



Mónica Andrea
Camargo Salinas
**Administradora
ambiental**
*Magíster en Salud
Ocupacional y Ambiental*



Nasli Yuceti
Miranda Arandía
Ingeniera industrial
*Especialista en Higiene
y Salud Ocupacional /
Magíster en Sistemas
Integrados de Gestión*

Modelo semiautomatizado para la identificación del nivel de riesgo biomecánico aplicando tecnologías 4.0 bajo la metodología 'Checklist OCRA'



El riesgo biomecánico contribuye significativamente a la carga global de desarrollo de enfermedades laborales (Driscoll, 2018). Dentro de las consecuencias derivadas de la exposición a este riesgo, los trastornos musculoesqueléticos (TME) se convierten en una de las de mayor predominancia, ya que abarcan más de 150 tipos de trastornos que pueden afectar el sistema locomotor humano. Además, ocasionan un aumento en los índices de ausentismo laboral, debido a dolencias y/o molestias osteomusculares, que generan pérdida y limitación en sus capacidades funcionales, lo que afecta el desempeño y la productividad laboral (Organización Mundial de la Salud-OMS, 2021).

Los trabajos en donde hay presencia de actividades y tareas repetitivas pueden materializar este riesgo ya que se trata de labores

con ciclos recurrentes donde se realizan las mismas acciones durante más del 50 % del tiempo laboral (ISO, 2014) o en las que la duración del ciclo en las que se ejecutan es inferior a 30 segundos (ISO, 2007). Debido a ello, aproximadamente el 20 % del dolor lumbar y cervical en adultos se atribuye a la exposición laboral (OMS, 2018), lo que resalta la importancia de continuar con la investigación, innovación y desarrollo tecnológico en esta área.

Por ende, la evaluación del riesgo biomecánico hace parte de las estrategias de la gestión de riesgos en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo y permite la toma de decisiones de manera oportuna en términos de prevención de accidentalidad y enfermedad laboral (Ayres, et al, 2018). Dentro de estos procesos de evaluación, los métodos tradicionales, como OCRA, RULA, REBA, OWAS, entre otros, demandan tiempo y experiencia por parte del evaluador e implican, en algunos casos, sesgos asociados al criterio del observador (Aqueveque, et al, 2023).

Por su parte, la tecnología ha impulsado un crecimiento exponencial de herramientas digitales para evaluar riesgos en los entornos laborales. Sin embargo, según Poddar et al.

(2024), existe una notable brecha entre la investigación en ciencia de datos y su implementación en el sector salud donde apenas el 10 % de estas herramientas se utilizan en entornos reales. En la mayoría de los casos, las tecnologías se limitan a entornos de investigación en laboratorio y existen grandes limitaciones en el acceso a códigos y datos (Celi, et al, 2019) lo que obstaculiza su adopción por parte de muchas empresas.

Para impulsar el desarrollo de soluciones tecnológicas innovadoras que respondan a los desafíos del país, es crucial fomentar una estrecha colaboración entre el sector empresarial y la academia, que contribuya a la prevención de riesgos laborales, la promoción de la salud ocupacional y el cumplimiento de las normativas vigentes en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Metodología

En una colaboración interdisciplinaria entre docentes investigadores y estudiantes de la Maestría en Gerencia de la Calidad y la Especialización en Seguridad y Salud en el Trabajo, así como del pregrado en Ingeniería Industrial, de la Universidad de América, se llevó a cabo un estudio descriptivo de corte trans-

versal que combina investigación aplicada y experimental. A través de este estudio, se desarrolló un modelo semiautomatizado para la evaluación del riesgo biomecánico en miembros superiores de trabajadores del sector farmacéutico, de una empresa transnacional de origen colombiano, en su planta ubicada en Sopó (Cundinamarca).

El proyecto inició con el análisis de las metodologías de evaluación de riesgos biomecánicos disponibles y validadas, a través de la indagación documental de fuentes secundarias como estudios previos, artículos de investigación y libros, con el fin de seleccionar la metodología que se pudiera adaptar a las actividades de acondicionamiento y producción de la empresa farmacéutica objeto de estudio. Como resultado de este proceso, se seleccionó la metodología 'Checklist OCRA' debido a su énfasis en evaluar el riesgo en las extremidades superiores frente a la presencia de movimientos repetitivos en la actividad.

Posteriormente, se desarrollaron tres fases, presentadas en la figura 1., para lograr el desarrollo del modelo que semiautomatiza la metodología 'Checklist OCRA'.

Figura 1. Fases del proceso metodológico



Fuente: elaboración propia.

En la primera fase denominada Parametrización de variables se procedió a evaluar el nivel de automatización de los seis factores de medición constituyentes de esta metodología, que se presentan en la figura 2, con el fin de parametrizar las variables para su detección automática. Al examinar cada parámetro, se concluyó que algunos de estos requieren el ingreso manual de datos, mientras que otros pueden medirse utilizando herramientas basadas en visión por computadora, lo que dio como resultado un modelo semiautomático, concluyendo que cuatro de los seis factores se parametrizan para la detección automática de su valor y los dos restantes requerirán la entrada manual de datos organizacionales de la actividad. Las condiciones de entrada para el modelo se presentan en la figura 2.



En la fase 2 se desarrolló el modelo basado en redes neuronales convolucionales (CNN) en donde se califican numéricamente las condiciones de la tarea, permitiendo la estimación del índice de riesgo, para la detección en tiempo real de las posturas adoptadas en los miembros corporales superiores. Se emplearon dos modelos basados en redes neuronales convolucionales (CNN) para clasificar imágenes y reconocer objetos: 'MediaPipe Pose'

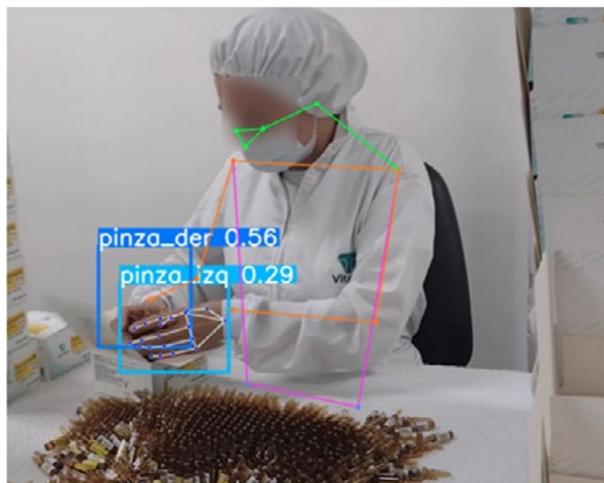
modelo desarrollado por Google que facilita la detección y el seguimiento en tiempo real de las 21 articulaciones de cada mano y 'YOLO', sistema de código abierto para detección de objetos en tiempo real. Este último, ha sido entrenado con mil imágenes seleccionadas de un conjunto de datos filmográficos y fotográficos capturados a una velocidad de 30 fotogramas por segundo, etiquetadas con la herramienta de código abierto 'Label

Studio' que permite el etiquetado y anotación de tipos de datos como audio, texto, imágenes y videos.

De esta forma, el modelo permitió obtener las coordenadas 3D de las articulaciones de hombros, codos y manos. Así mismo, facilitó el reentrenamiento de un nuevo modelo llamado por los investigadores 'YOLO-GRIPS', el cual identifica los tipos de agarre abordados en la metodología 'Checklist OCRA' (gancho, presa palmar y pinza), para permitir la identificación como se muestra en la imagen 1, junto con la identificación de articulaciones de las manos, brazos, antebrazos y hombros.

Una vez entrenado el modelo 'YOLO-GRIPS', se procedió a su evaluación utilizando el sensor 'Kinect Azure' de Microsoft en las áreas de acondicionamiento y producción de la empresa farmacéutica, específicamente en las actividades de empaque de ampollitas y viales. La evaluación reveló un nivel de precisión de 0,804 en el área bajo la curva, tanto para la mano derecha como para la izquierda.

Imagen 1. Identificación de tipo de agarre y articulaciones de las manos y miembros superiores mediante algoritmos IA



Fuente: elaboración propia

Entrenado el modelo se procedió con la parametrización de la metodología 'Checklist OCRA' como sistema informático. La validación del modelo se llevó a cabo mediante pruebas piloto

con 43 trabajadores participantes y comparación con evaluaciones realizadas por expertos, confirmando así la fiabilidad de los resultados, fase que aún se encuentra en desarrollo.

La fase 3 corresponde al diseño de la interfaz, en editor de código fuente, 'Visual Studio Code' para permitir el contacto con el usuario evaluado. En la figura 3, se identifica la interfaz del prototipo del *software*.

Figura 3. Fases del proceso metodológico

Fuente: elaboración propia.

Resultados

Como resultado de este proyecto de investigación, se diseñó un modelo semiautomatizado para la aplicación de la metodología 'Checklist OCRA' que permite evaluar el nivel de riesgo biomecánico en miembros superiores, basado en algoritmos de visión por computadora. A través de la evaluación de diferentes modelos de detección de articulaciones de miembros superiores, se optó por la elección del modelo 'YOLO Pose' —como fue denominado por los investigadores— ya que evidenció adecuado desempeño en la precisión en la detección de articulaciones, con una tasa de identificación del 90 % frente al 75 % respecto al modelo 'MediaPipe Pose' también evaluado.

El modelo continúa en proceso de validación para asegurar su confiabilidad. La evaluación constante permitirá adaptar y optimizar el sistema a las necesidades y condiciones cam-


La tecnología ha impulsado un crecimiento exponencial de herramientas digitales para evaluar riesgos en los entornos laborales".

biantes de la industria farmacéutica, así como su inclusión y aplicación en otras industrias. Así mismo, el desarrollo y prueba de la interfaz también se encuentran en proceso.

Conclusiones

Como conclusión del proyecto de investigación presentado en este artículo, se logró el desarrollo de un modelo semiautomatizado para el proceso de identificación del nivel de riesgo biomecánico, a través de la aplicación de la metodología 'Checklist OCRA'. Así, mediante el uso de un sensor de video 'Kinect' se capturarán los datos visuales de trabajadores durante la ejecución de tareas rutinarias, para que, a través de algoritmos de visión por computadora, el modelo traduzca la captura de los videos en identificación de las variables evaluadas en la metodología, logrando

cuantificar el índice de riesgo bio-mecánico.

Este desarrollo que se enfoca en la evaluación de actividades con presencia de movimientos repetitivos de miembros superiores, sienta las bases para la creación de modelos más versátiles, capaces de evaluar una amplia gama de actividades laborales. Además, facilita la adopción de tecnologías innovadoras por parte de las empresas colombianas. Muestra, de esta manera, la importancia de la sinergia entre la industria y la academia, así como la implementación de tecnologías 4.0 en los procesos de gestión de riesgos. 



Referencias

- Aqueveque, P., Peña, G., Gutiérrez, M., Gómez, B., Alemania, E., Retamal, G., & Ortega-Bastidas, P. (2023).** Utilización de sistemas de captura de movimiento para instrumentar el índice OCRA: un estudio sobre la clasificación de riesgos para las actividades relacionadas con el trabajo de las extremidades superiores. *Sensores*, 23(17), 7623.
- Ayres, JR, Paiva, V. y Franca, I. (2018).** De la historia natural de la enfermedad a la vulnerabilidad. Conceptos y prácticas en transformación en la salud pública contemporánea. V. Paiva, JR Ayres, A. Capriati, A. Amuchástegui, M. Pecheny (ed.), *Prevención, Promoción y Atención. Enfoques de vulnerabilidad y derechos humanos*, 35-64.
- Celi, LA, Citi, L., Ghassemi, M., y Pollard, TJ (2019).** La colección PLOS ONE sobre aprendizaje automático en salud y biomedicina: hacia el código abierto y los datos abiertos. *PLoS one*, 14 (1), e0210232.
- Driscoll, T. (2018).** La carga global de enfermedades derivadas de exposiciones ocupacionales en 2016 en *Medicina ocupacional y ambiental*, 75 (suplemento 2): A1-A650.
- Camargo-Salinas, MC, Miranda N., Suárez-Pérez J.F. (2024).** Estado del arte en evaluación de métodos de detección automatizada de riesgo ergonómico en entornos de trabajo industrial.
- ISO/TR 12295:2014** Ergonomía. Documento de aplicación de normas internacionales sobre manipulación manual (ISO 11228-1, ISO 11228-2 e ISO 11228-3) y evaluación de posturas de trabajo estáticas (ISO 11226).
- ISO 11228-3:2007.** Ergonomía. Manipulación manual. Parte 3: manipulación de cargas bajas a alta frecuencia.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018).** Prevención de enfermedades mediante un lugar de trabajo saludable y seguro (Ginebra).
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021).** Centro de Prensa. Trastornos musculoesqueléticos. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>
- Poddar, M., Marwaha, J. S., Yuan, W., Romero-Brufau, S., & Brat, G. A. (2024).** An operational guide to translational clinical machine learning in academic medical centers. *NPJ Digital Medicine*, 7(1), 129.
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R. y Farhadi, A. (2016).** Solo miras una vez: detección de objetos unificada y en tiempo real. En: actas de la conferencia IEEE sobre visión por computadora y reconocimiento de patrones (p. 779-788).

Equipo investigador	
Docentes	Estudiantes
Mónica Andrea Camargo Salinas	Luna Kamila Pérez
Nasli Miranda Arandia	Gustavo Duarte Castro
John Fredy Suárez P.	Daniel Santiago Calderón
	Carolina Polo