valor a la investigación clínica (6, 7, 11-13). Dos conceptos claves en este tipo de modelo de investigación son el

factor de riesgo que se puede definir como una exposición ambiental o un factor genético, que está asociado a una probabilidad y el factor pronóstico que es el elemento que se expresa subclínicamente, pero se asocia en mayor o menor probabilidad con el desenlace, en este documento estará representado por los determinantes sociales y estructurales de la salud (SDOH, por su sigla en inglés), los cuales son considerados claves en los desenlaces en salud, ya que pueden facilitar o dificultar un resultado clínico como el control de una enfermedad crónica o por el contrario su descompensación clínica (9, 14, 15).

Los SDOH son aquellas estructuras sociales y económicas que median las desigualdades en salud, que están relacionadas entre sí y se superponen para facilitar o limitar un desenlace, se incluyen los entornos sociales y físicos, servicios de salud, factores sociales (16-18). Estos SDOH son muy amplios y pueden dividirse en diferentes categorías y es claro que cuando aborda un desenlace específico, este está asociado a unos determinantes puntuales que van a tener peso en la ocurrencia o no del desenlace en salud, y se pueden dividir en dos categorías: individuales o específicos del paciente, como educación, empleo o vivienda; y determinantes comunitarios, que miden el ambiente en el cual se desenvuelve el paciente o socioeconómicas como la contaminación del aire, características de la vivienda, tasa de desempleo, y aquí es importante resaltar la importancia del registro de estos en los diferentes modelos de historia clínica electrónica, ya que son promotores del riesgo y aumentan la susceptibilidad individual a la enfermedad en los sistemas de atención clínica y de salud pública, cada país cuenta con sus propios determinantes sociales y su contexto individual (17, 19). Chen y colaboradores realizaron una revisión sistemática (20), buscando integrar los registros electrónicos de salud que facilitan el análisis e integración de datos individuales o comunitarios, ubicados en un entorno específico y en una línea de tiempo concreta, al integrar los determinantes sociales de la salud, con estos registros, se pudo identificar factores o variables que influyen en el estado de salud del individuo y que facilitan enfoques ascendentes y descendentes de atención, que



pueden mejorar la eficacia de la misma, llevando a la correcta utilización de recursos. Algunos determinantes sociales como la pobreza, el desempleo e incluso las tasas de contaminación del aire, contribuyen mínimamente a estos modelos predictivos (15, 20). Existen modelos específicos para desenlaces especiales, que tienen asociación directa con algunos determinantes sociales: actividades sexuales de alto riesgo se asocian con la predicción del riesgo de VIH, tuberculosis, la edad, el consumo de sustancias y los trastornos mentales se asocian con la predicción de los intentos de suicidio, pero no se ha evidenciado determinantes que estén asociados con múltiples desenlaces, se encuentra una brecha en el conocimiento, una falta de claridad sobre cuales determinantes tiene mayor peso sobre un desenlace específico y si realmente su modificación tendrá el impacto esperado en el desenlace (10, 21, 22). En esta revisión los autores resaltan la limitación que se tiene en el registro de información de estos determinantes sociales, lo cual limita la eficacia de estos modelos predictivos, facilitando la presencia de sesgos de selección y de análisis (20, 21). Se concluye que se requiere herramientas con amplia difusión y uso interinstitucional, que facilite la inclusión de las variables que hagan referencia a estos determinantes sociales y que puedan ayudar a identificar factores de riesgo para poblaciones especiales (20, 21, 23). Es importante resaltar que según como se intervenga o modifique estos determinantes sociales, se podrá lograr impactar el desenlace estudiado o evaluado y de esta manera lograr disminuir las inequidades en salud (21, 24, 25).

Diferentes países tienen grandes mejoras en su cobertura en salud, sin embargo, actualmente estos países están presentando una disminución de las tasas de crecimiento económico, mostrando un aumento en costos de cobertura en salud, debido a que su población de adultos mayores ha aumentado, y existen altas expectativas en salud pública, generando una amenaza al sistema sanitario (23, 24). La Organización Mundial de la Salud (OMS) resalta la necesidad de desarrollar mecanismos que faciliten el apoyo del uso de la evidencia científica en investigación mediante la creación de guías de

práctica clínica, evaluación de nuevas tecnologías en salud y nuevas políticas en salud, enfatizando en la importancia de la calidad de los estudios científicos como alternativa para mejorar la legitimidad y la eficacia del proceso de toma de decisiones (23, 24). Actualmente se cuenta con nuevas tecnologías informáticas que facilitan la captación de grandes volúmenes de información de un gran número de variables poblacionales, que pueden ser procesadas y analizadas utilizando la inteligencia artificial (IA), machine learning o Big Data, al incluir este tipo de variables en modelos predictivos aplicados a la salud pública, se puede construir modelos de predicción más ajustados a la realidad y aplicar los resultados a políticas de salud pública (2, 26-29). Científicos, médicos, gobierno e instituciones han generado y están facilitando esta información para que sea de acceso público y pueda ser utilizada con este fin, mediante un procesamiento adecuado y la construcción de algoritmos de predicción que sean robustos, precisos y que puedan tener gran impacto en la salud de nuestras regiones, con esto se quiere cambiar de un modelo centrado en la enfermedad a un modelo con un enfoque preventivo, que incluya factores individuales como sociales para prevenir la aparición de la enfermedad; aunque en muchos países se cuenta con sistemas de monitoreo epidemiológico, estos terminan respondiendo a la aparición de la enfermedad o el evento de interés, sin embargo, podría decirse que no se ha contado con un modelo predictivo que permita anticipar la aparición de los distintos eventos o que se utilice adecuadamente por los entes gubernamentales para intervenir una población y garantizar la disminución en prevalencia e incidencia de un desenlace en salud determinado (6, 15, 26, 30-35). El objetivo de esta revisión sistemática es evaluar de forma crítica, qué tipo de modelos predictivos se han desarrollado para predecir desenlaces en salud, usando herramientas digitales para el registro y procesamiento de la información y que incluyan los SDOH, identificando modelos que se acerquen a la predicción del riesgo en salud pública, desde concepciones que vayan más allá de la prestación de servicios de salud o el enfoque morbicentrico. Actualmente no se tiene claridad sobre la fuerza de asociación de los SDOH con los desenlaces en salud



en los diferentes modelos predictivos.

## METODOLOGÍA

Esta revisión sistemática de la literatura, de tipo narrativo, brinda una visión crítica de los resultados encontrados respecto a estudios de pronóstico, que usaron herramientas digitales para su construcción y que incluyeron SDOH para la predicción del riesgo. Para su elaboración, se han seguido las recomendaciones de la declaración PRISMA(36), se incluyeron estudios que desarrollaron y/o validaron modelos predictivos multivariados, para predecir desenlaces en salud (hospitalización, reingresos hospitalarios, utilización total de servicios en salud y mortalidad), en personas mayores de 18 años, sin discriminación por sexo, utilizando herramientas de la salud digital y SDOH, solo se tuvieron en cuenta estudios observacionales prospectivos o retrospectivos, que utilizaran los SDOH para predecir desenlaces en salud. Se analizó el riesgo de sesgos

de cada una de las publicaciones incluidas en esta revisión, usando la herramienta PROBAST(37). Se utilizaron las bases de datos (PUBMED y Cochrane), además de los servidores de prepublicación bioRxiv y medRxiv, se realizó búsqueda en Google Scholar, se tuvieron en cuenta estudios publicados a partir del año 2000 hasta la actualidad, ya que es un tema que no cuenta con mucha investigación al respecto, se usaron los términos MESH en inglés: salud pública, herramientas digitales, modelos predictivos y determinantes sociales. Estas bases de datos fueron elegidas, ya que en ellas se logra encontrar el 97% de las publicaciones indexadas, además tienen amplia cobertura en ciencias biomédicas y tecnología. Se incluyeron artículos en idioma inglés, no se tuvo en cuenta el factor de impacto de la revista de la publicación. Se excluyeron artículos que publicaran resultados en animales, publicación de resultados parciales, artículos duplicados. La Tabla 1 muestra los sitios, estrategias de búsqueda y resultados obtenidos.

**TABLA 1.** Búsqueda bibliográfica (fecha ultima búsqueda, 02/11/2022).

| BASE DE DATOS  | TÉRMINOS Y ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA                                                                                                                              | NÚMERO DE RESULTADOS TOTALES |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Medline-PubMed | ((("PUBLIC HEALTH") AND ("DIGITAL TOOLS")) AND/OR ("PREDICTIVE MODELS")) AND ("SOCIAL DETERMINANTS")                                                           | 26                           |
| Cochrane       | ((("PUBLIC HEALTH") AND ("DIGITAL TOOLS")) AND/OR ("PREDICTIVE MODELS")) AND ("SOCIAL DETERMINANTS")                                                           | 0                            |
| BioRxiv        | ((("PUBLIC HEALTH") AND ("DIGITAL TOOLS")) AND ("PREDICTIVE MODELS")) AND ("SOCIAL DETERMINANTS") and published between "January 1, 2010 and November 1, 2022" | 208                          |
| MedRxiv        | ((("PUBLIC HEALTH") AND ("DIGITAL TOOLS")) AND ("PREDICTIVE MODELS")) AND ("SOCIAL DETERMINANTS") and published between "January 1, 2010 and November 1, 2022" | 778                          |
| Google Scholar | ((("PUBLIC HEALTH") AND ("DIGITAL TOOLS")) AND/OR ("PREDICTIVE MODELS")) AND ("SOCIAL DETERMINANTS")                                                           | 52                           |

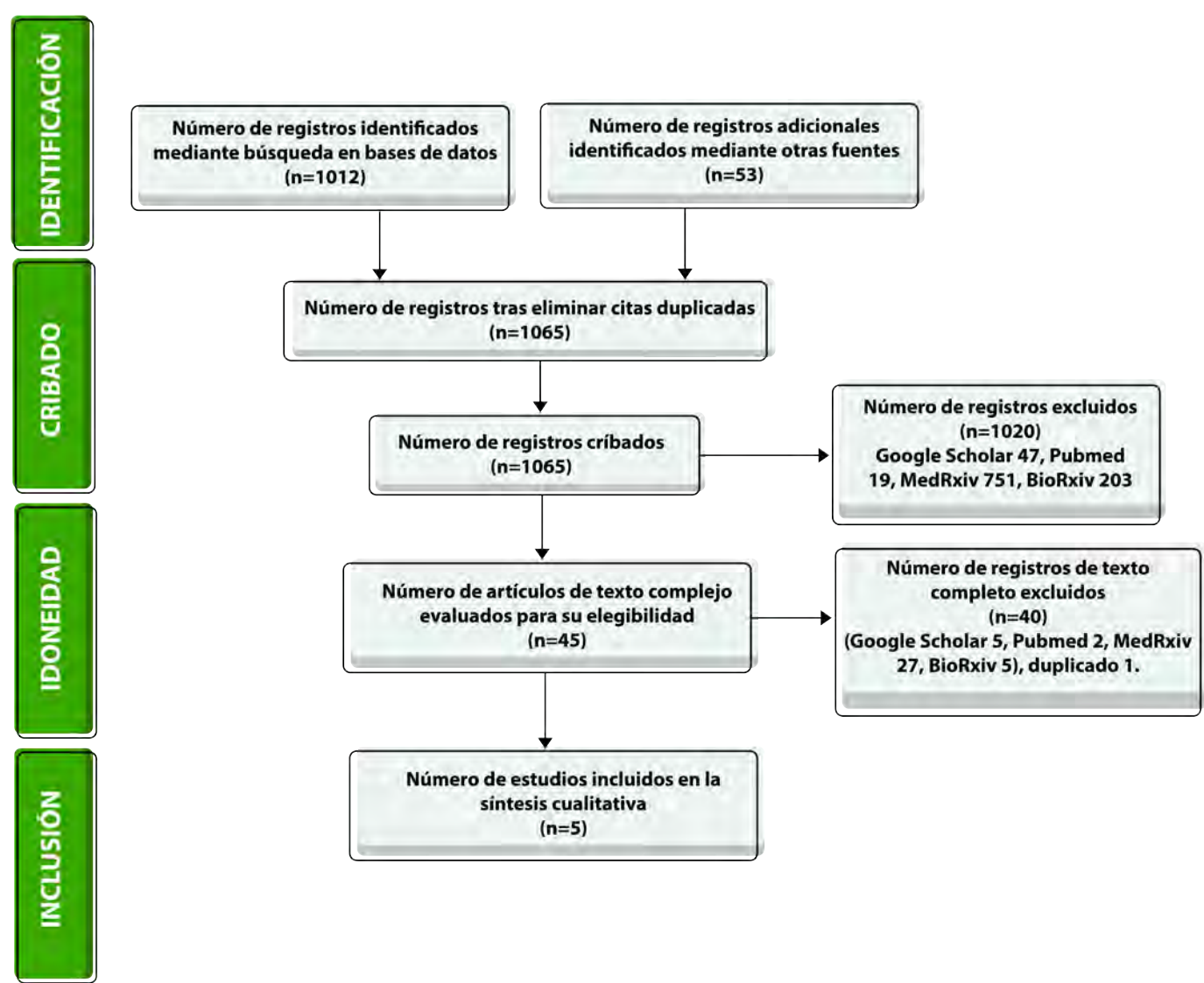


### Selección de estudios y recopilación de datos

El proceso llevado a cabo para identificar los documentos elegibles para la revisión se muestra en la Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA en cuatro niveles(36). Inicialmente dos revisores independientes, leyeron los títulos de los documentos encontrados en cada una de las bases de datos relacionadas en la tabla 1, se eliminaron los artículos que no estaban relacionados con las palabras utilizadas en las búsqueda, posteriormente se evaluó los resúmenes de los artículos

preseleccionados para definir el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión garantizando que los artículos seleccionados aportaran a dar respuesta a la pregunta planteada en esta revisión y que incluyeran determinantes sociales, herramientas digitales, modelos pronóstico y resultados en salud pública. Los revisores llevaron a cabo una discusión sobre desacuerdos en la inclusión o exclusión de artículos y un tercero intervino en caso de ser necesario en artículos específicos en caso de desacuerdo.

Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA en cuatro niveles(36).



Fuente: Elaboración propia.



## RESULTADO

### Búsqueda inicial y sistemática

Las primeras búsquedas se realizaron en abril de 2022, utilizando los términos MeSH: “determinantes sociales”, “pronóstico” y “tecnologías en salud”, en la base de datos PubMed, donde se encontraron 87 artículos asociados a esta búsqueda, con el fin de hacer más precisa la búsqueda, se incluyó los términos entre comillas, se adicionó “salud pública” y los operadores booleanos AND y OR según necesidad, se extendió la búsqueda a otras bases de datos (Cochrane), además de los servidores de prepublicación bioRxiv y medRxiv, se realizó búsqueda en Google Scholar. Los resultados de estas búsquedas están relacionados en la tabla 1. Búsqueda bibliográfica: PubMed (26), Cochrane (0), bioRxiv (208), medRxiv (778), Google Scholar (52). Posteriormente se procedió a realizar una revisión por título en cada base de datos para identificar artículos relacionados con las palabras clave y que pudieran ser incluidos en la revisión sistemática, eliminando el siguiente número de artículos por base de datos (PubMed 19, MedRxiv 751, BioRxiv 203 , Google Scholar 47), luego de esta selección inicial fueron eliminados 1020 artículos, quedando para evaluación por Abstrac y texto completo 45 artículos, de los cuales fueron eliminados 40 artículos de la siguiente manera (Google Scholar 5, PubMed 2, MedRxiv 27, BioRxiv 5, duplicados 1), lo anterior por no encontrar relación con el tema de la revisión sistemática y uno por ser una carta al editor de una revista. Se encontraron 2 revisiones sistemáticas que tenían tema similar a esta revisión pero que no tenían en cuenta la misma profundidad respecto al tema. Por lo anterior se decidió incluir en la revisión sistemática 5 artículos de pronóstico (Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA en cuatro niveles).

Los artículos incluidos en esta revisión fueron sintetizados en la tabla 2. Características de los estudios revisados. Donde se presenta una síntesis de la información de cada uno de ellos y donde se incluyó: autor, año de publicación, diseño del estudio, objetivo, muestra, variables utilizadas, resultado y evaluación del riesgo de sesgos, para lo cual se utilizó la herramienta PROBAST, para evaluar

el riesgo de sesgos de los estudios primarios incluidos en esta revisión(37, 38). El riesgo de sesgos se clasificó en bajo, alto o poco claro, según el compromiso a la validez interna de los resultados producto de las deficiencias metodológicas encontradas en cada publicación. El análisis que se llevó a cabo sigue un orden secuencial por base de datos, sitio de búsqueda y tipo de estudio, con el fin de ayudar a la comprensión de los resultados individuales. Los siguientes fueron los resultados individuales de cada una de las publicaciones incluidas en esta revisión(37, 38).

Zhang et al(39) actualizaron la puntuación HOSPITAL simplificada(40), un modelo de predicción simple usado para identificar previo al alta de un paciente, el riesgo de reingreso a los 30 días potencialmente evitable, identificando aquellos pacientes que requieren intervenciones más intensivas en cuidados transicionales. Realizaron la inclusión de determinantes sociales a este modelo. Se usaron los registros electrónicos en salud de donde se extrajo la información respecto a diagnóstico, el procedimiento, las fechas de admisión/alta, estado del alta, la información socioeconómica individual. Su objetivo fue examinar el impacto de los determinantes sociales de la salud en los modelos predictivos para reingreso hospitalario temprano (30 días) potencialmente evitable, se incluyeron registros de egresos hospitalarios de 19941 pacientes, con reingreso a los 30 días o muerte (N = 3.019) y sin reingreso a los 30 días, ni muerte (N = 16.922). Este trabajo encontró que la inclusión de los determinantes sociales individuales o comunitarios, no mejoró significativamente la predicción de reingreso a los 30 días, aun cuando se encontró una mejora en el rendimiento del modelo, en pacientes según su tipo de aseguradora, edad igual o mayor a 65 años y en pacientes obesos. Este trabajo cuenta con algunas limitaciones como fueron el ser unicentrico, no se realizó un seguimiento individual a cada paciente luego del alta, solo se tuvieron en cuenta los registros institucionales de reingreso, es probable que algunos pacientes hayan reingresado en hospitales de la zona, que no sean el hospital índice, lo cual sería un sesgo de información, que comprometería la validez interna de este trabajo(39).



Belouali et al(31) evaluaron si agregar determinantes sociales al modelo predictivo LACE, que predice reingresos a los 30 días del alta hospitalaria, podría mejorar su rendimiento predictivo, resaltando la importancia de la predicción temprana y precisa, ya que los pacientes que tienen mayor riesgo de reingreso, son la clave para reducir costos hospitalarios para las aseguradoras en salud, lo que afectaría positivamente el sistema sanitario y facilitaría mejoras en los resultados en la salud de los pacientes. Se incluyeron en el estudio 316558 pacientes, 35431 (11,19%) pacientes reingresaron a los 30 días. El índice LACE es un modelo predictivo, validado que predice pacientes en riesgo de reingreso o muerte dentro de los 30 días posteriores al alta(41), este modelo incluye las siguientes variables: duración de la estancia ("L"); severidad al ingreso ("A"); comorbilidades del paciente (medida con la puntuación del índice de comorbilidad de Charlson) ("C"); y uso del servicio de urgencias (medido como el número de visitas en los seis meses anteriores al ingreso) ("E").

Los predictores para el estudio incluyeron el índice LACE y sus componentes, SDOH a nivel individual y SDOH a nivel comunitario. Incluyó los siguientes determinantes sociales en salud (sexo, raza, estado civil, acceso a la atención de salud, ropa, alimentación, alojamiento, estrés), concluyeron que los pacientes con reingresos no planificados a los 30 días tenían malas condiciones de sus determinantes individuales al compararlos con los pacientes sin reingresos. Se evidenciaron dificultades para acceder a la atención médica, pobre seguridad alimentaria, aumento en el número de circunstancias legales o encarcelamiento, mayor número de alteración en la seguridad física o emocional, aislamiento y falta de conexiones sociales y mayor estrés. Los pacientes con reingresos a los 30 días tenían mayor probabilidad de residir en comunidades con SDOH deficiente, eran principalmente fumadores, presentaron una mayor tasa de muertes por armas de fuego, un mayor consumo de alcohol, mayor tasa de hogares monoparentales, mayor número de crímenes violentos, mayor número de muertes por lesiones, mayor tasa de conducción solo al trabajo y menor (peor) índice de ambiente alimentario. Por otro lado, los pacientes no readmitidos tenían más

probabilidades de vivir en condados con un ingreso familiar promedio más alto, mayor porcentaje de adultos y niños sin seguridad social(31). La adición de SDOH a nivel comunitario al modelo base tuvo una mejoría pequeña pero significativa en su rendimiento con un AUC = 0,705 (IC 95 % [0,702–0,707];  $P < .001$ ) pero no tuvo un efecto en la puntuación de Brier (métrica utilizada para medir la precisión de los pronósticos probabilísticos). El modelo combinado con componentes LACE, SDOH a nivel individual y SDOH a nivel comunitario tuvo la mayor mejoría en comparación con el modelo base con un AUC igual a 0,708 (IC 95 % [0,705–0,71];  $P < .001$ ) y una puntuación mejorada de Brier igual a 0,09. Este estudio, concluyó que incluir SDOH en el modelo pronóstico, mejorar el índice LACE, diferentes subpoblaciones (negros y los pacientes de 65 años o más), se benefician más de la inclusión de SDOH en la predicción de readmisión(31).

Hall et al(42) exploraron la asociación de un conjunto integral de determinantes sociales en salud y la probabilidad de regresar al servicio de urgencias después del alta hospitalaria o del servicio de urgencias, incluyeron 123697 pacientes únicos, realizaron un proceso de imputación de datos faltantes para dar fuerza al modelo, se incluyeron los siguientes determinantes para el análisis: historial de abuso en el hogar, problemas en el hogar, educación, estado laboral, situación de vivienda, consumo de alcohol, consumo de tabaco, abuso de sustancias, restricción de alimentación y restricción de movimiento, dentro de sus hallazgos resalta el número de condiciones médicas como el predictor de mayor importancia relativa y es sustentado en el hecho de que personas más enfermas, tienen menor probabilidad de mantener estable su enfermedad, cabe resaltar múltiples deficiencias metodológicas, como son el alto número de datos faltantes que lleva a la necesidad de imputar(42). Concluye que los determinantes sociales como el acceso a una vivienda estable o un empleo remunerado tienen un profundo impacto en el bienestar de una persona. Este estudio no corresponde a la creación o validación de un modelo predictivo, es un estudio exploratorio donde se evidencia la relación entre algunas variables incluidas los SDOH(42).



**Tabla 2.** Características de los estudios revisados.

| AUTOR/AÑO            | DISEÑO DEL ESTUDIO                               | OBJETIVO                                                                                                                                                                             | MUESTRA                                                                                                                                                                                                          | VARIABLES UTILIZADAS                                                                                                                                                                                                                                                                                        | RESULTADO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | RIESGO DE SESGOS |
|----------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Zhang et al / 2020   | Estudio de cohorte retrospectivo.                | Examinar el impacto de los determinantes sociales de la salud en los modelos predictivos para reingreso hospitalario temprano (30 días) potencialmente evitable.                     | Registros de salud electrónicos para 19941 admisiones hospitalarias, con reingreso a los 30 días o muerte (N = 3.019) y sin reingreso a los 30 días, ni muerte (N = 16.922).                                     | Frecuencia de los ingresos hospitalarios previos, la urgencia del ingreso, los últimos niveles disponibles de hemoglobina y sodio, el alta de una división de oncología y el índice de duración de la estancia hospitalaria, sexo, la raza, origen étnico, idioma principal, estado civil y tipo de seguro. | Este trabajo encontró que la inclusión de los determinantes sociales individuales o comunitariamente, no mejoró significativamente la predicción de reingreso a los 30 días, aun cuando se encontró una mejora en el rendimiento del modelo en pacientes según su tipo de aseguradora, edad igual o mayor a 65 años y pacientes obesos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Alto             |
| Beloualiet al / 2021 | Estudio de cohorte retrospectivo.                | Desarrollar una puntuación predictiva que mida la influencia de las características del paciente en las intervenciones del programa de telemedicina (MT).                            | Se estratificaron por tipo de enfermedad y se emparejaron por gravedad de la enfermedad en un grupo de intervención de MT (N = 7782) y una cohorte de control de "atención habitual" sin telemedicina (N = 7981) | Género, edad, origen étnico, tipo de servicio en telemedicina, aseguradora, enfermedad de base, centro de atención, abuso de sustancias, número de comorbilidades.                                                                                                                                          | Incluir SDOH en el modelo pronostico, mejorar el índice LACE, diferentes subpoblaciones (negros y los pacientes de 65 años o más), se beneficien más de la inclusión de SDOH en la predicción de readmisión.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Bajo             |
| Hall et al / 2021    | Modelo matemático seires de tiempo.              | Identificar los factores de riesgo específicos relacionados con el crecimiento de casos de COVID-19.                                                                                 | Crecimiento relativo futuro de casos normalizados a la población en los condados de Tennessee y Georgia desde julio de 2020 hasta enero de 2021.                                                                 | Características demográficas.                                                                                                                                                                                                                                                                               | Los determinantes sociales como el acceso a una vivienda estable o un empleo remunerado tienen un profundo impacto en el bienestar de una persona. Este estudio no corresponde a la creación o validación de un modelo predictivo, es un estudio exploratorio donde se evidencia la relación entre algunas variables incluidas los SDOH.                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Bajo             |
| Crump et al / 2022   | Estudio de cohorte retrospectivo.                | Evaluar si agregar determinantes al modelo predictivo LACE, que predice reingresos a los 30 días del alta hospitalaria, puede mejorar su rendimiento predictivo.                     | El estudio incluyó 316 558 pacientes de los cuales 35 432 (11,1946) pacientes reingreso a los 30 días.                                                                                                           | Sexo, raza, estado civil, acceso a la atención de salud, ropa, alimentación, alojamiento, estrés.                                                                                                                                                                                                           | Las características de los pacientes y sus determinantes sociales contribuyen a la creación de una puntuación confiable y válida, para mejorar la orientación respecto al tratamiento del paciente y la consistencia de los resultados del programa de telemedicina. El modelado predictivo facilita mejores prácticas de salud digital, facilitando la estratificación del riesgo individual, la planificación de la atención y la toma de decisiones respecto a los recursos que se utilizaran para cada caso individual, identificando los pacientes que necesitan terapias más intensivas o enfoques de tratamiento más adecuados. | Alto             |
| Gray et al / 2022    | Estudio observacional retrospectivo transversal. | Explorar la asociación de un conjunto integral de indicadores SDOH y la probabilidad de regresar al servicio de urgencias después del alta hospitalaria o del servicio de urgencias. | 123697 pacientes únicos.                                                                                                                                                                                         | El historial de abuso en el hogar, los problemas en el hogar, la educación, el estado laboral, la situación de vivienda, el consumo de alcohol, el consumo de tabaco, el abuso de sustancias, la restricción de alimentación y la restricción de movimiento.                                                | Múltiples medidas de determinantes sociales, están asociadas con la probabilidad de reingreso al hospital, pero no son el predictor más importante.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Bajo             |

**Fuente:** Elaboración propia.

El objetivo principal de este estudio realizado por Crump et al (32) fue crear una puntuación de Telemedicina ImPact (TIP) confiable y válida, teniendo en cuenta las características del paciente, lo que permitió la creación de diferentes modelos con la capacidad de predecir resultados en salud y los efectos del tratamiento, estos modelos predictivos incluyeron los siguientes desenlaces: hospitalización, reingresos hospitalarios, utilización total de servicios en salud y mortalidad. Se concluyó que las características de los pacientes y sus determinantes sociales contribuyen a la creación de una puntuación confiable y válida, para mejorar la orientación respecto al tratamiento del paciente y la consistencia de los resultados del programa de telemedicina. El modelado predictivo facilita mejores prácticas de salud digital, facilitando la estratificación del riesgo individual, la planificación de la atención y la toma de decisiones respecto a los recursos que se utilizaran para cada caso individual, identificando los pacientes que necesitan terapias más intensivas o enfoques de tratamiento más adecuados. Como limitación en este modelo, se encontró que las variables de los determinantes en salud fueron abordadas parcialmente y a que no se contó con un registro completo de las mismas (32).

Gray et al(13) este trabajo combinó estadísticas de COVID-19 disponibles públicamente con SDOH de la información de salud a nivel de condado. Se utilizaron modelos de aprendizaje automático para predecir el crecimiento de casos de COVID-19 y comprender los factores de riesgo sociales, físicos y ambientales que se asociaron con tasas más altas de infección por SARS-CoV2 en los condados de Tennessee y Georgia. La precisión del modelo se evaluó comparando los recuentos de casos previstos con los recuentos de casos positivos reales en cada condado. Los modelos predictivos alcanzaron una media r-cuadrado (R<sup>2</sup>) de 0,998 en ambos estados con una precisión superior al 90% para todos los puntos temporales examinados. Se identificaron los factores de riesgo específicos relacionados con el crecimiento de casos de COVID-19, en los estados de Tennessee, Shelby y Davidson, utilizaron una serie temporal para determinar qué características demográficas afectaban positivamente el aumento de casos en diferentes meses y en diferentes estados, encontrando una relación en el condado de Shelby con un aumento gradual en importancia en la demografía asiática, y en el condado de Tennessee se relacionó con blancos no hispanos, así como tendencias contrastantes en afroamericanos(13).



## DISCUSIÓN

Esta revisión sistemática logró identificar en los diferentes estudios incluidos, que los determinantes sociales ayudan a mejorar el nivel de predicción y discriminación en los modelos, donde aun con leves mejoras en los valores de predicción, se encontró diferencias estadísticamente significativas(39), lo que estaría acorde con lo reportado por de Boer(15) quien llevó a cabo una revisión sistemática y efectuó un análisis multivariable y una regresión logística para definir que variables son predictoras del estado de salud de un individuo, encontró gran heterogeneidad entre los estudios evaluados, pero pudo describir como factores predisponentes edad, sexo, estado marital y nivel educativo, aun cuando en esta revisión estos factores no son categorizados como SDOH, se sabe que pertenecen a este grupo de determinantes, adicionalmente estos autores no encuentran efecto sobre la salud en vivir en el centro de la ciudad, sitio de residencia o distancia al hospital(15). Se evidenció que tiene un mayor rendimiento en los modelos predictivos la inclusión de SDOH individuales y comunitarios, que la inclusión individual de estos determinantes (31, 43). Por lo anterior se pudo concluir que se incluyen los SDOH individuales y comunitarios en los modelos de predicción de enfermedad se podría disminuir las desigualdades sociales e identificar aquella población más susceptible y que requiere de mayor atención a la hora de recibir una atención en salud o de servicios ofertados en un programa comunitario orientado a la prevención primaria a largo plazo, dando fuerza a un sistema de salud y mejorando su economía, al direccionar de una manera más eficaz los recursos en salud (39, 44).

En la era de la innovación digital, cuando se están llevando a cabo estrategias a nivel global para mejorar el registro de información y poder facilitar el acceso a la misma(34, 45), surgen interrogantes al respecto como son, el cómo se podrá llevar a cabo un registro adecuado de información, garantizando la calidad del dato y la inclusión de variables tan importantes como los SDOH, en todas sus categorías y dominios, logrando obtener mayores cantidades de información y por este medio facilitar un escenario

propicio para los sistemas de salud, en cuanto a toma de decisiones y disposición de recursos(34, 44, 46, 47). Se consideran posible y necesaria la inclusión de este tipo de variables (SDOH) en los modelos de predicción aun cuando no se han variables clínicas, ya que aumentan la sensibilidad, especificidad y precisión de los modelos, las diferencias encontradas en el rendimiento de algunos modelos probablemente se deba a las características individuales de la población de estudio, que buscan atención medica dentro de sus áreas geográficas, este trabajo recomienda mejorar el emparejamiento de los pacientes con sus niveles de atención según sus condiciones médicas de salud, dirigiendo las políticas públicas a la prevención(16, 43, 46, 48, 49).

La historia clínica electrónica, es una herramienta útil para la recopilación de información respecto a los SDOH y en este momento en Colombia, cuando se está implementando la transformación digital en salud y donde la interoperabilidad de la historia clínica es pieza fundamental de este modelo, se considera la importancia de incluir los SDOH individuales y comunitarios para tener una visión más holística de la población Colombiana y poder desarrollar investigación que brinde resultados reales de dicha población y oriente las políticas públicas (20, 27, 49). En la actualidad se está procurando integrar estos SDOH a las Historias clínicas electrónicas, existen modelos que incluyen 11 dominios sociales y conductuales para llevar a cabo esta recolección de información(12, 16). Además, estos SDOH pueden usarse para la construcción de indicadores en salud que permitan realizar un seguimiento a metas sobre la salud y la calidad de vida de una población en especial, facilitando la disminución de brechas sociales y disminuyendo las inequidades que tienen como resultado desenlaces desfavorables en salud, esta es una perspectiva a futuro, tanto para la práctica clínica como para futuras investigaciones con el fin de dar fuerza a la investigación sobre los SDOH y su inclusión en este tipo de modelos buscando que los entes gubernamentales puedan generar políticas públicas basadas en información científica de calidad y que estas acciones logren impactar positivamente la morbilidad y mortalidad de nuestras poblaciones (12, 24, 29, 49-51).



Como limitaciones en el desarrollo de esta revisión sistemática se resalta la heterogeneidad de los estudios incluidos en la misma respecto a población y SDOH, las diferentes áreas geográficas de las personas incluidas, la baja calidad metodológica de algunos de los estudios pronósticos descritos y analizados, la imposibilidad que se tiene de generalizar resultados por la pobre validez interna de algunos estudios, pero se resalta el proceso crítico llevado a cabo en la bibliografía encontrada y la aplicación de herramientas metodológicas para el análisis de cada uno de los documentos aquí incluidos (15, 16, 23).

## CONCLUSIÓN

Esta revisión sistemática permite concluir que los modelos predictivos que incluyen SDOH y herramientas digitales para recolección de información en salud, para predecir desenlaces en salud, mejoran sus valores predictivos y su precisión al incluir este tipo de variables, que los mejores resultados se obtienen con la inclusión de los SDOH individuales más los SDOH comunitarios. Los resultados de esta revisión respaldan la inclusión de los SDOH en los nuevos modelos de historia clínica electrónica que se están construyendo en Colombia como respuesta al proceso de implementación de la interoperabilidad de la historia clínica en el territorio nacional. Finalmente, se necesitan más estudios para mejorar la potencia y lograr disminuir la variabilidad de los estudios y poder medir el impacto de los SDOH en los resultados en salud.

## REFERENCIAS

1. Croft P, Altman DG, Deeks JJ, Dunn KM, Hay AD, Hemingway H, et al. The science of clinical practice: disease diagnosis or patient prognosis? Evidence about "what is likely to happen" should shape clinical practice. *BMC medicine*. 2015;13:20.
2. Ohno-Machado L. Using health information technology for clinical decision support and predictive analytics. *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA*. 2017;24(1):1.
3. Fletcher RH. Clinical medicine meets modern epidemiology--and both profit. *Annals of epidemiology*. 1992;2(3):325-33.
4. Breslow NE. Cohort Analysis in Epidemiology. In: Atkinson, AC, Fienberg, SE (eds) *A Celebration of Statistics* Springer, New York, NY 1985.
5. Tripepi G, Jager KJ, Dekker FW, Zoccali C. Testing for causality and prognosis: etiological and prognostic models. *Kidney international*. 2008;74(12):1512-5.
6. Hemingway H, Croft P, Perel P, Hayden JA, Abrams K, Timmis A, et al. Prognosis research strategy (PROGRESS) 1: a framework for researching clinical outcomes. *Bmj*. 2013;346:e5595.
7. Rothman KJ, Greenland S. Causation and causal inference in epidemiology. *American journal of public health*. 2005;95 Suppl 1:S144-50.
8. Sandra Isaza-Jaramillo FJ-B. Clinical and epidemiological round: Approach to clinical prediction models. *Iatreia*. 2016;2017 Ene-Mar;30(1):92-99.
9. Rothman KJ. The origin of Modern Epidemiology, the book. *European journal of epidemiology*. 2021;36(8):763-5.
10. Monge S, Diez M, Pulido F, Iribarren JA, Campins AA, Arazo P, et al. Tuberculosis in a cohort of HIV-positive patients: epidemiology, clinical practice and treatment outcomes. *The international journal of tuberculosis and lung disease : the official journal of the International Union against Tuberculosis and Lung Disease*. 2014;18(6):700-8.
11. Kent P, Cancelliere C, Boyle E, Cassidy JD, Kongsted A. A conceptual framework for prognostic research. *BMC medical research methodology*. 2020;20(1):172.
12. Moons KG, Altman DG, Vergouwe Y, Royston P. Prognosis and prognostic research: application and impact of prognostic models in clinical practice. *Bmj*. 2009;338:b606.
13. Gray JD, Harris CR, Wylezinski LS, Spurlock CF, 3rd. Predictive Modeling of COVID-19 Case Growth Highlights Evolving Demographic Risk Factors in Tennessee and Georgia. *medRxiv : the preprint server for health sciences*. 2021.



14. Marmot M, Friel S, Bell R, Houweling TA, Taylor S, Commission on Social Determinants of H. Closing the gap in a generation: health equity through action on the social determinants of health. *Lancet*. 2008;372(9650):1661-9. 15.
15. de Boer AG, Wijker W, de Haes HC. Predictors of health care utilization in the chronically ill: a review of the literature. *Health policy*. 1997;42(2):101-15.
16. Lipshutz JA, Hall JE, Penman-Aguilar A, Skillen E, Naom S, Irune I. Leveraging Social and Structural Determinants of Health at the Centers for Disease Control and Prevention: A Systems-Level Opportunity to Improve Public Health. *Journal of public health management and practice : JPHMP*. 2022;28(2):E380-E9.
17. +Crear-Perry J, Correa-de-Araujo R, Lewis Johnson T, McLemore MR, Neilson E, Wallace M. Social and Structural Determinants of Health Inequities in Maternal Health. *Journal of women's health*. 2021;30(2):230-5.
18. Hacker K, Houry D. Social Needs and Social Determinants: The Role of the Centers for Disease Control and Prevention and Public Health. *Public health reports*. 2022;137(6):1049-52.
19. Cantor MN, Thorpe L. Integrating Data On Social Determinants Of Health Into Electronic Health Records. *Health affairs*. 2018;37(4):585-90.
20. Chen M, Tan X, Padman R. Social determinants of health in electronic health records and their impact on analysis and risk prediction: A systematic review. *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA*. 2020;27(11):1764-73.
21. Spruce L. Back to Basics: Social Determinants of Health. *AORN journal*. 2019;110(1):60-9.
22. Jilani MH, Javed Z, Yahya T, Valero-Elizondo J, Khan SU, Kash B, et al. Social Determinants of Health and Cardiovascular Disease: Current State and Future Directions Towards Healthcare Equity. *Current atherosclerosis reports*. 2021;23(9):55.
23. Tso P, Culyer AJ, Brouwers M, Dobrow MJ. Developing a decision aid to guide public sector health policy decisions: a study protocol. *Implementation science : IS*. 2011;6:46.
24. Penman-Aguilar A, Talih M, Huang D, Moonesinghe R, Bouye K, Beckles G. Measurement of Health Disparities, Health Inequities, and Social Determinants of Health to Support the Advancement of Health Equity. *Journal of public health management and practice : JPHMP*. 2016;22 Suppl 1(Suppl 1):S33-42.
25. Penman-Aguilar A, Talih M, Moonesinghe R, Huang D. Response to Scanlan Concerning: Measurement of Health Disparities, Health Inequities, and Social Determinants of Health to Support the Advancement of Health Equity. *Journal of public health management and practice : JPHMP*. 2016;22(6):614-5.
26. Nanda P. Information Processing and Data Analytics for Decision Making: A Journey From Traditional to Modern Approaches. *Information Resources Management Journal*. 2022;Volume 35 (Issue 2).
27. Saiso SG, Marti MC, Medina FM, Pascha VM, Nelson J, Tejerina L, et al. Digital Transformation for More Equitable and Sustainable Public Health in the Age of Digital Interdependence. *American journal of public health*. 2022;112(S6):S621-S4.
28. Garcia Saiso S, Marti MC, Mejia Medina F, Pascha VM, Nelson J, Tejerina L, et al. [Digital transformation for more equitable and sustainable public health in the age of digital interdependence Transformacao digital para uma saude publica mais equitativa e sustentavel na era da interdependencia digital]. *Revista panamericana de salud publica = Pan American journal of public health*. 2022;46:e1.
29. Hatef E, Weiner JP, Kharrazi H. A public health perspective on using electronic health records to address social determinants of health: The potential for a national system of local community health records in the United States. *International journal of medical informatics*. 2019;124:86-9.
30. (WHO) WHO. Declaração política do Rio sobre determinantes sociais da saúde. [http://www.who.int/sdhconference/declaration/.Rio\\_political\\_declaration\\_portuguese.pdf](http://www.who.int/sdhconference/declaration/.Rio_political_declaration_portuguese.pdf) (accessed on 23/Jan/2016). 2016.



31. Belouali A, Bai H, Raja K, Liu S, Ding X, Kharrazi H. Impact of social determinants of health on improving the LACE index for 30-day unplanned readmission prediction. *JAMIA open*. 2022;5(2):ooac046.
32. Crump CA, Wernz C, Schlachta-Fairchild L, Steidle E, Duncan A, Cathers L. Closing the Digital Health Evidence Gap: Development of a Predictive Score to Maximize Patient Outcomes. *Telemedicine journal and e-health : the official journal of the American Telemedicine Association*. 2021;27(9):1029-38.
33. E. DJLADÁ. Digital Transformation of the Healthcare System for the incorporation of Personalized Precision Medicine. 2022.
34. Kasthurirathne SN, Vest JR, Menachemi N, Halverson PK, Grannis SJ. Assessing the capacity of social determinants of health data to augment predictive models identifying patients in need of wraparound social services. *Journal of the American Medical Informatics Association : JAMIA*. 2018;25(1):47-53.
35. PAHO. Pan American Health Organization. Information systems for health: definition of guiding principles (is4h). descriptive note 01. 2018.
36. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, Group P. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS medicine*. 2009;6(7):e1000097.
37. Wolff RF, Moons KGM, Riley RD, Whiting PF, Westwood M, Collins GS, et al. PROBAST: A Tool to Assess the Risk of Bias and Applicability of Prediction Model Studies. *Annals of internal medicine*. 2019;170(1):51-8.
38. Moons KGM, Wolff RF, Riley RD, Whiting PF, Westwood M, Collins GS, et al. PROBAST: A Tool to Assess Risk of Bias and Applicability of Prediction Model Studies: Explanation and Elaboration. *Annals of internal medicine*. 2019;170(1):W1-W33.
39. Zhang Y, Zhang Y, Sholle E, Abedian S, Sharko M, Turchioe MR, et al. Assessing the impact of social determinants of health on predictive models for potentially avoidable 30-day readmission or death. *PloS one*. 2020;15(6):e0235064.
40. Donze J, Aujesky D, Williams D, Schnipper JL. Potentially avoidable 30-day hospital readmissions in medical patients: derivation and validation of a prediction model. *JAMA internal medicine*. 2013;173(8):632-8.
41. van Walraven C, Dhalla IA, Bell C, Etchells E, Stiell IG, Zarnke K, et al. Derivation and validation of an index to predict early death or unplanned readmission after discharge from hospital to the community. *CMAJ : Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne*. 2010;182(6):551-7.
42. Hall AG, Davlyatov GK, Orewa GN, Mehta TS, Feldman SS. Multiple Electronic Health Record-Based Measures of Social Determinants of Health to Predict Return to the Emergency Department Following Discharge. *Population health management*. 2022.
43. Bolster-Foucault C, Ho Mi Fane B, Blair A. Structural determinants of stigma across health and social conditions: a rapid review and conceptual framework to guide future research and intervention. *Health promotion and chronic disease prevention in Canada : research, policy and practice*. 2021;41(3):85-115.
44. Powell-Wiley TM, Baumer Y, Baah FO, Baez AS, Farmer N, Mahlobo CT, et al. Social Determinants of Cardiovascular Disease. *Circulation research*. 2022;130(5):782-99.
45. Garg A, Homer CJ, Dworkin PH. Addressing Social Determinants of Health: Challenges and Opportunities in a Value-Based Model. *Pediatrics*. 2019;143(4).
46. Kuijpers T, van der Windt D, Boeke JPA, Twisk JWR, Vergouwe Y, Bouter LM, et al. Clinical prediction rules for the prognosis of shoulder pain in general practice. *Pain*. 2006;120(3):276-85.
47. Mannoh I, Hussien M, Commodore-Mensah Y, Michos ED. Impact of social determinants of health on cardiovascular disease prevention. *Current opinion in cardiology*. 2021;36(5):572-9.
48. Stanhope V, Videka L, Thorning H, McKay M. Moving toward integrated health: an opportunity for social work. *Social work in health care*. 2015;54(5):383-407.
49. Loeb DF, Binswanger IA, Candrian C, Bayliss EA. Primary care physician insights into a typology of



50. Murray TA. Teaching the Social and Structural Determinants of Health: Considerations for Faculty. *The Journal of nursing education*. 2021;60(2):63-4.
51. Cogburn CD. Culture, Race, and Health: Implications for Racial Inequities and Population Health. *The Milbank quarterly*. 2019;97(3):736-61.



# Análisis comparativo del ausentismo laboral por causa médica y su relación con los riesgos en el entorno laboral.

## Comparative analysis of workforce absenteeism due to medical reasons and its relation with risks in the work environment.

Recibido: 20/07/2025 - Aceptado: 19/12/2025 - Publicado: 19/02/2026

### Autores

#### **Adriana María Bustamante Cataño \***

Psicóloga, Trabajadora Social. Especialista en Psicología Organizacional. Magister en Gestión Humana.

Profesional de Diseño y Producción Curricular SENA – Antioquia. Integrante Grupo de Investigación Comportamiento Humano Organizacional COMPHOR Universidad de Antioquia.

Centro de Servicios de Salud- SENA.

Medellín - Colombia.

adriana.bustamante@udea.edu.co

#### **Marlinson Mendoza Martínez**

Ingeniero Industrial. Especialista en Gestión del Mantenimiento Industrial.

Trabajador Oficial SENA - Antioquia.

Centro de Servicios de Salud- SENA.

Medellín - Colombia.

mmendozam@sena.edu.co

\*Autor de correspondencia



## RESUMEN

**Introducción:** El ausentismo laboral por causa médica es uno de los indicadores más importantes en las organizaciones en tanto incide en múltiples dimensiones e impacta de manera directa la productividad, pero a su vez da cuenta de las condiciones de la salud de la población trabajadora.

**Objetivo:** Realizar un análisis del ausentismo laboral por causa médica identificando la relación de este con los riesgos en el entorno laboral en una empresa del sector educación del departamento de Antioquia a través de la revisión del histórico de incapacidades en el periodo 2020-2024.

**Métodos:** Se realizó un estudio descriptivo comparativo mediante la revisión de 1.794 incapacidades correspondientes a 1.131 trabajadores. Comparando diagnósticos según la Clasificación Internacional de Enfermedades CIE 11, y su relación con riesgos laborales.

**Resultados:** Se evidenció relación entre el ausentismo laboral por causa médica y los riesgos laborales, en tanto el 73% de las incapacidades del cuatrienio (10.205 días de ausentismo) pueden estar asociadas a riesgos en el entorno laboral, dichos resultados requieren ser contrastados con otros estudios y mediciones al interior de la organización considerando la “etiología multifactorial” del ausentismo laboral.

**Conclusión:** Los estudios descriptivos comparativos generan un aporte importante en materia de revisión de históricos, que permiten generar acciones basadas en datos, lo cual permite a las organizaciones la identificación de los motivos del ausentismo laboral por causa médica y la implementación de estrategias específicas para su disminución.

**Palabras clave:** ausentismo laboral por causa médica, riesgos laborales, clasificación internacional de enfermedades.

## ABSTRACT

**Introduction:** Medically absenteeism is one of the most important indicators in organizations, as it affects multiple dimensions and directly impacts productivity, while also reflecting the health conditions of the workforce.

**Objective:** To analyze medically absenteeism and identify its relationship with workplace risks in an education sector company in the department of Antioquia, Colombia, by reviewing the historical records of work-related disabilities from 2020 to 2024.

**Methods:** A comparative descriptive study was conducted by reviewing 1,794 disability claims corresponding to 1,131 employees. Diagnoses were compared according to the International Classification of Diseases (ICD-11) and their relationship to occupational risks.

**Results:** A relationship was found between medical absenteeism and occupational hazards, as 73% of the four-year absences (10,205 days) may be associated with workplace hazards. These results need to be compared with other studies and internal organizational measurements, considering the multifactorial etiology of absenteeism.

**Conclusion:** Comparative descriptive studies make an important contribution to the review of historical data, enabling data-driven actions that allow organizations to identify the reasons for medical absenteeism and implement specific strategies to reduce it.

**Keywords:** Medical absenteeism, occupational hazards, international classification of diseases.



## INTRODUCCIÓN

El presente artículo aborda el ausentismo laboral por causa médica y su relación con los riesgos laborales. Este tipo de ausentismo es uno de los indicadores más relevantes en cualquier organización en tanto tiene incidencia en múltiples dimensiones. Su característica principal es que este impacta de manera directa los procesos organizacionales, pero a su vez dicho indicador puede dar cuenta de las condiciones de la salud de la población trabajadora.

Es así que se realizó un acercamiento a una organización lo que permitió acceder a sus históricos de incapacidades y diagnósticos de los trabajadores identificando enfermedades predominantes y comportamiento de las mismas en un periodo de tiempo determinado.

Los objetivos de la investigación se centraron en realizar un análisis comparativo del ausentismo en el último cuatrienio en una empresa del sector educación del departamento de Antioquia, buscando identificar número de incapacidades por año y diagnóstico generado de acuerdo con históricos de la organización. Comparar incapacidades y diagnósticos generados en los años 2020 a 2024 y su relación con riesgos asociados al entorno laboral.

Para su análisis se abordaron diferentes referentes teóricos, en los cuales se relaciona el ausentismo laboral por causa médica a múltiples factores, no obstante, algunos teóricos también hacen énfasis en los riesgos laborales como variables que inciden en el ausentismo laboral.

Este estudio fue cuantitativo de tipo descriptivo comparativo utilizando como técnicas e instrumentos para la recolección de la información la elaboración de bases de datos en hojas de cálculo, por su parte el análisis se realizó mediante cuadros comparativos y tablas dinámicas. Resulta relevante destacar que fueron revisadas un total de mil setecientas noventa y cuatro incapacidades. En cada una de ellas se identificó el código asignado y se consultó en la Clasificación Internacional de Enfermedades CIE 11 (1), dichos diagnósticos

posteriormente fueron asociados o no a posibles riesgos laborales según sus características (2). En este artículo se da cuenta del proceso metodológico. Se indica el sustento teórico y se describen las variables de comparación, se señalan las consideraciones éticas, y finalmente se presentan resultados, discusión y conclusiones.

## METODOLOGÍA

### Enfoque:

La investigación se formuló bajo el enfoque cuantitativo el cual “utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (3) en este caso la recolección de los datos se centró en 1.794 incapacidades, su descripción, análisis y comparación teniendo como hipótesis su posible relación con los riesgos en el entorno laboral.

### Diseño:

El diseño de investigación fue descriptivo comparativo, el cual permitió “establecer relaciones entre los datos obtenidos, con el fin de clasificarlos en categorías” (4) en esta medida las 1.794 incapacidades fueron revisadas a la luz de la codificación del CIE 11 (1) la cual brindó la denominación y descripción de cada diagnóstico, así mismo la revisión en un cuatrienio permitió la posibilidad de comparar datos generales y por año estableciendo relaciones y comportamiento de las incapacidades.

### Población:

Se analizaron los datos de incapacidades correspondientes a 1.131 trabajadores de una empresa del sector educación del departamento de Antioquia, la cual forma en educación para el trabajo y desarrollo humano desde las diferentes áreas ocupacionales con un enfoque importante en el aprendizaje basado en la praxis. Para ello se revisaron los históricos de ausentismo laboral que reposaban en los archivos del área de seguridad y



salud en el trabajo. Se definió como muestra la revisión de las incapacidades laborales durante el periodo 2020 a 2024 y se excluyeron documentos anteriores o posteriores a las fechas de revisión considerando que el corte fue por 4 años.

### **Sustento teórico y variables de medición:**

Según Borda, Rolón, Díaz y González (5) el ausentismo laboral es el producto negativo entre el tiempo para el cual un trabajador fue contratado y el tiempo que realmente desarrolló su tarea, en él no se incluyen las ausencias por vacaciones, licencias de maternidad o paternidad o las licencias por comisión de estudio. En este sentido el ausentismo analizado de manera general puede darse por diversas situaciones.

Existen diferentes enfoques y modelos teóricos para abordar el ausentismo laboral, este puede ser analizado desde el enfoque psicológico, sociológico, pedagógico (6) también organizacional (7). No obstante, resulta relevante “en el análisis del ausentismo, considerar la existencia de una etiología multifactorial” (2). Siendo el trabajo uno de los factores que pueden incidir en los procesos de salud enfermedad de las personas debido a los riesgos que se pueden presentar en su desempeño. Para una mayor comprensión del problema resultó de interés revisar los tres modelos para la interpretación del ausentismo, los cuales se centran en la evitación laboral o huida del trabajo, el ajuste laboral o adaptación e inadaptación y la decisión (6). Los tres anteriores dan cuenta de factores que tienen directa relación con conductas de los trabajadores asociadas a estímulos que pueden ser organizacionales. En este sentido Guzmán (2) citando a Samaniego indica que “uno de los modelos teóricos para interpretar el ausentismo laboral más sobresalientes de la bibliografía, agrupó en ocho categorías las variables que lo originan siendo estas: actitudes de trabajo, factores económicos y de mercado, factores organizacionales, factores del medio laboral, satisfacción laboral, factores personales, factores externos al trabajo, cambio organizacional” (p.41) este autor afirma la importancia de analizar las variables en contexto y no de forma aislada en tanto

las mismas pueden combinarse reiterando que el ausentismo es un fenómeno multicausal y multifactorial.

Teniendo una mirada general desde el ausentismo laboral para esta investigación fue de interés el ausentismo por causa médica, el mismo se asocia a factores biológicos, culturales y de comportamiento (8). De acuerdo con Cárdenas, Hernández, Sánchez y Velasco (6) “el modelo médico plantea la existencia de diferentes factores que contribuyen a un patrón de ausentismo laboral, siendo estos: demográficos, satisfacción con el empleo, características organizacionales, contenidos del empleo y otros como compromiso, distancia al trabajo. Todos estos factores juegan un papel importante en el ausentismo por enfermedad médica ya que cada uno de ellos afecta directa o indirectamente a cada persona” (p.33). En este sentido bajo el modelo médico del ausentismo laboral se analizaron las incapacidades médicas que se generaron en la entidad en el último cuatrienio 2020-2024 y su posible relación con los riesgos en el entorno laboral.

Como parte de las variables de medición analizadas se contemplaron:

### **Ausentismo laboral por causa médica:**

Por su parte el ausentismo por causa médica, de acuerdo con el Ministerio del Trabajo (9) se entiende como la no asistencia al trabajo con incapacidad médica; de acuerdo con Saldarriaga, J. y Martínez, E. (8) este tipo de ausentismo laboral por causa médica tiene implicaciones desfavorables para todos: el trabajador, porque es quien sufre directamente la enfermedad, la empresa, porque pierde productividad y la sociedad porque retrasa su crecimiento económico y social. Por todo ello, resulta útil estudiar este problema con rigor epidemiológico para avanzar en su prevención y adecuado control. Los mismos autores agregan que el principal tipo de ausentismo es el atribuido a incapacidad médica por causas relacionadas con la salud; bien sea por enfermedad o accidente, este ocupa las tres cuartas partes del ausentismo total en la industria.



## Riesgos laborales:

De acuerdo con el Decreto 1072 de 2015 (10) se define como riesgo la combinación de la probabilidad de que ocurra una o más exposiciones a eventos peligrosos y la severidad del daño que puede ser causado por estos. Por su parte UNIR (11). Indica que los riesgos laborales, en general, son los peligros o amenazas presentes en el entorno de trabajo que pueden causar daños a la salud física, mental o emocional de los trabajadores. Estos riesgos pueden surgir de diversas fuentes y actividades laborales. Este autor agrega que algunos tipos comunes de riesgos laborales incluyen: Riesgos físicos: riesgos del entorno laboral que afectan la salud. Riesgos químicos: derivados de sustancias peligrosas en el ambiente laboral. Riesgos biológicos: exposición a microorganismos que pueden causar enfermedades. Riesgos ergonómicos: relacionados con la interacción trabajador-entorno. Riesgos psicosociales: relacionados con aspectos psicológicos y sociales del trabajo. Riesgos de seguridad: riesgos de accidentes laborales. Riesgos de incendio y explosión: asociados con sustancias inflamables o explosivas. Asimismo se indica que además de tipos de riesgos laborales, existe una clasificación asociada con los diferentes sectores económicos y sus actividades laborales siendo esta: riesgo mínimo (clase I). Incluye actividades comerciales, financieras, oficinas, educativas, belleza, arte y teatro. Riesgo bajo (clase II). Comprende empresas manufactureras, textiles y agrícolas. Riesgo medio (clase III). Empresas de alimentos, automóviles, agujas, alcoholes y plásticos. Riesgo alto (clase IV). Compañías de cerveza, vidrio, aceite, papel, caña de azúcar y transporte aéreo o terrestre. Riesgo máximo (clase V). Incluye construcción, explotación petrolera, minería, manejo de explosivos, etc.

Las variables ausentismo laboral por causa médica y riesgos laborales poseen una relevancia importante en los entornos organizacionales, de allí la necesidad de identificar la frecuencia del ausentismo, describir los diagnósticos asociados, compararlos año a año y analizar su relación con los riesgos en el entorno laboral.

## Análisis de la información:

Se realizó la organización sistemática de la información entregada por la entidad, se generó la descripción de los códigos de las incapacidades de acuerdo con la Clasificación Internacional de Enfermedades CIE 11 (1), posterior a ello se procedió con el análisis de las 1.794 incapacidades en un rango de 4 años, correspondientes a 1.131 trabajadores con el fin de identificar la relación con riesgos laborales; esto se llevó a cabo con la ayuda de hojas de cálculo en las cuales se realizó revisión de incapacidades siendo clasificadas por año, por número de días de incapacidad, por código, descripción, tipo de incapacidad y tipo de riesgo asociado. Lo anterior permitió generar filtros, identificar variaciones, predominancias, comportamiento de la enfermedad, comparaciones de promedios y porcentajes, obteniendo datos numéricos confiables y relevantes para la entidad.

## Consideraciones Éticas:

De acuerdo con la Resolución 08430 de 1993 del Ministerio de Salud (12) en su artículo 11 esta investigación se clasificó en la categoría de investigación sin riesgo. Para el caso se revisaron documentos e informes históricos de la entidad para analizar el objeto de estudio. Con relación a los principios éticos, para esta investigación se conservó la confidencialidad de la información con relación a los nombres de las personas registradas en las incapacidades que se revisaron, así mismo su diagnóstico. De acuerdo con autorización de uso de la información para fines académicos, solo se realizó revisión de la información conservando el anonimato y la reserva en los datos que se recopilaron.

## RESULTADOS

En el marco del proceso investigativo se logró recopilar 1.794 incapacidades equivalentes a 16.571 días de ausentismo correspondientes al cuatrienio, así mismo pudo identificarse 17 grupos de enfermedades según el CIE 11 (1). Por lo cual, en la relación entre ausentismo por causa médica y riesgos laborales, pudo evidenciarse como hipótesis una posible relación entre 8 grupos de enfermedades con 5 tipos de riesgos.



Tabla 1. Información general hallazgos.

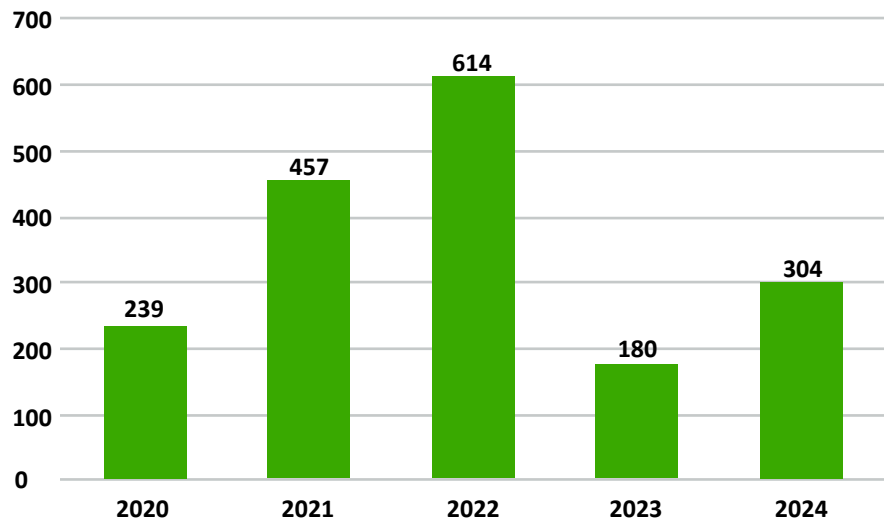
| Número de trabajadores. | Número total de incapacidades | Total días de ausentismo laboral | Tipos de enfermedades según CIE 11 | Riesgos laborales con posible relación |
|-------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|
| 1.131                   | 1.794                         | 16.571                           | 17                                 | 5                                      |

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de los datos recopilados se identificó que el año con mayor número de incapacidades por causa médica (de ahora en adelante IM) fue el 2022 con 614 (equivalentes al 34,2% del total de IM) y 5.177 días de ausentismo laboral (31,24% del total de IM). Siendo las enfermedades del sistema musculoesquelético CIE 11 (1) o trastornos musculoesqueléticos (de ahora en adelante TME), predominantes para dicho año con 153 incapacidades (24,92% del total del año). Los TME marcaron una tendencia importante durante todo el estudio que será visible en los resultados por anualidad y en el cuatrienio. De otra parte, el año con menor número de incapacidades fue el 2023 con 180 (10% del total) y 1.578 días de ausentismo

laboral (9,5% del total). Dentro de la información relevante se hace visible un aumento significativo de las IM año a año entre 2020 y 2022, y una disminución en el año 2023 con aumento nuevamente en 2024 como puede visualizarse en la figura 1. De acuerdo con la jornada laboral de la entidad objeto de estudio (8,5 horas al día), el tiempo no laborado o de ausentismo por IM equivale en el cuatrienio a 140.853 horas representado en 16.571 días. Dicha información da cuenta del impacto para la organización en términos afectación en el servicio y productividad, pero a la vez refleja un elemento fundamental y es las condiciones de salud de la población trabajadora.

Figura 1. Comportamiento incapacidad laboral por año.



Fuente: Elaboración propia.



Los TME presentaron la cifra más relevante de IM durante el cuatrienio (ver tabla 2), por su parte durante el año 2021 se identificó un comportamiento diferencial considerando que aparecen las enfermedades del sistema inmunitario con 193 IM. Resulta significativo destacar que para este periodo se encontraba latente la pandemia por COVID 19 (13), presentándose 788 días de incapacidad en 2021 asociadas a dicho diagnóstico, no obstante, este año las IM por TME fueron 79 con 902 días de ausentismo. Es decir que aún en la pandemia los TME superaron en números el ausentismo laboral por IM.

Dentro de la investigación se identificaron 17 grupos de enfermedades según el CIE 11 (1) siendo las tres predominantes en número de días de ausentismo, las enfermedades del sistema musculoesquelético (6.045 días de ausentismo) seguido de embarazo,

parto o puerperio (2.019 días de ausentismo) y enfermedades del sistema genitourinario (1.804 días de ausentismo) es decir que no todos los grupos de enfermedades por los cuales se genera el ausentismo laboral corresponderían a riesgos laborales en tanto los riesgos se asocian al sector económico, tipo de empresa y la labor que desempeña el trabajador, y es allí donde se reitera la causa multifactorial a la cual acuden varios de los referentes teóricos ya enunciados en líneas anteriores. Así mismo resulta relevante destacar que el número de IM no corresponde de manera directa al número de días de ausentismo laboral, en tanto para el caso de maternidad solo se reflejan 38 IM pero los días de ausentismo corresponden a más de dos mil para el cuatrienio, reconociendo que este caso específico no corresponde a un riesgo laboral. Es posible observar los hallazgos con mayor detalle en la tabla 2.

**Tabla 2.** Días de ausentismo por grupos de enfermedades.

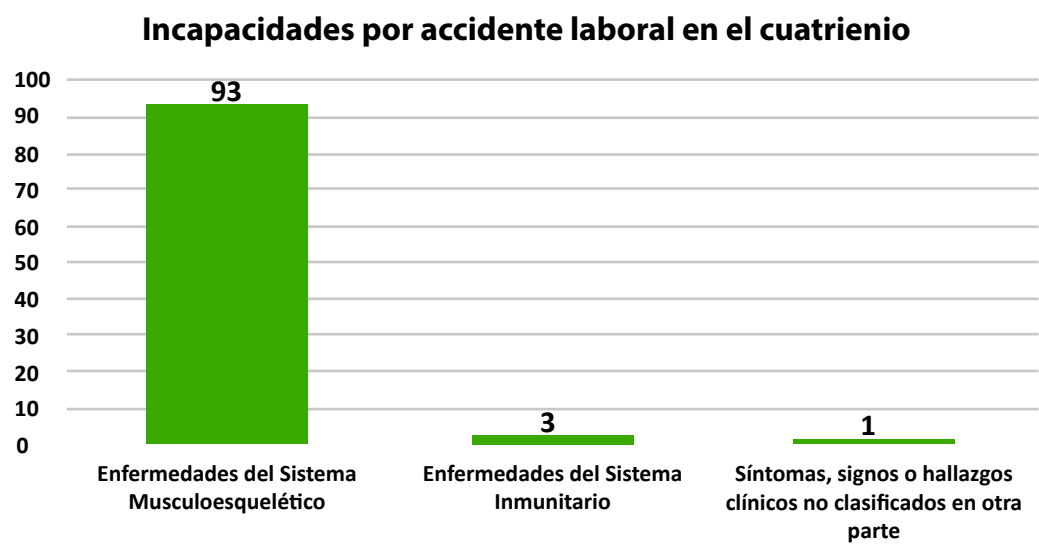
| Grupos de enfermedades identificadas en las 1794 incapacidades según el CIE 11 |                                                                                                                        | Incapacidades Médicas IM | Días de ausentismo |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------|
| 1                                                                              | Trastornos mentales y del comportamiento debidos al uso de múltiples drogas y al uso de otras sustancias psicoactivas. | 1                        | 1                  |
| 2                                                                              | Cirugía.                                                                                                               | 5                        | 51                 |
| 3                                                                              | Enfermedades endocrinas, nutricionales o metabólicas.                                                                  | 7                        | 41                 |
| 4                                                                              | Trastorno por consumo de alcohol (TCA).                                                                                | 14                       | 91                 |
| 5                                                                              | Enfermedades del sistema circulatorio.                                                                                 | 21                       | 256                |
| 6                                                                              | Enfermedades del oído o de la apófisis mastoides.                                                                      | 22                       | 44                 |
| 7                                                                              | Síntomas, signos o hallazgos clínicos no clasificados en otra parte.                                                   | 26                       | 141                |
| 8                                                                              | Embarazo, parto o puerperio.                                                                                           | 38                       | 2019               |
| 9                                                                              | Trastornos mentales, del comportamiento y del neurodesarrollo.                                                         | 43                       | 376                |
| 10                                                                             | Enfermedades del sistema visual.                                                                                       | 52                       | 516                |
| 11                                                                             | Enfermedades de la piel.                                                                                               | 52                       | 292                |
| 12                                                                             | Enfermedades del sistema nervioso.                                                                                     | 132                      | 1262               |
| 13                                                                             | Enfermedades del sistema genitourinario.                                                                               | 144                      | 1804               |
| 14                                                                             | Enfermedades del sistema respiratorio.                                                                                 | 230                      | 729                |
| 15                                                                             | Enfermedades del sistema digestivo.                                                                                    | 246                      | 1721               |
| 16                                                                             | Enfermedades del sistema inmunitario.                                                                                  | 283                      | 1182               |
| 17                                                                             | Enfermedades del sistema musculo esquelético o del tejido conjuntivo - TME.                                            | 478                      | 6045               |
| TOTAL                                                                          |                                                                                                                        | 1794                     | 16571              |



Teniendo los datos del número de incapacidades por año, los grupos de enfermedades y el comparativo entre IM y ausentismo, resulta relevante presentar algunos hallazgos frente a su relación con riesgos asociados al entorno laboral. En este sentido de las 1.794 IM 97 corresponden a accidentes laborales lo que es equivalente al 5,4% del total en los cuatro años, generando 1.567 días de ausentismo laboral

(9,4% del total). Cabe resaltar que los accidentes laborales son la materialización de los riesgos laborales, por lo cual en este punto específico es posible evidenciar de manera precisa las IM que tienen directa relación con los riesgos laborales. Se destaca que predominan los accidentes laborales asociados a TME los cuales corresponden al 95,8% de las IM por accidente laboral (ver figura 2).

Figura 1. Comportamiento incapacidad laboral por año.



Fuente: Elaboración propia.

Dentro de los accidentes de trabajo y teniendo como base los códigos de la clasificación internacional de enfermedades CIE 11 (1) y su descripción detallada, se identificaron datos con mayor frecuencia siendo estos: fracturas, traumatismos, contusiones, golpes por uso de herramientas, esguinces, desgarros. Así mismo dentro de las zonas del cuerpo afectadas, se evidenció: cabeza, lumbar, hombro, brazo, mano, tórax, cadera, fémur, rodillas, pies, lo que da cuenta de accidentes laborales que afectan tanto miembros superiores como inferiores del cuerpo evidenciándose mayor frecuencia en las rodillas con un porcentaje de 23,9% y el de menor frecuencia en la zona lumbar con 1,10% de los accidentes

laborales. Así mismo los riesgos laborales predominantes para este caso fueron el ergonómico, físico y mecánico.

El detalle del número de incapacidades por accidente laboral y su posible relación con riesgos laborales puede visualizarse en la tabla 3.

En la tabla 3 se realiza una posible relación entre 4 tipos de riesgo laboral y 2 grupos de enfermedades.



**Tabla 3.** Asociación de riesgos e incapacidades por accidentes laboral durante el cuatrienio.

| Riesgo asociado           | Clasificación de enfermedades                | Totales IM | Total días de ausentismo | Porcentaje por IM | Porcentaje por días de ausentismo |
|---------------------------|----------------------------------------------|------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| <b>Riesgo Físico</b>      | Enfermedades del sistema musculoesquelético. | 32         | 752                      | 32,90%            | 47,10%                            |
| <b>Riesgo Ergonómico</b>  | Enfermedades del sistema musculoesquelético. | 58         | 715                      | 59,70%            | 45,60%                            |
| <b>Riesgo Mecánico</b>    | Enfermedades del sistema musculoesquelético. | 3          | 76                       | 3,01%             | 5%                                |
| <b>Riesgos biológicos</b> | Enfermedades del sistema inmunitario.        | 3          | 14                       | 3,09%             | 1,30%                             |
| <b>No identificado</b>    | Diagnóstico no identificado                  | 1          | 10                       | 1,30%             | 1%                                |
| TOTAL                     |                                              | 97         | 1567                     | 100,00%           | 100,00%                           |

**Fuente:** Elaboración propia.

De otra parte, las IM de origen común presentan la constante hacia los TME, relacionados con posibles riesgos físicos y ergonómicos, a su vez aparecen algunos grupos de enfermedades que podrían asociarse con riesgo psicosocial como trastorno de ansiedad, depresión, reacción al estrés agudo, fobias sociales, entre otros. Lo anterior requiere de una revisión detallada de cada caso en tanto el detonante de la enfermedad mental o su permanencia puede

estar asociado con factores de riesgo intralaborales (14) como demandas de trabajo, control, liderazgo y relaciones sociales en el trabajo, demandas de carga mental, demandas emocionales, exigencias y responsabilidades, demandas de la jornada de trabajo, entre otros aspectos.

En la tabla 4 se realiza una posible relación entre 4 tipos de riesgo y 8 grupos de enfermedades.

**Tabla 4.** Asociación de riesgos e incapacidades médicas generales.

| Posible riesgo asociado   | Clasificación de enfermedades                                  | Totales incapacidades | Total días de incapacidades | Días de ausentismo | Porcentaje por incapacidad | Porcentaje por días de ausentismo |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| <b>Riesgo Físico</b>      | Enfermedades del sistema musculoesquelético.                   | 18                    | 426                         | 469                | 4%                         | 5%                                |
|                           | Enfermedades del oído o de la apófisis mastoideas.             | 23                    | 43                          |                    |                            |                                   |
| <b>Riesgo Ergonómico</b>  | Enfermedades del sistema musculoesquelético.                   | 369                   | 4028                        | 4028               | 30%                        | 47%                               |
| <b>Riesgo Psicosocial</b> | Trastornos mentales, del comportamiento y del neurodesarrollo. | 43                    | 376                         | 634                | 5%                         | 7%                                |
|                           | Enfermedades del sistema circulatorio y cardiovasculares.      | 21                    | 256                         |                    |                            |                                   |
|                           | Enfermedades del sistema nervioso.                             | 1                     | 2                           |                    |                            |                                   |
| <b>Riesgos Biológicos</b> | Enfermedades del sistema inmunitario.                          | 304                   | 1061                        | 3507               | 61%                        | 41%                               |
|                           | Enfermedades del sistema digestivo.                            | 206                   | 1717                        |                    |                            |                                   |
|                           | Enfermedades del sistema respiratorio.                         | 229                   | 729                         |                    |                            |                                   |
| TOTAL                     |                                                                | 1214                  | 8638                        | 8638               | 100%                       | 100%                              |

**Fuente:** Elaboración propia.



También dentro de lo psicosocial resulta importante revisar las enfermedades cardiovasculares en tanto “las elevadas exigencias en el trabajo generadoras de estrés incrementan significativamente el riesgo de muerte por enfermedad cardiovascular” (15). Otro hallazgo tiene que ver con los riesgos biológicos los cuales son aplicables a la organización objeto de esta investigación en tanto forma para el trabajo y el desarrollo humano haciendo inmersión directa en campo en instituciones de salud, en las cuales existe exposición directa a virus y bacterias.

Recopilando los hallazgos anteriores es posible deducir que no todas las incapacidades corresponden a riesgos laborales, por ello en este estudio se realizó un acercamiento que asocia algunos grupos de enfermedades con posibles riesgos generando una aproximación a diagnósticos que la entidad puede revisar de manera particular para comprobar su asociación directa y posible intervención.

**Tabla 5.** Hallazgos generales posible relación entre ausentismo laboral por causa médica y riesgos laborales.

| Datos                                                           | Número de incapacidades | Número días de incapacidad | Porcentaje | Total incapacidades que podrían estar asociadas a riesgos | Número de días de incapacidad que podrían estar asociadas a riesgos |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------|------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Incapacidades asociadas a accidentes laborales.                 | 97                      | 1567                       | 73%        | 1311                                                      | 10205                                                               |
| Incapacidades posiblemente asociadas a otros riesgos laborales. | 1214                    | 8638                       |            |                                                           |                                                                     |
| Incapacidades no asociadas a riesgos laborales.                 | 483                     | 6369                       | 27%        |                                                           |                                                                     |
| TOTAL                                                           | 1794                    | 16574                      | 100%       |                                                           |                                                                     |

Fuente: Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

En el proceso de revisión de incapacidades, descripción y clasificación para la identificación de grupos de enfermedades fue indispensable acudir al CIE 11 (1) el cual desde su plataforma electrónica “actualmente proporciona acceso a 17.000 categorías de diagnóstico, con más de 100.000 términos para el diagnóstico médico y el algoritmo de búsqueda por índices interpreta más de 1.6 millones de términos” (16) De los 17 grupos de enfermedades identificadas en la entidad, fue posible constatar que existe una diferencia importante entre las enfermedades que pueden ser de origen común “que no guardan relación con el desarrollo del trabajo o el medio en el cual los trabajadores ejercen sus funciones” (17) y las que

tienen características que se acercarían más a riesgos laborales, siendo solo 8 grupos de enfermedades clasificadas para revisión en este proceso y 5 tipos de riesgos.

La principal causa de incapacidad evidenciada en los hallazgos se centró en las enfermedades del sistema musculo esquelético TME, según la Organización Mundial de la Salud OMS (18) un análisis reciente de los datos relativos a la carga mundial de morbilidad, aproximadamente 1.710 millones de personas en todo el mundo tienen trastornos musculoesqueléticos. Aunque la prevalencia de trastornos musculoesqueléticos varía según la edad y el diagnóstico, estos afectan a personas de todas las edades en todo el mundo. Para el caso de la entidad en la cual se realizó la investigación el 47% de la



población (528 trabajadores) están en edades entre los 51 y 69 años de edad. Lo que tiene un impacto mayor en los TME que podrían estar asociados a riesgos laborales o a condiciones propias de salud y de la misma edad del trabajador.

De acuerdo con García y Sánchez (19) existió una prevalencia de los TME durante la pandemia por el COVID 19 principalmente por la postura prolongada y las largas jornadas laborales, adicionando el mobiliario inadecuado y la repetitividad de los movimientos de la mano-muñeca, como causantes del desarrollo de los TME. Esto nos indica una fuerte relación con los factores inherentes a la actividad y al entorno laboral. El hecho de trabajar en casa también nos hace pensar que de una u otra forma tienen mayor estrés y carga laboral. (p13) Para el caso de la entidad objeto de estudio los TME generaron durante la pandemia por COVID 19 entre el año 2020 y 2022 (20) un total de 323 IM y 4246 días de incapacidad, lo que refleja una proporción muy significativa en materia de enfermedades del sistema musculoesquelético.

Con relación a los accidentes de trabajo durante el cuatrienio fue visible la relación entre los riesgos laborales y las IM considerando que “es accidente de trabajo todo suceso repentino que sobrevenga por causa o con ocasión del trabajo, y que produzca en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional o psiquiátrica, una invalidez o la muerte” (21) evidenciándose el riesgo materializado en un 5% (97 IM). De los hallazgos, este sería el más objetivo en el marco de la relación ausentismo por causa médica debido a riesgo laboral.

Por su parte los hallazgos frente a las IM de origen común específicamente en los 8 grupos de enfermedades y 5 riesgos laborales (ver tabla 3 y 4) hay hallazgos como es el caso de los riesgos psicosociales que pueden cruzarse con otros estudios como la medición de riesgo psicosocial, lo cual permitiría identificar personas con puntuación en niveles de alto riesgo y cruzarse con las IM asociadas a dicha condición, permitiendo mayor precisión para la intervención. Los demás riesgos pueden contrastarse con exámenes médicos

periódicos ocupacionales e inspecciones de puestos de trabajo acudiendo a datos individuales de los trabajadores.

En Colombia existe una normativa importante y bien estructurada que favorece la debida planeación y ejecución del Sistema de Gestión de la Seguridad y la Salud en el Trabajo SGSST, no obstante, resulta significativo destacar que la identificación y valoración de riesgos y peligros se vuelve además de un requerimiento legal, un proceso fundamental en las organizaciones y en esta medida el ausentismo laboral brinda datos relevantes respecto a la salud de la población trabajadora, datos que bien recopilados y analizados permiten a las organizaciones la generación de medidas de intervención con mayor precisión.

## CONCLUSIONES

Las principales causas de ausentismo durante el cuatrienio en la entidad objeto de estudio se asocian a enfermedades del sistema musculo esquelético o TME lo cual coincide con otros estudios en la materia.

Los accidentes de trabajo dan cuenta de la relación directa entre los riesgos laborales y una proporción del ausentismo laboral.

Las causas multifactoriales del ausentismo laboral no permiten generar certezas entre la relación de IM de origen común y los riesgos laborales por lo cual en este estudio se presenta una posible relación entre 8 grupos de enfermedades y 5 tipos de riesgos, lo anterior requiere ser contrastado con otros estudios y mediciones realizadas por la organización desde medicina preventiva y medición de factores de riesgo psicosocial.

La data recopilada en el marco del cuatrienio permite información relevante para la entidad lo cual puede aportar a la generación de prospectiva basada en históricos frente al comportamiento de la enfermedad de la población trabajadora.



Si bien el estudio fue desarrollado en una institución de educación, la misma al centrarse en formación para el trabajo y desarrollo humano con un énfasis en el desarrollo de competencias, específicas claves y transversales, brinda especial importancia al aprender haciendo, por lo cual expone de manera directa al docente a múltiples tipos de riesgos en tanto ofrece formación en las diferentes ocupaciones, desde la salud, construcción, textil, mecánica automotriz, agropecuaria, minería entre otras. En este sentido en la data de las IM se ve reflejada la multiplicidad de grupos de enfermedades así mismo podría explorarse otros tipos de riesgos diferentes a los 5 identificados en este estudio.

## RECOMENDACIONES

Es relevante que la empresa continúe realizando análisis detallado y riguroso de las incapacidades por causa médica, lo anterior le permitirá ampliar el histórico para contrastar datos de ausentismo laboral con intervenciones de impacto en beneficio de la población trabajadora y de su seguridad y salud.

Sería importante avanzar en estudios en la entidad que analicen los costos que tiene para la organización el ausentismo laboral por causa médica recopilando así datos en términos económicos a socializarse con la alta dirección buscando fortalecer el compromiso en los niveles estratégicos y directivos con la seguridad y la salud del trabajador.

## REFERENCIAS

1. World Health Organization. International Classification of Diseases (ICD) [Internet]. Ginebra: WHO; 2025 [citado 2025 jul 20]. Disponible en: <https://www.who.int/standards/classifications/classification-of-diseases>
2. Guzmán D. Factores de riesgo psicosocial y ausentismo laboral en trabajadores de una industria licorera por modalidad contractual. [Tesis de Magister]. Santiago de Cali: Universidad del valle, Escuela de salud pública; 2017. [citado 2025 ago 12]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/b359d394-76d6-497b-8ef8-225505d78b9d/content>
3. Hernández R. Metodología de la Investigación. 6a ed. México: McGraw-Hill; 2014. p. 4.
4. Guevara G, Verdesoto A, Castro N. Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). Recimundo. [Internet]. 2020; [citado 2025 ago 10]. 4(3): p. 163-173. Disponible en: <http://www.recimundo.com/index.php/es/articulo/view/860>
5. Borda M, Rolón E, & Gonzales J. Ausentismo laboral: impacto en la productividad y estrategias de control desde los programas de salud empresarial. [Tesis de Maestría]. Bogotá D.C.: Universidad del rosario. Facultad de administración. 2017. p. 15. Disponible en: <https://repository.urosario.edu.co/items/9771c4d4-f232-47d9-b943-974dd06d68ae>
6. Cárdenas D, Hernández A, Sánchez D, Velasco J. Caracterización y análisis del ausentismo laboral causado por enfermedad común y accidentalidad laboral de los trabajadores del área operativa de la empresa TECNIASEO JA SAS y elaboración de una propuesta de mejoramiento para el proceso y para las causas que lo generan. [Tesis Especialización]. Bogotá D.C.: Corporación Universitaria Minuto de Dios; 2020. p. 33. Disponible en: <https://repository.uniminuto.edu/server/api/core/bitstreams/d91b8e4b-63a9-47b5-92a0-7518daa27c57/content>
7. Santiago A, Rosario E. Factores psicológicos, sociales y organizacionales que inciden en la imitación del ausentismo laboral. Salud Cond Hum [Internet]. 2021 [citado 2025 ago 11]; 8(1): p. 22-37. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/357457794\\_Factores\\_psicologicos\\_sociales\\_y\\_organizacionales\\_que\\_inciden\\_en\\_la\\_imitacion\\_del\\_ausentismo\\_laboral](https://www.researchgate.net/publication/357457794_Factores_psicologicos_sociales_y_organizacionales_que_inciden_en_la_imitacion_del_ausentismo_laboral)
8. Saldarriaga J, Martínez E. Factores asociados al ausentismo laboral por causa médica en una institución de educación superior. Rev Fac Nac



- Salud Pública [Internet]. 2007 [citado 2026 ene 3]; 25(1): p. 32-39. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-386X2007000100005](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-386X2007000100005)
9. Ministerio del Trabajo. Resolución 0312 de 2019, Por la cual se definen los Estándares Mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST. Diario Oficial No. 50872, 2019. Disponible en: <https://acesaconsultores.com/co/wp-content/uploads/2019/02/RES-312-DE-2019-MIN-TRABAJO-2.pdf>
  10. Ministerio del Trabajo (2015). Decreto 1072 de 2015, Por el cual se expide el Decreto único reglamentario del sector Trabajo. Diario Oficial No. 49429, 2015. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=72173>
  11. UNIR (2025). Los tipos de riesgos laborales: clasificación y características. [Internet]. Bogotá D.C.: Universidad Internacional de la Rioja; 2025 [citado 2025 jul 12]. Disponible en: <https://colombia.unir.net/actualidad-unir/tipos-riesgos-laborales/>
  12. Ministerio de Salud (1993). Resolución 08430. Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Boletín Oficial No. 41104, 1993. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/lists/bibliotecadigital/ride/de/dij/resolucion-8430-de-1993.pdf>
  13. Ministerio de Salud. Medidas frente a la pandemia COVID-19 [Internet], Bogotá D.C.: Ministerio de Salud y protección social; 2025 [citado 2025 jul 10]. Medidas frente a la pandemia COVID-19. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/PET/Paginas/Documentos-Administrativos-covid-19.aspx>
  14. Ministerio de la Protección Social. Batería de instrumentos para la evaluación de factores de riesgo psicosocial. [Internet]. Edición (1ª.). Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana; 2010. [citado 12 jul 2025]: p. 21. Disponible en: 1.-Manual-general-Bateria-de-instrumentos-para-la-evaluacion-de-factores-de-riesgo-psicosocial.pdf
  15. Canda P, Cárdenas A, Rodríguez D, Chimeno M, Patiño M, Gómez R, Arbo G, Schejtman A. Estrés y Enfermedad Cardiovascular. Medicina (B Aires) [Internet] 2023 [citado 2025 Jul 12]; 83(1): p. 1. Disponible en: Estrés y enfermedad cardiovascular
  16. Ministerio de Salud y Protección Social. Resolución 1442 de 2024: Por medio de la cual se adopta la undécima revisión de la Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y Problemas de salud Conexos (CIE 11), para la codificación de morbilidad y mortalidad en Colombia y se establece el periodo de transición de CIE. Diario Oficial No. 52848, 2024. Ministerio de la Salud y Protección Social. Disponible en: [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Resolución%20No%20a%20CIE%2011.1442%20de%202024.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolución%20No%20a%20CIE%2011.1442%20de%202024.pdf)
  17. Ministerio del Trabajo. Trámite de Incapacidades y Conciliación de Pagos: GETH-P-023. Bogotá D.C.: Min Trabajo; 2024 [actualizado 15 ene 2026; citado 2026 ene 18]. Disponible en: <https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/61065421/Procedimiento+Gestion+de+Incapacidades+y+Conciliacion.pdf/0d2e5c0d-a50a-3c95-63cb-05435c0df5dd?version=1.0&t=1591224125638>
  18. Organización Mundial de la Salud. Trastornos Musculoesqueléticos [Internet]. Ginebra: OMS; 2021 [Citado 2025 jul 08]. Trastornos Musculoesqueléticos. Disponible en: Trastornos musculoesqueléticos.
  19. García E, Sánchez R. Prevalencia de trastornos musculoesqueléticos en docentes universitarios que realizan teletrabajo en tiempos de COVID-19. An Fac. Med. [Internet] 2020 [citado 2025 jul 08]; 81(3): p. 301-307. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7814752>
  20. Restrepo C. Covid-19: así se pasó del encierro a la normalidad. [Internet]. Medellín: Editorial UdeA; 2023 [citado 2025 jul 10]. Sociedad. Disponible en: <https://n9.cl/6d81f>
  21. Congreso de la República, Ley 1562 de 2012 Art (3): Por la cual se modifica el Sistema de Riesgos Laborales y se dictan otras disposiciones en



materia de Salud Ocupacional. 2012. Diario Oficial No. 48488. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=48365>



# Causas Frecuentes de Accidentes Laborales en el Sector del Calzado en Colombia 2010-2024: una Revisión de Literatura.

## Frequent Causes of Occupational Accidents in Colombia's Footwear Sector 2010-2024: A Literature Review.

Recibido: 19/10/2025- Aceptado: 02/02/2026 - Publicado: 25/02/2026

### Autores

#### **Jhon Alexander Zuluaga Arce\***

Tecnólogo en atención prehospitalaria. Profesional en salud ocupacional. Estudiante de la Maestría en Gerencia de la Seguridad y Salud en el Trabajo. Estudiante de la Corporación Universitaria Minuto de Dios. Facultad de Ciencias Empresariales.  
Buga - Colombia  
Jhon.zuluaga@uniminuto.edu.co

#### **Brayan Stiven Garrido Gómez**

Tecnólogo en salud ocupacional. Profesional en ingeniería industrial. Estudiante de la Maestría en gerencia de la Seguridad y Salud en el Trabajo. Estudiante de la Corporación Universitaria Minuto de Dios. Facultad de Ciencias Empresariales.  
Santiago de Cali - Colombia  
brayan.garrido@uniminuto.edu.co

\*Autor de correspondencia



## RESUMEN

**Objetivo:** Identificar las causas más frecuentes de accidentes laborales en el sector del calzado en Colombia durante el período 2010-2024 mediante una revisión de la literatura científica.

**Materiales y Métodos:** Se ejecutó una revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA. La búsqueda bibliográfica se realizó en las bases de datos PubMed, Scopus, Google Scholar, SciELO y repositorios institucionales colombianos. Los criterios de inclusión contemplaron estudios publicados entre 2010-2024, en español e inglés, relacionados con accidentalidad laboral, factores de riesgo ocupacional y sistemas de gestión de seguridad en la industria del calzado colombiana. Se identificaron inicialmente 156 registros, de los cuales 35 estudios cumplieron los criterios establecidos y fueron analizados exhaustivamente.

**Resultados:** Los factores de riesgo se clasificaron en siete categorías: ergonómicos (88,6% de estudios), químicos (77,1%), mecánicos (74,3%), físicos (54,3%), locativos (57,1%), psicosociales (48,6%) y biológicos (22,9%). Los riesgos ergonómicos evidenciaron prevalencia de trastornos musculoesqueléticos entre 52,9% y 87,1%, siendo la lumbalgia el más frecuente (25,1%). La exposición a sustancias químicas neurotóxicas como tolueno, hexano y acetato de etilo afecta al 100% de los trabajadores en áreas de ensamble. Los accidentes mecánicos representan el 22% por golpes y 18% por cortes. Se identificó implementación deficiente del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), con solo 40% de empresas ejecutando programas preventivos efectivos.

**Conclusiones:** La accidentalidad en el sector del calzado colombiano presenta origen multifactorial, con predominancia de riesgos ergonómicos, químicos y mecánicos. Las microempresas y pequeñas empresas enfrentan limitaciones económicas, técnicas y organizacionales que dificultan la implementación del SG-SST. Se requieren estrategias de mitigación contextualizadas que incluyan sustitución de sustancias tóxicas, ergonomía participativa, mejoramiento de ventilación, dotación apropiada de equipos de protección personal y fortalecimiento de la cultura preventiva.

**Palabras clave:** Accidente de trabajo; Ergonomía; Riesgos laborales; Seguridad ocupacional; Trastornos musculoesqueléticos.



## ABSTRACT

**Objective:** To identify the most frequent causes of occupational accidents in Colombia's footwear sector during the 2010-2024 period through a literature review.

**Materials and Methods:** A systematic review was conducted following the PRISMA protocol. The bibliographic search was performed in PubMed, Scopus, Google Scholar, SciELO databases and Colombian institutional repositories. Inclusion criteria included studies published between 2010-2024, in Spanish and English, related to occupational accidents, occupational risk factors and safety management systems in the Colombian footwear industry. Initially, 156 records were identified, of which 35 studies met the established criteria and were thoroughly analyzed.

**Results:** Risk factors were classified into seven categories: ergonomic (88.6% of studies), chemical (77.1%), mechanical (74.3%), physical (54.3%), locative (57.1%), psychosocial (48.6%) and biological (22.9%). Ergonomic risks showed prevalence of musculoskeletal disorders between 52.9% and 87.1%, with low back pain being the most frequent (25.1%). Exposure to neurotoxic chemical substances such as toluene, hexane and ethyl acetate affects 100% of workers in assembly areas. Mechanical accidents represent 22% from impacts and 18% from cuts. Deficient implementation of the Occupational Health and Safety Management System (SG-SST) was identified, with only 40% of companies executing effective preventive programs.

**Conclusions:** Accident rates in the Colombian footwear sector have multifactorial origins, with predominance of ergonomic, chemical and mechanical risks. Micro and small enterprises face economic, technical and organizational limitations that hinder SG-SST implementation. Contextualized mitigation strategies are required including substitution of toxic substances, participatory ergonomics, ventilation improvement, appropriate personal protective equipment provision and strengthening of preventive culture.

**Keywords:** Workplace accidents; Ergonomics; Occupational hazards; Occupational safety; Musculoskeletal disorders.



## INTRODUCCIÓN

La industria manufacturera del calzado constituye un sector económico estratégico para Colombia, generando aproximadamente 140.000 empleos formales directos y contribuyendo de manera significativa al Producto Interno Bruto (PIB) nacional (1). Este sector se caracteriza por una estructura empresarial conformada mayoritariamente por micro, pequeñas y medianas empresas (MiPymes), que representan cerca del 80% del empleo y el 90% de la actividad productiva del sector (2). Las principales zonas de concentración industrial se localizan en regiones como el barrio Restrepo en Bogotá, Bucaramanga, Cúcuta, Cali y Medellín, conformando clústeres productivos de alta relevancia regional (3).

A pesar de su impacto económico y social, la industria del calzado enfrenta retos críticos en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST). Los trabajadores del sector están expuestos a diversos factores de riesgo ocupacional, entre los que destacan la manipulación de sustancias químicas peligrosas como adhesivos y solventes, las condiciones ergonómicas inadecuadas derivadas de posturas forzadas y movimientos repetitivos, así como el uso de maquinaria carente de sistemas de seguridad adecuados (4-6).

Estas problemáticas se ven agravadas por la insuficiente implementación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), a pesar de los avances normativos derivados del Decreto 1072 de 2015 y la Resolución 0312 de 2019, que establecen los estándares mínimos de cumplimiento (7). Numerosas MiPymes carecen de los recursos técnicos, financieros y humanos para adoptar plenamente estas disposiciones, lo que se traduce en un alto nivel de exposición a riesgos laborales, afectando tanto la salud y bienestar de los trabajadores como la productividad y la competitividad empresarial (1,8).

Investigaciones recientes han identificado múltiples causas de accidentalidad en el sector del calzado, entre ellas la sobrecarga mental, el estrés laboral

crónico, la falta de capacitación, el mantenimiento inadecuado de equipos y la ausencia de sistemas de control y seguridad efectivos en las áreas de producción (5). Además, la exposición prolongada a solventes y adhesivos industriales puede generar afecciones respiratorias, dermatológicas y neurológicas, mientras que las deficiencias ergonómicas han sido asociadas a una elevada prevalencia de trastornos musculoesqueléticos en labores de corte, aparado y costura (4,6,9).

Un obstáculo adicional lo constituye la carencia de datos confiables y actualizados sobre la incidencia real de los accidentes y enfermedades laborales en el sector. El subregistro de siniestros es especialmente elevado en las microempresas y el sector informal, lo que dificulta la elaboración de políticas públicas basadas en evidencia y la evaluación de la efectividad de los programas de prevención implementados (10).

En el contexto internacional, estudios realizados en España, Perú y Ecuador han documentado problemáticas similares, señalando la exposición a solventes orgánicos, la ocurrencia de trastornos musculoesqueléticos y los accidentes mecánicos como riesgos prioritarios (11-13). No obstante, en Colombia, la evidencia científica sobre las causas específicas de accidentalidad en la industria del calzado sigue siendo fragmentada y dispersa, lo cual limita el desarrollo de estrategias preventivas eficaces y contextualizadas.

Ante esta situación, surge la hipótesis de que los accidentes laborales más frecuentes en la industria colombiana del calzado están asociados principalmente a deficiencias en la implementación del SG-SST, factores ergonómicos y exposición química prolongada, condicionados por las limitaciones estructurales propias de las MiPymes. Por tanto, la presente revisión sistemática tiene como objetivo general identificar las causas más frecuentes de los accidentes laborales en la industria del calzado en Colombia durante el período 2010-2024, mediante la recopilación y análisis de la literatura científica y técnica disponible. De manera específica, se busca:



- Diseñar un protocolo de búsqueda de información basado en la estrategia PRISMA.
- Identificar los factores de riesgo psicosociales, ergonómicos, físicos, químicos, biológicos, mecánicos y locativos.
- Proponer estrategias de mitigación fundamentadas en la evidencia científica.

La importancia e impacto de este estudio radican en la posibilidad de proveer información consolidada y actualizada que sirva de base para la formulación de políticas públicas, programas empresariales de prevención y estrategias de mejora continua en seguridad laboral. Asimismo, los resultados pueden fortalecer la competitividad del sector al promover entornos laborales seguros y sostenibles, en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 8 sobre trabajo decente y crecimiento económico.

## MARCO TEÓRICO

La industria del calzado en Colombia constituye un sector clave para la economía nacional debido a su contribución al Producto Interno Bruto (PIB) y su capacidad de generar empleo formal e informal. Este sector, integrado mayoritariamente por micro, pequeñas y medianas empresas (MiPymes), enfrenta importantes desafíos en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo SST, principalmente por la limitada implementación de sistemas de gestión adecuados y la escasez de recursos técnicos y financieros (1).

El marco normativo colombiano, encabezado por el Decreto 1072 de 2015 y la Resolución 0312 de 2019, establece los estándares mínimos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), buscando garantizar ambientes laborales seguros y saludables (14). Sin embargo, su adopción ha sido desigual, especialmente en las MiPymes, donde persisten vacíos en conocimiento y aplicación práctica (15).

Diversos estudios coinciden en que los factores ergonómicos, la deficiente capacitación y el mantenimiento inadecuado de maquinaria son

causas recurrentes de accidentes en el sector (4,5). Investigaciones recientes destacan la importancia de la adopción de normas internacionales como la ISO 45001 y de estrategias preventivas orientadas a la cultura de seguridad y la formación continua de los trabajadores (6,7).

Los riesgos laborales identificados incluyen componentes ergonómicos, mecánicos, químicos y psicosociales, que se derivan de las condiciones de producción propias del calzado. Estos riesgos demandan una gestión integral que combine la evaluación sistemática de peligros con la aplicación de la jerarquía de controles, priorizando la eliminación o sustitución de riesgos antes de recurrir a equipos de protección personal (8,9).

En este contexto, el fortalecimiento de la cultura de seguridad, la capacitación constante y la vigilancia epidemiológica ocupacional son estrategias esenciales para disminuir la siniestralidad y mejorar el bienestar de los trabajadores (10,11). Asimismo, se resalta el papel de la ergonomía participativa, que promueve la inclusión de los trabajadores en la identificación y resolución de problemas de seguridad, especialmente en entornos con recursos limitados (12).

Por otro lado, la relación entre SST y productividad se ha consolidado como un eje estratégico en la sostenibilidad del sector, dado que la protección de la salud del trabajador se traduce en mayor eficiencia, menor ausentismo y mejor calidad del producto final (13). Este enfoque se complementa con la responsabilidad social empresarial (RSE), la resiliencia organizacional y la gestión del conocimiento, elementos que fortalecen la capacidad adaptativa y el aprendizaje continuo frente a los riesgos emergentes (14-16).

En suma, la seguridad y salud ocupacional en la industria del calzado colombiana requiere una visión sistémica que articule las dimensiones legales, organizacionales, humanas y tecnológicas. La implementación efectiva del SG-SST, la consolidación de una cultura preventiva y la incorporación de prácticas de mejora continua constituyen los pilares para avanzar hacia entornos laborales más seguros, sostenibles y productivos.



# METODOLOGÍA

## Diseño del Estudio

Se ejecutó una revisión sistemática de la literatura científica y técnica siguiendo rigurosamente las directrices establecidas en la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) en su versión actualizada. Este enfoque metodológico permite identificar, evaluar críticamente y sintetizar de manera exhaustiva y sistemática todos los estudios relevantes sobre las causas de accidentes laborales en la industria del calzado en Colombia, garantizando transparencia, reproducibilidad y minimización de sesgos en el proceso de revisión.

## Estrategia de Búsqueda Bibliográfica

La búsqueda bibliográfica se realizó durante el período comprendido entre marzo y agosto de 2024, utilizando las siguientes bases de datos electrónicas y fuentes de información: bases de datos académicas internacionales (PubMed, Scopus, ScienceDirect), bases de datos regionales (Google Scholar, SciELO), repositorios institucionales de universidades colombianas, fuentes gubernamentales (Ministerio del Trabajo, Ministerio de Salud y Protección Social, Federación de Aseguradores Colombianos - FASECOLDA) y literatura gris especializada (tesis de grado, informes técnicos, estudios sectoriales).

Los términos de búsqueda empleados en español fueron: "accidentes laborales", "sector calzado", "riesgos ocupacionales", "industria del calzado", "Colombia", "seguridad laboral", "salud ocupacional", "manufactura de calzado", "trastornos musculoesqueléticos", "exposición química" y "Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo". Los términos en inglés incluyeron: "occupational accidents", "footwear industry", "occupational risks", "Colombia", "shoe manufacturing", "workplace safety", "occupational health", "musculoskeletal disorders" y "chemical exposure". Los términos se combinaron estratégicamente mediante operadores booleanos

(AND, OR, NOT) para optimizar la sensibilidad y especificidad de los resultados de búsqueda.

## Criterios de Selección

Los criterios de inclusión contemplaron: estudios publicados entre 2010 y 2024; investigaciones enfocadas específicamente en la industria del calzado en Colombia o con datos comparativos aplicables al contexto colombiano; idiomas español e inglés; temática relacionada con accidentes laborales, riesgos ocupacionales, factores de riesgo específicos o implementación de sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo en la industria del calzado; fuentes primarias y secundarias con rigor científico o técnico demostrable; y documentos disponibles en texto completo.

Los criterios de exclusión comprendieron: estudios publicados antes de 2010 o después de 2024; investigaciones no relacionadas específicamente con la industria del calzado o sectores manufactureros no comparables; artículos de opinión, editoriales o cartas al editor sin datos empíricos; publicaciones duplicadas; estudios con metodología poco clara, no especificada o con alto riesgo de sesgo; y documentos en idiomas distintos al español o inglés.

## Proceso de Selección de Estudios

El proceso de selección siguió cuatro fases secuenciales según el protocolo PRISMA. En la fase de identificación, se realizó una búsqueda exhaustiva en todas las fuentes mencionadas, identificando inicialmente 156 registros. Durante la fase de cribado, dos revisores independientes evaluaron títulos y resúmenes de todos los documentos identificados, eliminándose 89 registros por no cumplir criterios de inclusión. En la fase de elegibilidad, se revisó el texto completo de 67 documentos potencialmente elegibles, excluyéndose 32 estudios adicionales por metodología inadecuada (n=12), datos insuficientes (n=10), duplicados (n=6) y estudios fuera del período establecido (n=4). Finalmente, en la fase de inclusión, 35 estudios cumplieron todos los criterios establecidos y fueron incorporados en el análisis sistemático.

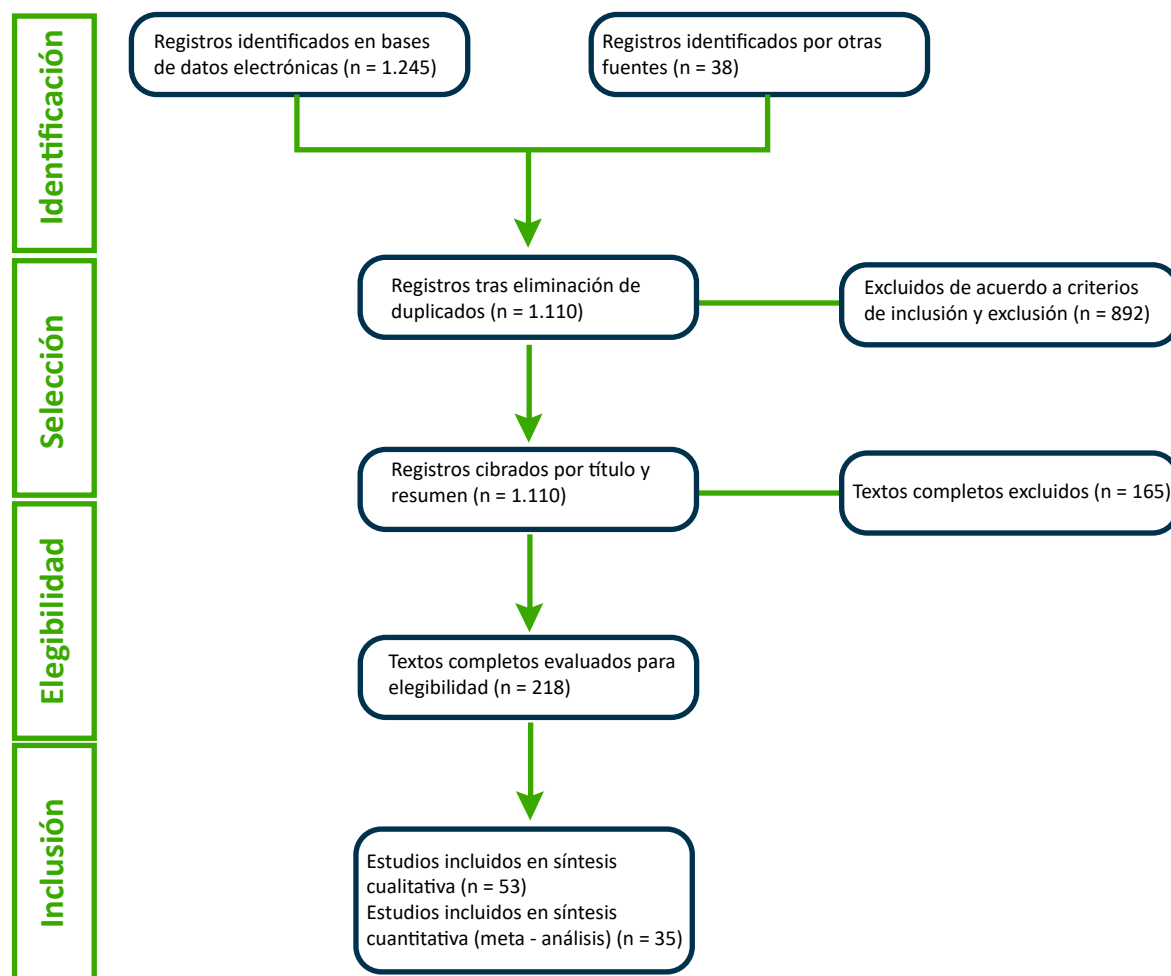


## Extracción y Análisis de Datos

Se diseñó una matriz de extracción de datos estandarizada que incluyó: información bibliográfica completa, tipo de estudio y metodología empleada, objetivos de la investigación, características de la población y muestra, factores de riesgo identificados clasificados por categoría, principales hallazgos sobre causas de accidentes, medidas preventivas propuestas y limitaciones metodológicas del estudio. La extracción fue realizada independientemente por dos investigadores, con resolución de discrepancias mediante consenso y consulta a un tercer evaluador cuando fue necesario.

La calidad metodológica de los estudios incluidos se evaluó utilizando herramientas apropiadas según el diseño: escala Newcastle-Ottawa para estudios observacionales, herramienta STROBE para estudios transversales y lista de verificación PRISMA para revisiones sistemáticas. Se realizó una síntesis narrativa estructurada de los hallazgos, organizando la información por categorías de factores de riesgo: químicos, ergonómicos, mecánicos, físicos, locativos, psicosociales y biológicos. Los datos cuantitativos se presentaron de forma descriptiva, no siendo posible realizar metaanálisis debido a la heterogeneidad metodológica de los estudios incluidos.

**Figura 1.** Flujograma de los pasos realizados.



**Fuente:** Construcción propia



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Selección y Características de los Estudios

La búsqueda de literatura identificó 156 registros en total. Tras aplicar el protocolo PRISMA completo, se incluyeron 35 estudios en la revisión final. La distribución por tipo de publicación mostró predominio de literatura gris (tesis de grado y trabajos de investigación en repositorios institucionales,  $n=22$ , 62,9%), seguida por artículos científicos publicados en revistas indexadas ( $n=8$ , 22,9%) e informes técnicos sectoriales ( $n=5$ , 14,2%).

La distribución temporal evidenció incremento sostenido en la producción científica sobre la temática: período 2010-2014 ( $n=5$ , 14,3%), período 2015-2019 ( $n=12$ , 34,3%) y período 2020-2024 ( $n=18$ , 51,4%). Geográficamente, los estudios se concentraron en las principales regiones: Bogotá y Cundinamarca ( $n=14$ , 40%), Bucaramanga y Santander ( $n=9$ , 25,7%), Cali y Valle del Cauca ( $n=6$ , 17,1%) y otros departamentos ( $n=6$ , 17,1%).

Respecto al tamaño empresarial, la distribución fue: microempresas ( $n=15$ , 42,9%), pequeñas empresas ( $n=12$ , 34,3%), medianas empresas ( $n=6$ , 17,1%) y grandes empresas ( $n=2$ , 5,7%). La metodología predominante fue cualitativa-descriptiva ( $n=20$ , 57,1%), seguida por métodos mixtos ( $n=10$ , 28,6%) y estudios cuantitativos ( $n=5$ , 14,3%).

### Factores de Riesgo Identificados

#### Riesgos Ergonómicos

Los riesgos ergonómicos constituyeron la categoría más prevalente, siendo mencionados en 31 de los 35 estudios analizados (88,6%). Las posturas forzadas fueron identificadas en 28 estudios (80%), caracterizándose por posiciones incómodas sostenidas durante períodos prolongados superiores a tres horas continuas en operaciones de costura, armado y ensamblaje. Las posturas críticas más documentadas incluyen flexión del tronco, elevación de brazos por encima de los hombros y sedestación

prolongada sin pausas activas programadas (5). Los movimientos repetitivos fueron reportados en 29 estudios (82,9%), evidenciándose que las tareas de corte, costura, remallado y pegado implican ciclos de trabajo repetitivos de alta frecuencia, estimándose entre 10.000 y 20.000 movimientos por jornada laboral (9). Esta exposición se asocia directamente con trastornos musculoesqueléticos, afectando principalmente extremidades superiores, región cervical y columna dorsolumbar.

La manipulación manual de cargas fue identificada en 18 estudios (51,4%), documentándose transporte de materias primas, productos en proceso y productos terminados sin ayudas mecánicas, frecuentemente superando los 25 kilogramos recomendados por normativas ergonómicas. Diez estudios cuantitativos reportaron prevalencias de trastornos musculoesqueléticos entre 52,9% y 87,1%, siendo las zonas corporales más afectadas: tronco y espalda (65,4%), extremidades superiores (40-50%) y extremidades inferiores (20-25%). La lumbalgia constituyó el trastorno más frecuente, afectando al 25,1% de trabajadores diagnosticados con trastornos musculoesqueléticos (9).

#### Riesgos Químicos

La exposición a sustancias químicas representó el segundo factor de riesgo más frecuente, siendo mencionado en 27 de los 35 estudios (77,1%). Las sustancias químicas identificadas con mayor frecuencia fueron: tolueno (mencionado en 24 estudios), hexano (22 estudios), acetato de etilo (20 estudios), acetona (21 estudios), hidrocarburos aromáticos (18 estudios) y metil etil cetona (15 estudios). Los procesos de mayor exposición incluyen aplicación de adhesivos, donde el 100% de los trabajadores de áreas de ensamblaje se encuentran expuestos, limpieza de superficies pre-pegado, acabados y tratamientos superficiales, así como limpieza de herramientas y equipos (4).

Los efectos agudos en salud reportados comprenden irritación de vías respiratorias superiores e inferiores, cefaleas y mareos, náuseas y dermatitis de contacto.



Los efectos crónicos documentados incluyen enfermedades respiratorias, hepatotoxicidad y neuropatía periférica por n-hexano. Las deficiencias en control identificadas abarcan ausencia de ventilación adecuada en 24 estudios (68,6%), no uso o uso inadecuado de equipos de protección personal respiratoria en 26 estudios (74,3%) y desconocimiento de Fichas de Datos de Seguridad en 21 estudios (60%) (4, 20).

### Riesgos Mecánicos

Los riesgos mecánicos fueron mencionados en 26 de los 35 estudios (74,3%). La distribución de tipos de accidentes mecánicos mostró: golpes (22% de accidentes reportados), cortes y laceraciones (18%), atrapamientos (12%), proyección de partículas (8%) y quemaduras térmicas (6%). La maquinaria más frecuentemente involucrada incluye troqueladoras y cortadoras industriales, máquinas de coser industriales de alta velocidad, prensas de calor y vulcanizado, así como pulidoras y lijadoras (16).

Las causas identificadas comprenden falta de guardas de seguridad en maquinaria (mencionada en 23 estudios, 65,7%), mantenimiento inadecuado o inexistente de equipos (19 estudios, 54,3%), operación sin capacitación específica (22 estudios, 62,9%), fatiga del operario (11 estudios) y procedimientos de trabajo inseguros (17 estudios).

### Riesgos Locativos

Los riesgos locativos fueron mencionados en 20 de los 35 estudios (57,1%). Las caídas representan aproximadamente el 19% de los accidentes totales según estudios cuantitativos incluidos. Las causas principales documentadas incluyen pisos resbaladizos por adhesivos o aceites industriales (15 estudios), objetos en el suelo que obstruyen circulación (13 estudios), escaleras sin pasamanos o en mal estado (9 estudios) y desniveles no señalizados (8 estudios). Las condiciones deficientes de infraestructura identificadas comprenden iluminación deficiente (18 estudios, 51,4%), espacios reducidos que dificultan circulación (16 estudios) y

almacenamiento inadecuado de materiales (14 estudios) (8).

### Riesgos Físicos, Psicosociales y Biológicos

Los riesgos físicos fueron mencionados en 19 estudios (54,3%), destacando exposición a ruido de maquinaria industrial, temperaturas elevadas en áreas de vulcanizado, iluminación insuficiente para tareas de precisión y vibraciones por herramientas. Los riesgos psicosociales fueron identificados en 17 estudios (48,6%), incluyendo sobrecarga laboral, jornadas excesivas, inestabilidad laboral y clima organizacional inadecuado. Los riesgos biológicos fueron la categoría menos documentada, mencionándose en 8 estudios (22,9%), relacionados con exposición a microorganismos en ambientes húmedos con ventilación deficiente.

### Implementación del SG-SST

Veintitrés estudios (65,7%) evaluaron el nivel de implementación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, evidenciándose que solo el 40% de empresas implementan programas preventivos de manera efectiva. El 73,9% de microempresas no cuentan con SG-SST estructurado, mientras que el 55,6% de pequeñas empresas presentan implementación parcial. El cumplimiento promedio de estándares mínimos establecidos en la Resolución 0312 de 2019 oscila entre 35-45% en microempresas y 60-70% en pequeñas empresas (1,3).

Las principales barreras para implementación identificadas fueron: recursos financieros limitados (28 estudios, 80%), falta de conocimiento técnico especializado (25 estudios, 71,4%), ausencia de compromiso gerencial (20 estudios, 57,1%), alta informalidad del sector (18 estudios, 51,4%) y presión competitiva que prioriza reducción de costos sobre inversión en seguridad (15 estudios, 42,9%).

### Hallazgos Principales y Comparación con Evidencia Internacional



La presente revisión sistemática identificó que los accidentes laborales en el sector del calzado colombiano constituyen fenómenos de etiología multifactorial, donde convergen simultáneamente riesgos ergonómicos, químicos, mecánicos, físicos, locativos, psicosociales y biológicos. Los riesgos ergonómicos emergieron como la categoría más prevalente (88,6% de estudios), seguidos por los químicos (77,1%) y mecánicos (74,3%), hallazgo consistente con la naturaleza intensiva en mano de obra y procesos manuales característicos de la fabricación de calzado.

La alta prevalencia de trastornos musculoesqueléticos (52,9-87,1%) resulta particularmente preocupante desde perspectivas de salud pública ocupacional y es coherente con estudios internacionales en sectores manufactureros similares. La lumbalgia como el trastorno más frecuente (25,1%) refleja las demandas físicas del trabajo en calzado, caracterizado por posturas sostenidas, manipulación de cargas y movimientos repetitivos de alta frecuencia. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones realizadas por Poveda y Villalta (9) en Ecuador y estudios europeos en el sector manufacturero del calzado.

La exposición a sustancias químicas neurotóxicas representa un riesgo crítico con potencial de daño irreversible. La presencia de n-hexano en adhesivos, aunque mencionada en 8 estudios (22,9%), carece de datos epidemiológicos sobre prevalencia de neuropatía en Colombia, evidenciando una brecha crítica en vigilancia epidemiológica ocupacional. Este hallazgo contrasta significativamente con la extensa documentación internacional sobre neuropatía por solventes en trabajadores del calzado en regiones asiáticas y europeas, sugiriendo posible subregistro o subdiagnóstico de esta patología en el contexto colombiano (4).

### **Baja Implementación del SG-SST en MiPymes**

Un hallazgo crítico es que únicamente el 40% de empresas implementan programas preventivos de manera efectiva, con implementación aún menor en

microempresas (26,1% según estudios analizados). Esta brecha entre normatividad vigente y práctica empresarial es consistente con lo reportado por Rueda (1) y Galindo y Molina (3), quienes identificaron como barreras principales: recursos financieros limitados, desconocimiento técnico especializado y ausencia de compromiso gerencial visible.

La alta proporción de estudios provenientes de literatura gris (62,9%) versus artículos científicos en revistas indexadas (22,9%) refleja una realidad sectorial: la investigación es mayormente académica, realizada como requisito de grado, y raramente se traduce en publicaciones científicas de amplio alcance internacional. Esta situación limita significativamente la visibilidad del conocimiento generado y la transferencia efectiva hacia tomadores de decisiones empresariales y diseñadores de políticas públicas.

### **Implicaciones para Política y Práctica**

Los resultados sugieren la necesidad imperiosa de estrategias multinivel para abordar integralmente la problemática identificada. A nivel técnico, se requiere sustitución progresiva de químicos peligrosos por alternativas más seguras, implementación de mejoras ergonómicas sustantivas y controles de ingeniería efectivos, particularmente sistemas de ventilación local exhaustiva. La persistencia en el uso de solventes neurotóxicos cuando existen alternativas más seguras evidencia una brecha significativa entre conocimiento científico disponible y práctica industrial cotidiana.

A nivel organizacional, se necesita fortalecimiento sustantivo de programas de capacitación, desarrollo de cultura organizacional de seguridad, implementación efectiva del SG-SST que trascienda el cumplimiento documental y asignación de recursos específicos y suficientes para gestión de seguridad y salud ocupacional. A nivel estructural y de política pública, se requiere promoción de formalización laboral, apoyo diferenciado y específico para MiPymes mediante asistencia técnica



y esquemas de incentivos, fortalecimiento de la capacidad inspectiva estatal, regulación específica para solventes neurotóxicos similar a normativas europeas y sistemas robustos de información que desagreguen accidentalidad por subsectores productivos.

## Fortalezas y Limitaciones

Las fortalezas del presente estudio incluyen ser la primera revisión sistemática con protocolo PRISMA riguroso sobre causas de accidentalidad en sector calzado colombiano para el período 2010-2024, búsqueda exhaustiva en múltiples bases de datos y literatura gris, análisis integral de múltiples categorías de riesgos e inclusión de perspectivas de diferentes regiones productoras nacionales.

Las limitaciones comprenden predominio de estudios de diseño descriptivo/transversal que limitan inferencia causal, alta heterogeneidad metodológica que impidió realizar metaanálisis cuantitativo, predominio de literatura gris con calidad metodológica variable, posible sesgo de publicación, subregistro probable de accidentes especialmente en sector informal, ausencia de datos epidemiológicos robustos sobre enfermedades específicas y generalización limitada a empresas formales, con sector informal escasamente representado.

## Recomendaciones para Investigación Futura

Los hallazgos evidencian necesidad de estudios epidemiológicos cuantitativos sobre prevalencia de neuropatía por solventes, incidencia de trastornos musculoesqueléticos por puesto de trabajo específico e identificación de factores de riesgo asociados mediante diseños analíticos. Se requiere investigación en higiene industrial con mediciones ambientales sistemáticas de químicos y evaluaciones ergonómicas cuantitativas mediante métodos estandarizados. Los estudios de intervención deben evaluar rigurosamente la efectividad de sustitución de solventes, programas ergonómicos participativos y capacitaciones. La investigación cualitativa

profunda debe explorar barreras y facilitadores para adopción de SG-SST en MiPymes y cultura organizacional de seguridad. Finalmente, se necesitan análisis económicos de costo-beneficio de intervenciones preventivas e impacto económico de la formalización laboral.

## CONCLUSIONES

Los accidentes laborales en el sector del calzado en Colombia durante el período 2010-2024 constituyen fenómenos de etiología multifactorial donde predominan riesgos ergonómicos, evidenciados por prevalencia de trastornos musculoesqueléticos entre 52,9% y 87,1%; riesgos químicos, caracterizados por exposición universal a solventes neurotóxicos en trabajadores de ensamble; y riesgos mecánicos, responsables del 22% de accidentes por impactos y 18% por cortes y laceraciones.

Las microempresas y pequeñas empresas, que constituyen el 80% del sector productivo, enfrentan dificultades significativas en la implementación efectiva del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo debido a limitaciones económicas estructurales (80% de casos), carencias en capacitación técnica especializada (62,9%) y ausencia de compromiso gerencial visible. Solo el 40% de empresas implementan programas preventivos de manera efectiva, evidenciándose cumplimiento promedio de estándares mínimos entre 35-45% en microempresas.

La revisión sistemática bajo protocolo PRISMA permitió consolidar evidencia dispersa, identificando brechas críticas: ausencia de datos epidemiológicos sobre neuropatía por solventes en Colombia, subregistro sustancial de accidentes en sector informal estimado entre 60-70% del total, limitada publicación científica en revistas indexadas y deficiencias en sistemas de vigilancia epidemiológica ocupacional específica del sector.

Se requieren estrategias de mitigación contextualizadas al entorno colombiano que



incluyan: sustitución progresiva y regulada de adhesivos con solventes neurotóxicos por alternativas base agua; implementación de ergonomía participativa con pausas activas programadas y rotación sistemática de tareas; mejoras sustantivas en ventilación local exhaustiva y dotación apropiada de equipos de protección personal respiratoria; fortalecimiento de programas de capacitación específica en riesgos sectoriales; apoyo institucional diferenciado para MiPymes mediante asistencia técnica y esquemas de incentivos fiscales; desarrollo de cultura organizacional de seguridad con compromiso gerencial demostrable; y fortalecimiento de sistemas de información epidemiológica que permitan caracterización precisa de accidentalidad sectorial.

La inversión en seguridad y salud ocupacional debe conceptualizarse no como costo operativo sino como estrategia empresarial para mejorar productividad sostenible, calidad del producto, retención de talento humano y competitividad sectorial. La brecha entre legislación existente y práctica empresarial requiere abordajes integrales que consideren realidades económicas y organizacionales de MiPymes, promuevan formalización laboral progresiva y fortalezcan sustantivamente la capacidad inspectiva estatal.

Este estudio aporta una base científica sólida para futuras investigaciones epidemiológicas analíticas, evaluaciones rigurosas de intervenciones y formulación de políticas públicas diferenciadas que protejan efectivamente la salud de aproximadamente 140.000 trabajadores formales y estimados 300.000-350.000 trabajadores informales del sector del calzado en Colombia.

## REFERENCIAS

1. Rueda L. Análisis del impacto socioeconómico del sector calzado en Colombia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2022.
2. Ardila G, López J, Salazar P. Estructura productiva y retos de las MiPymes del sector manufacturero colombiano. *Rev Econ Desarro.* 2022;33(2):45–58.
3. Galindo F, Molina C. Gestión de riesgos laborales y certificación ISO 45001 en la industria del calzado colombiana. *Rev Gest Emp.* 2022;14(3):67–79.
4. Torres M, Castillo J, Navarro D. Exposición ocupacional a sustancias químicas en el sector calzado. *Rev Salud Ocup Lat Am.* 2021;9(2):22–34.
5. Ahumada R. Ergonomía cognitiva y factores humanos en entornos industriales del calzado. *Rev Segur Ind.* 2020;15(1):12–25.
6. Herrera J, Pino L. Evaluación de riesgos mecánicos y ergonómicos en microempresas de calzado del Valle del Cauca. *Rev Cienc Trab.* 2020;22(3):41–56.
7. Ministerio del Trabajo (Colombia). Decreto 1072 de 2015 y Resolución 0312 de 2019. Bogotá: Mintrabajo; 2019.
8. Campo E, Ruiz J, Pérez A. Capacitación y cultura de seguridad en el sector calzado: un enfoque preventivo. *Rev Prev Riesgos.* 2021;13(4):88–97.
9. Poveda C, Villalta R. Trastornos musculoesqueléticos en trabajadores del sector manufacturero del calzado. *Rev Salud Ocup.* 2020;11(2):33–44.
10. Agudelo M. Vigilancia epidemiológica y subregistro de accidentes laborales en MiPymes colombianas. *Rev Salud Pública.* 2021;23(1):99–110.
11. Tortosa L. Riesgos laborales en la industria del calzado española: una revisión documental. *Rev Esp Salud Ocup.* 2020;18(2):58–70.
12. Cajusol P, León D. Condiciones de trabajo y exposición a solventes en la industria del calzado peruano. *Rev Peru Med Trab.* 2022;5(1):21–33.
13. Velastegui G. Accidentes laborales en talleres de calzado ecuatorianos: diagnóstico y estrategias preventivas. *Rev And Salud Ind.* 2020;7(1):45–59.
14. Congreso de Colombia. Decreto 1072 de 2015: Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. Diario Oficial No. 49.523, Bogotá; 2015.
15. Trujillo M, Cárdenas P. Cumplimiento normativo del SG-SST en las MiPymes del sector manufacturero colombiano. *Rev Salud Ocup.* 2022;24(3):155–162.



16. Herrera D, Pino F. Incidencia del mantenimiento y la capacitación en la accidentalidad laboral en el sector del calzado colombiano. *Rev Ing Ind.* 2020;18(1):34–48.
17. Campo S, López R, Marín L. Estrategias para la prevención de caídas en puntos de venta del sector calzado. *Rev Segur Trab.* 2021;30(2):78–90.
18. Torres A, Mejía C, Castaño J. Sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo: enfoque aplicado al sector manufacturero colombiano. *Rev Tec Sal Ocup.* 2021;15(2):88–102.
19. Esteban R. Aplicación de la ergonomía participativa en las MiPymes colombianas del sector calzado. *Rev Prev Riesgos.* 2023;27(1):22–35.

