

## **Inteligencia Artificial en la identificación de factores de riesgo biomecánicos**

### **Artificial Intelligence in the identification of biomechanical risk factors**

#### **Santiago Carvajal Moscoso**

Estudiante del semillero Creavinci. Fundación Universitaria Compensar.

[scarvajalm@ucompensar.edu.co](mailto:scarvajalm@ucompensar.edu.co), Avenida 68 No. 68B – 10, Bogotá, Colombia.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8366-928x>

#### **Julie Herrera Cordón**

Estudiante del semillero IGPI. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

CCAV Zipaquirá. [jherreracor@unadvirtual.edu.co](mailto:jherreracor@unadvirtual.edu.co), Cra. 16 #4a-103, Zipaquirá,

Cundinamarca, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3212-8095>

#### **Edwin Sneider Diaz Sánchez**

Estudiante del semillero INVZING. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

CCAV Zipaquirá. [esdiazsa@unadvirtual.edu.co](mailto:esdiazsa@unadvirtual.edu.co), Cra. 16 #4a-103, Zipaquirá,

Cundinamarca, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0708-8000>

### **Objetivo de la investigación**

Analizar el uso de las aplicaciones de la inteligencia artificial en la identificación de factores de riesgo biomecánicos.

### **Proyecto de investigación**

Sistema para la prevención de lesiones en entornos laborales y deportivos: aplicación de IA, modelos biomecánicos y análisis de patrones de movimiento.

### **Descripción del contexto**

A lo largo de los últimos años, la Inteligencia Artificial (IA) ha transformado de forma sustancial el análisis de datos impactando de forma positiva el tejido social global, las comunidades e incluso en las economías, al incorporar en este último, en los lugares de trabajo,

la automatización de procesos que complementa las acciones del trabajador o automatiza las funciones de gestión (OIT/Cinterfor Notas, 2023). Situaciones como lo experimentado a partir de la crisis pandémica del Covid-19, ha catalizado esta tendencia favoreciendo proyectos de automatización y digitalización (Tropiano y Noguera, 2024).

Por otra parte, los riesgos biomecánicos (RBM) (Marín Castro et al., 2021) vinculan a todas las acciones dentro de los espacios laborales que puede desencadenar en desordenes musculoesqueléticos (TME) y riesgos ergonómicos (Daza Arana, 2022) afines a la actividad laboral, que circunscriben “una gran cantidad de condiciones inflamatorias y degenerativas dolorosas que afectan los músculos, tendones, ligamentos, articulaciones, nervios y vasos sanguíneos” (Márquez Gómez y Márquez Robledo, 2016, pág. 68).

Paralelo a estos contextos, las oficinas de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) definen estrategias en cuanto a la capacitación, la gestión y el control que mitigan el desarrollo de faenas no saludables, el no cumplimiento de la norma contractual en el desempeño laboral y las posibles infracciones en el lugar de trabajo a los fines de proporcionar ecosistemas con salud laboral para todos los trabajadores.

Es entonces cuando a partir de estas realidades, la IA se ha articulado con un alto potencial al permitir el desarrollo de estrategias en la optimización y mejora de la salud y la seguridad en el trabajo, trazando ambientes de trabajo seguros y saludables como un derecho fundamental de los trabajadores, ganando terrenos como táctica sanitaria de transformación digital (Organización Panamericana de la Salud, 2021).

## **Revisión de la literatura**

### **Inteligencia Artificial**

Desde siempre, la inteligencia artificial como subárea de la informática ha vinculado el desarrollo de sistemas de información autónomos emulando a la inteligencia humana. Algunos tipos de inteligencia artificial conocidas son el Machine Learning, conocido como Aprendizaje Autónomo y el Deep Learning, conocido como Aprendizaje Profundo. En adición a lo anterior, para Tropiano y Noguera (2024) la inteligencia artificial

[...] es un conjunto de sistemas informáticos que busca sustituir la función cognitiva del ser humano, imitando su pensamiento y comportamiento, a través de máquinas, procesadores, softwares, cuyo objetivo va dirigido a crear máquinas y sistemas inteligentes (pág. 253).

Asimismo, existen otras definiciones que ubican a la IA como una ciencia interdisciplinaria que habilita la construcción de máquinas con autonomía capaces de desarrollar actividades propias de los seres humanos, por tanto, los objetivos de la IA se vinculan al desarrollo de sistemas expertos, inteligencia humana en sistemas mecanizados, entre otros (IBV, 2021). Partiendo de lo anterior, es posible inferir que la IA abarca una amplia gama de soluciones y direcciones no solo al desarrollo de sistemas sino también de otorgar inteligencia a las máquinas para desarrollar tareas humanas.

### **Riesgos biomecánicos**

Los riesgos biomecánicos, son conexos al esfuerzo físico que pueden estar presente o no en las faenas laborales causando daños al cuerpo humano, con mayor énfasis, al sistema musculoesquelético (OMS, 2010) debido a las posturas a través de las cuales se ejecuta el trabajo. Para Marín Castro et al., (2021), los riesgos biomecánicos

[...] se deriva de diversos factores determinados por las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo una actividad laboral, como la postura que se adopta (postura mantenida, postura forzada, postura prolongada y postura anti gravitacional), la exigencia de movimientos repetitivos (miembros superiores) o el requerimiento del uso de la fuerza (manipulación manual de carga, halar, empujar y esfuerzo). El RBM incrementa en la medida en que el esfuerzo físico es más intenso y tiene mayor duración durante la jornada laboral sin posibilidad de pausas para recuperación (pág. 237).

Por otro lado, estos riesgos se encuentran también asociados a factores relacionados con la “[...] aplicación de movimiento repetitivos, fuerzas y posturas que adopta un individuo al realizar una actividad específica” (Cataño-González et al., 2023, pág. 283), que pueden a través de diversas tecnologías, incluyendo la automatización, optimizar la eficiencia del trabajador (ILO, 2019).

## **Metodología**

El presente estudio se radicó en el paradigma cualitativo que se enfoca en la comprensión de fenómenos sociales, humanos y culturales. Para Cook y Reichardt (2000), este paradigma distingue la vida social como una realidad objetiva, cambiante, mudable y dinámica, asimismo, “[...] incluye también un supuesto acerca de la importancia de comprender situaciones desde la perspectiva de los participantes en cada situación” (pág. 63). Por otra parte, esgrimen Taylor et al., (1987) que existen en el paradigma cualitativo varias metodologías, las cuales incluye el positivismo y la fenomenología.

Por otra parte, la investigación fue de tipo documental ya que estuvo sujeta a la recolección de información acerca del fenómeno de estudio, analizando, por tanto, los resultados posteriores a la búsqueda, concatenando un carácter documental muy alto (Muñoz Razo y Benassini Félix, 1998). En adición, el enfoque metodológico empleado fue la hermenéutica, cuya perspectiva interpretativa pretende indagar las diferentes realidades de los fenómenos de estudio, es decir, “[...] descubrir los significados de las cosas, interpretar lo mejor posible las palabras, los escritos, los textos y los gestos, así como cualquier acto u obra” (Hurtado León y Toro Garrido, 2007, pág. 121).

Como parte de lo anterior expuesto, para la recolección de información se dio lugar la búsqueda de información acerca del fenómeno de estudio, donde fueron consultadas 73 fuentes fidedignas de información, entre las cuales se encuentran, revistas científicas, libros resultados de investigaciones, diarios de índole nacional e internacional, sitio web de organizaciones multilaterales y notas digitales, con el propósito de responder al objetivo del estudio.

Finalmente, a partir de esta búsqueda, análisis y recolección de información se logró concertar un total de 16 escritos de acuerdo con la idoneidad de la presente investigación.

## **Hallazgos**

Con el transcurrir del tiempo, los avances tecnológicos han brindado facilidad en diversas actividades del día a día y ha transformado diversas industrias. Para tener mejor comprensión en los avances tecnológicos enfocados en la seguridad industrial, Li et al., (2024) analizaron 296 estudios entre el periodo 2014 -2024, donde por medio del aprendizaje profundo ha mejorado la seguridad, eficiencia y monitoreo de las infraestructuras en la ingeniería de la construcción.

El aprendizaje profundo en la ingeniería de la construcción deja de ser una tecnología experimental para convertirse en el aliado predilecto para la seguridad industrial, combinando varios factores y herramientas que llevan a mitigar accidentes y/o lesiones dentro del ambiente laboral. La evolución en los algoritmos obtenidos entre el 2014 al 2024 con el dominio de modelos de redes neuronales convolucionales y redes neuronales recurrentes facilitó la detección temprana de grietas y fallas estructurales, así mismo, la creación de modelos para inspección de seguridad en el sitio de trabajo, la detección de caídas, el reconocimiento del uso de equipos de protección, entre otros. También el desarrollo de tecnologías innovadoras para monitorear, predecir y mitigar los riesgos biomecánicos a los que están expuestos los trabajadores con sistemas de monitoreo que no solo validan los movimientos repetitivos que hay en el proceso, sino que llegan a realizar la clasificación y alerta de posturas de riesgo y cargas excesivas.

Si bien el desarrollo de esta tecnología le aporta avances en la seguridad industrial (Anacleto Filho et al., 2024), también puede presentar una serie de desafíos técnicos y económicos para la implementación en la industria, como los elevados costos que pueden tener los modelos y su implementación, la recolección de datos en gran masa para su análisis, la integración con los modelos existentes entre otros.

Desde otra perspectiva, la ergonomía en las actividades realizadas en el día a día se ha vuelto un reto, aunque en la evolución de las diferentes industrias este tema ha recibido la importancia requerida, en actividades fuera del horario laboral, no ocurre lo mismo. El entrenamiento personal puede ser monitoreado constantemente por medio de tecnologías actuales, permitiendo la recolección de datos en diferentes aspectos de la salud; sin embargo, estos sistemas presentan limitaciones en algunas funciones, procesamiento de datos, conexiones entre dispositivos, entre otros.

Con el fin de mitigar las brechas que puede haber entre la recolección de los datos y los análisis (Jijie et al., 2024), se realiza el estudio con el modelo ResNet-TransFit (Redes Neuronales Convolucionales y Transformers) junto con el aprendizaje por transferencia para mejor adaptabilidad a nuevos datos. Este modelo obtuvo estadísticas como precisión del 93,7%, con una latencia de 48,5 ms y un rendimiento de 29,1 fps, superando así los resultados obtenidos con otros modelos.

Gracias a la integración de la visión artificial, el aprendizaje automático y los dispositivos de inteligencia, los resultados obtenidos en la investigación son favorables para la detección y corrección de posturas que ponen en riesgo el bienestar del sujeto, proporcionando información inmediata para evitar malas posturas, ajustar rutinas dependiendo de las necesidades del sujeto, entre otros beneficios.

Este modelo no solo está diseñado para actividades fitness, por el contrario, puede representar una revolución industrial gracias a sus beneficios en la ergonomía personal se puede implementar en fábricas de producción, mejorando las posturas de los trabajadores y reduciendo los costos por lesiones musculoesqueléticas. También es útil en rehabilitación y fisioterapia, permitiendo controlar los movimientos realizados en las terapias y llevar un registro de estas para obtener mejores resultados.

Por otra parte, en la industria manufacturera, la parte operativa puede representar más del 60% de los costos, lo cual es bastante significativo como para no prestar atención a las lesiones que los trabajadores de esta área pueden sufrir. De hecho, el 60% de las enfermedades ocupacionales corresponden a trastornos musculoesqueléticos provocados por movimientos repetitivos y posturas inadecuadas durante la jornada laboral. En la industria textil, donde las actividades de corte, costura y ensamblaje suelen ser repetitivas durante la jornada laboral, aumentan los factores de riesgo que pueden causar lesiones. Por ello, se sugiere implementar un sistema de prevención basado en aprendizaje automático para reducir hasta en un 25% las enfermedades ocupacionales.

El estudio sobre la prevención proactiva de trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo, Matos et al., (2024) propone un método basado en la captura de movimiento y el aprendizaje automático de series temporales. Este método incluye el uso de imágenes de alta precisión, un modelo de predicción de series temporales y un sistema de evaluación de riesgos fundamentado en normas internacionales. El estudio se realizó implementando cuatro métodos diferentes en 12 trabajadores de la industria textil, enfocándose en los movimientos de abducción, rotación y flexión de la extremidad superior izquierda. Posterior al análisis de los resultados que se obtuvieron con los diferentes modelos, se determina que la mejor opción para la prevención es el modelo SVM con una precisión del 98.19% en la detección temprana de riesgo con 0.1 s de anticipación.

En conjunto con la detección temprana, se obtiene la clasificación de los movimientos de alto riesgo según normas internacionales de ergonomía como RULA e ISO 11226. Cuando se detecta una postura incorrecta, el sistema emite una alerta sonora o activa un exoesqueleto, reduciendo factores de riesgo en ergonomía industrial, seguridad y salud en el trabajo, así como costos operacionales y médicos. A futuro, se plantea realizar el estudio con exoesqueletos inteligentes y aplicarlo en otros sectores industriales, con el fin de obtener un análisis más amplio.

Para Martins et al., (2024) y Occupational Health & Safety (2020), las principales causas de las lesiones musculoesqueléticas en los horarios laborales se presentan principalmente por acciones requeridas por la operación, como labores repetitivas, levantamiento de materiales, empujar, tirar, sujetar, cargar, agacharse o torcerse, por lo cual, mediante una serie de pruebas se busca un modelo para el reconocimiento de la postura basados en sensores inerciales.

A manera de mitigar el riesgo en las industrias, la investigación sugiere el monitoreo de forma precisa las actividades que realizan los trabajadores, para lo cual los sensores inerciales ofrecen una solución más favorable con respecto a otros modelos. La obtención de datos para el estudio se realizó con la participación de 16 sujetos con un conjunto de datos de 10 horas y 40 minutos; a cada sujeto se le instaló 17 IMU (Unidad de Medida Inercial) en la cabeza, tronco y en las extremidades, aunque la clasificación de la postura se realizó con 7 IMU y se simuló actividades realizada en la industria de agricultura y construcción.

La información recolectada se analizó por 5 arquitecturas de red neuronal, 3 de régimen simple y 2 en fusión, obteniendo como puntuación F1 en validación de 92,45% hasta 95,39%, teniendo el CNN-Transformer como la arquitectura de mayor porcentaje y permitiendo así su implementación en tiempo real, mostrando que los modelos híbridos obtienen resultados más precisos y favorables que las individuales.

## **Conclusiones**

El actuar del ser humano se radica como un factor significativo que puede desencadenar en accidentes o lesiones dentro del ambiente de trabajo, en contraste, la conducta del empleador debe considerar fehacientemente un ambiente de trabajo adecuado y garantizar la seguridad de los trabajadores. Paralelo a estos hechos, los trastornos musculoesqueléticos (TME) generan

altos costos e impactos en la calidad de vida y la salud humana producto de las formas en las que el cuerpo se mueve y se posiciona durante el desarrollo de un ejercicio laboral que puede desatar lesiones tales como lumbalgias, tendinitis, lesiones de hombro, codos y muñecas, entre otros.

A partir de estas premisas, el empleador debe poner en práctica procedimientos para reconocer los peligros y evaluar los riesgos circunscritos dentro de la seguridad y la salud en el entorno de trabajo, advirtiendo incluso, violaciones de las leyes laborales y suscitando con ello buenas prácticas que fomenten condiciones laborales más saludables y conformes a la normativa contractual que versa sobre el tema.

Simultáneamente a este punto, la pandemia del Covid-19 ha catalizado ingentes cantidades de proyectos relacionados con la automatización de procesos y la digitalización de ecosistemas laborales, entre otros, donde se han estructurado sistematizaciones encaminadas a dar solución a situaciones eventuales de riesgo y/o comportamientos inapropiados por parte del trabajador durante su faena. Estas soluciones, residen en la implementación de modelos que evaluar la conducta y buenas prácticas del empleado en sus espacios de trabajo para de esta forma mitigar los factores de riesgo laboral del mismo.

Como resultado, la Inteligencia Artificial se ha convertido en una estrategia empresarial que coadyuba para alcanzar una gestión impecable en relación con la seguridad y salud laboral, diseminada a partir de sistematizaciones para identificar, analizar y reaccionar ante posibles situaciones de riesgo del empleado logrando con ello un ejercicio fiscalizador eficaz, eficiente, efectivo y pertinente.

Finalmente, la Inteligencia Artificial incluso ha servido para la automatización de tareas de alto riesgo, así como también, la capacitación basada en simulación de entornos laborales peligrosos conocidos como prevención teórica de riesgo laborales y prevención práctica de riesgos laborales, habilitando espacios seguros y equilibrados con respecto a la probabilidad de daños del trabajador.

## **Agradecimientos**

A La Dirección de Investigación Nacional de La Fundación Universitaria Compensar. Este capítulo es resultado de un proyecto de investigación intitulado “Sistema para la prevención



de lesiones en entornos laborales y deportivos: aplicación de IA, modelos biomecánicos y análisis de patrones de movimiento” que se encuentra ya finalizado.

### **Fuentes de financiamiento**

La institución financiadora es Fundación Universitaria Compensar.

### **Conflictos de interés**

Los autores declaran expresamente no tener intereses en conflicto para el desarrollo de este producto resultado de investigación.

### **Referencias**

- Anacleto Filho, P. C., Colim, A. J., Lopes, S. I., & Carneiro, P. (2024). Digital and Virtual Technologies for Work-Related Biomechanical Risk Assessment: A Scoping Review. *Safety*, 10(3). doi:<https://doi.org/10.3390/safety10030079>
- Cataño-González, A., Viadero-Rosario, L., Borré-Ortiz, Y., & Molina-Romero, J. (2023). Riesgo biomecánico y trastornos musculoesqueléticos en instrumentadores quirúrgicos que laboran en centrales de esterilización. *Duazary*, 20(4), 283-289. doi:<https://doi.org/10.21676/2389783X.5152>
- Cook, T., & Reichardt, C. (2000). *Métodos cualitativos y cuantitativos en investigación evaluativa*. Costa Rica: Morata.
- Daza Arana, B. (2022). *Diseño del programa de vigilancia epidemiológica para la prevención de síndromes dolorosos asociados a riesgos ergonómicos en la empresa Agrojabá S.A.S en el municipio de Palmira, Colombia. (Tesis de maestría)*. México. Obtenido de <https://repositorio.unini.edu.mx/id/eprint/818/>
- Hurtado León, I., & Toro Garrido, J. (2007). *Paradigmas Y Metodos de Investigacion en Tiempos de Cambios*. Caracas, Venezuela: Los libros de El Nacional.
- IBV. (12 de 2021). *Instituto de Biomédica de Valencia*. Recuperado el 19 de 04 de 2025, de Análisis de las técnicas de IA aplicadas a la modelización biomecánica: [https://www.ibv.org/wp-content/uploads/2021/12/BIOMECAIA\\_E4.pdf](https://www.ibv.org/wp-content/uploads/2021/12/BIOMECAIA_E4.pdf)

- ILO. (2019). *Safety and health at the heart of the future of work: Building on 100 years of experience*. Ginebra: International Labour Organization.
- Jijie, L., Ruyao, G., & Gang, W. (2024). Enhancing fitness action recognition with ResNet-TransFit: Integrating IoT and deep learning techniques for real-time monitoring. *Alexandria Engineering Journal*, 109, 89-101.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.07.068>
- Li, Q., Yang, Y., Yao, G., Wei, F., Li, R., Zhu, M., & Hou, H. (2024). Classification and application of deep learning in construction engineering and management – A systematic literature review and future innovations. *Case Studies in Construction Materials*, 21.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e04051>
- Marín Castro, M., Useche Cubides, H., & Monroy Silva, M. (2021). Aplicación de métodos de evaluación de riesgo biomecánico en el contexto empresarial: Una revisión de la literatura. En E. S. (Editor), *Desarrollo e Innovación en Ingeniería* (págs. 236-250). Medellín, Colombia: Editorial Instituto Antioqueño de Investigación. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Edgar-Serna-M/publication/357884649\\_Desarrollo\\_e\\_innovacion\\_en\\_ingenieria\\_Vol\\_II/links/61e57b555779d35951b5466d/Desarrollo-e-innovacion-en-ingenieria-Vol-II.pdf#page=236](https://www.researchgate.net/profile/Edgar-Serna-M/publication/357884649_Desarrollo_e_innovacion_en_ingenieria_Vol_II/links/61e57b555779d35951b5466d/Desarrollo-e-innovacion-en-ingenieria-Vol-II.pdf#page=236)
- Márquez Gómez, M., & Márquez Robledo, M. (2016). Factores de riesgo relevantes vinculados a molestias musculoesqueléticas en trabajadores industriales. *Salud trab*, 24(2), 67-77.  
Obtenido de <https://ve.scielo.org/pdf/st/v24n2/art02.pdf>
- Martins, D., Cerqueira, S., & Santos, C. (2024). Seeking optimal and explainable deep learning models for inertial-based posture recognition. *Knowledge-Based Systems*, 306.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.knosys.2024.112700>
- Matos, L., Dias, P., Matta, A., Machado, D., Sampaio, R., Pilastri, A., & Cortez, P. (2024). Proactive prevention of work-related musculoskeletal disorders using a motion capture system and time series machine learning. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 138. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.109353>

Muñoz Razo, C., & Benassini Félix, M. (1998). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. Estados Unidos: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.

Occupational Health & Safety. (13 de 02 de 2020). *The Relationship between MSDs and the Workplace*. Obtenido de <https://ohsonline.com/articles/2020/02/13/the-relationship-between-msds-and-the-workplace.aspx>

OIT/Cinterfor Notas. (2023). *Inteligencia artificial y gestión de talento humano: Avances y desafíos\**. OIT/Cinterfor Notas. Recuperado el 18 de 04 de 2025, de [https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file\\_publicacion/Nota%2017%20IA\\_GH\\_Cinterfor\\_0.pdf](https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file_publicacion/Nota%2017%20IA_GH_Cinterfor_0.pdf)

OMS. (2010). *Entornos laborales saludables: fundamentos y modelo de la OMS: contextualización, prácticas y literatura de apoyo*. Organización Mundial de la Salud.

Organización Panamericana de la Salud. (2021). *Ocho principios rectores de la transformación digital del sector de la salud. Un llamado a la acción panamericana. (OPS/EIH/IS/21-0004)*. Organización Panamericana de la Salud. Recuperado el 18 de 04 de 2025, de <https://iris.paho.org/handle/10665.2/53730>

Taylor, S., Taylor, S., Bogdan, R., & Piatigorsky, J. (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación: la búsqueda de significados*. Argentina: Paidós.

Tropiano, Y., & Noguera, A. (2024). La inteligencia artificial en la prevención de la seguridad y salud laboral en América. *Revista Internacional y Comparada de relaciones laborales y derecho del empleo*, 12(1).