

Artículo de Revisión

Uso de la realidad mixta en la ergonomía: una revisión exploratoria

Use of mixed reality in ergonomics: an exploratory review

Luis Andres Arcos Montoya

Recibido: 5 julio 2024

Aceptado: 12 febrero 2025

Publicado: 17 agosto 2025

Resumen

Introducción: El alcance del uso de la realidad mixta (RM) como herramienta para la ergonomía es amplio y prometedor, con potencial de revolucionar la forma en que predecimos y mejoramos las condiciones ergonómicas en diversos lugares de trabajo.

Objetivo: Examinar el estado actual del uso de la RM como herramienta predictiva para la ergonomía en entornos laborales.

Métodos: Se realizó una revisión exploratoria siguiendo las directrices PRISMA-ScR, consultando bases de datos como Scopus, Science Direct, Medline y otras. Se incluyeron estudios que abordan la interacción de trabajadores con su entorno laboral a través de RM.

Resultados: Se seleccionaron 16 estudios relevantes de un total de 2,575 búsquedas iniciales. La RM se utiliza predominantemente en capacitación, operaciones de montaje y asistencia remota, con menos del 10% de los estudios enfocándose directamente en la ergonomía.

Conclusiones: La RM tiene el potencial de mejorar significativamente la ergonomía en los puestos de trabajo, aumentando la seguridad, productividad y bienestar de los trabajadores, aunque aún existen desafíos técnicos y de implementación que deben ser abordados.

Abstract

Introduction: The scope of using mixed reality (MR) as a predictive tool for ergonomics is broad and promising, with the potential to revolutionize how we predict and improve ergonomic conditions in various workplaces.

Objective: To examine the current state of MR as a predictive tool for ergonomics in workplace environments.

Methods: An exploratory review was conducted following PRISMA-ScR guidelines consulting databases such as Scopus, Science Direct, Medline, and others. Studies addressing the interaction of workers with their work environment through MR were included.

Results: Sixteen relevant studies were selected from 2,575 initial searches. MR is predominantly used in training, assembly operations, and remote assistance, with less than 10% of the studies focusing on ergonomics.

Conclusions: MR has the potential to significantly improve workplace ergonomics by enhancing worker safety, productivity, and well-being. However, technical and implementation challenges still need to be addressed.

Palabras clave: realidad mixta, ergonomía, herramienta, interacción, trabajadores, capacitación, operaciones de montaje, asistencia remota, entornos laborales, estaciones de trabajo

Key words: mixed reality, ergonomics, ergonomics, tool, interaction, workers, training, assembly operations, remote assistance, workplace environments, workstations

¹ Colgate Palmolive, Cali, Colombia

² Doctorado en Ergonomía, Universidad del Valle, Cali, Colombia

Autor de correspondencia: Luis Andres Arcos Montoya. Correo: Luis.arcos@correounivalle.edu.co, luis_arcos@colpal.com

Introducción

La realidad mixta (RM) es una tecnología que tiene el potencial de revolucionar la manera en que predécimos y mejoramos las condiciones ergonómicas en diversos lugares de trabajo. El sistema RM típico incluye dispositivo de visualización/captura, dispositivo de interacción y sistema de seguimiento.^{1,2} Al combinar tecnologías de realidad virtual y aumentada, la RM brinda una experiencia inmersiva e interactiva, permitiendo a los usuarios simular y visualizar escenarios ergonómicos en tiempo real. Resulta especialmente útil en el diseño y optimización de estaciones de trabajo, donde la ergonomía es crucial para prevenir lesiones y mejorar productividad.³

El objetivo de esta revisión exploratoria es examinar el estado actual de la evidencia sobre el uso de la RM en la interacción de trabajadores y sus puestos de trabajo. Se busca identificar aplicaciones actuales, evaluar su efectividad y resaltar áreas para futuras investigaciones.

Partiendo de la pregunta: ¿Cuál es el estado actual de la evidencia sobre el uso de la realidad mixta (RM) como una herramienta de la ergonomía en la interacción de trabajadores y su puesto de trabajo? .

Materiales y métodos

La revisión se realizó siguiendo la metodología JBI para revisiones exploratorias,⁴ basada en el protocolo de Arksey y O'Malley⁵ y los lineamientos PRISMA-ScR.⁶ La pregunta principal fue: ¿Cuál es el estado actual de la evidencia sobre el uso de RM como herramienta en la ergonomía de ambientes laborales?

Criterios de Inclusión y Exclusión

- **Inclusión:** Estudios que evaluaron RM en entornos laborales, publicados entre 2013 y 2023 en español, inglés o portugués.
- **Exclusión:** Estudios teóricos sin metodología clara, otras variantes de realidad extendida y estudios inaccesibles desde las bases consultadas.

Estrategia de búsqueda

Se consultaron bases de datos como Scopus, Science Direct, Medline, Web of Science, IEEE Xplore, Google Scholar y LILACS, usando términos equivalentes en los tres idiomas principales.

Se utilizaron cadenas de búsqueda con operadores booleanos (AND, OR) y términos clave como: ("mixed reality" OR "extended reality") AND ("ergonomics" OR "human factors" OR "workstation design" OR "human-computer interaction" OR "mental workload" OR "physical load"). Se incluyeron también sus equivalentes en español y portugués para ampliar el alcance geográfico.

Proceso de selección

Se identificaron 2,575 estudios; tras eliminar duplicados y aplicar criterios de inclusión/exclusión, se analizaron 16 artículos relevantes.⁶

Resultados

La RM ha aumentado su uso en los últimos años, en las industrias manufacturera, logística, construcción y mantenimiento, principalmente en los países Singapur, Alemania, Italia, EE.UU. y China. No se encontraron estudios en Colombia. Sus aplicaciones más frecuentes han sido la capacitación, operaciones de montaje y asistencia remota, mientras menos del 10% vincula directamente RM y ergonomía.⁷⁻¹⁰

Aplicación en capacitación

RM se empleó para el entrenamiento en entornos híbridos, superponiendo instrucciones, modelos 3D y alertas sobre escenarios reales. Sectores industriales como construcción y trabajos de alto riesgo usaron RM para que operarios practiquen procedimientos complejos sin exponerse a peligros. Las métricas incluyeron reducción de la curva de aprendizaje, mejora en retención de conocimientos y disminución de errores. Los resultados generales fueron reducción significativa en la curva de aprendizaje y mejora en la retención de conocimientos a largo plazo, así mismo la reducción de incidentes potenciales en tareas de alto riesgo al no estar expuestos durante su aprendizaje.^{7-9,11,12}

Operaciones de montaje

La superposición de instrucciones en tiempo real y hologramas de piezas permitió guiar la orientación y el ensamblaje de los trabajadores a través de instrucciones paso a paso, así como hologramas de piezas en su correcta orientación. Los estudios compararon el rendimiento de los trabajadores en RM y en escenario real, y reportaron mejoras en precisión, reducción de errores y calidad final de producto en los que usaron la RM.^{2,7,9,13}

Asistencia remota

RM facilitó que expertos a distancia guíen en tiempo real a operarios locales debido a que podían visualizar el entorno del trabajador en sitio, con anotaciones y diagramas sobre la maquinaria a intervenir o reparar. Se evaluaron los parámetros de las tareas guiadas remotamente de: reducción en tiempos de inactividad de la maquinaria, velocidad y precisión en la resolución de problemas. Esto mejoró la eficiencia general, redujo tiempos de inactividad y mejoró la transferencia de conocimiento.^{7,8,12}

Diseño industrial (Ergonomía de concepción)

Ingenieros y diseñadores usaron RM para interactuar con modelos virtuales de productos y estaciones de trabajo en etapas tempranas del diseño antes de su puesta en marcha, realizando simulaciones para manipular, ensayar y evaluar diferentes parámetros del diseño (alcances, posturas, visibilidad, usabilidad). Compararon la cantidad de modificaciones requeridas en etapas posteriores o en prototipos físicos, así como la facilidad para validar la viabilidad y usabilidad de los diseños antes de su implementación física. Encontrando una optimización del proceso de diseño, permitiendo la corrección de problemas técnicos y ergonómicos de manera ágil y económica, así como diseños más centrados en el usuario y potencialmente más ergonómicos desde su concepción.^{3,10,11,14}

Evaluaciones ergonómicas

La Realidad Mixta (RM), integrada con captura de movimiento y retroalimentación háptica, se utilizó para simular tareas y analizar riesgos ergonómicos, como posturas forzadas y movimientos repetitivos. Se comparó principalmente la capacidad de la RM con los métodos tradicionales para mejorar la precisión alcanzada en la identificación de los niveles de riesgo ergonómico. Se identificó que la RM puede mejorar el realismo de las simulaciones ergonómicas, permitiendo una mejor comprensión de la interacción trabajador-puesto. Sin embargo aún presenta limitaciones en tareas con manipulación de peso y destreza manual fina.^{3,11,14,15,16,17}

Intervención en carga mental

RM se ha usado para optimizar la presentación de información en puestos complejos (operativos y de oficina), buscando reducir la carga mental del usuario. Se han realizado mediciones de indicadores de carga mental (cuestionarios, mediciones fisiológicas), en las tareas realizadas con y sin asistencia de RM. Se encontró en términos generales que el uso de la RM reduce la carga mental mediante datos relevantes y notificaciones adaptativas. Sin embargo, el uso prolongado puede inducir fatiga visual/mental.^{1,2,8,13,17,18,19}

Discusión

La evidencia muestra un impacto positivo de RM en diferentes industrias con las aplicaciones mencionadas previamente capacitación, montaje, asistencia remota. Cuando se evalúa con mayor detalle las aplicaciones que pueden estar relacionadas con la aplicación en ergonomía como lo son Diseño, evaluaciones ergonómicas e intervención de la carga mental, aunque se presentan algunos beneficios, los resultados aún no son concluyentes debido a las limitaciones asociadas a la escasez de estudios longitudinales, la falta de estandarización metodológica y los desafíos técnicos como latencia y resolución de dispositivos, así como las tareas con manipulación de peso y destreza manual fina, o la fatiga mental y visual que puede generar el uso prolongado de esta tecnología.

Limitaciones

La literatura sobre el tema es heterogénea, emergente y presenta una inconsistencia terminológica considerable, donde los términos RA, RV y RM se utilizan a menudo de forma intercambiable, además la mayoría de los estudios revisados son literarios o de caso (variables controladas), finalmente, la búsqueda se limitó a la literatura revisada por pares, excluyendo la “literatura gris”, que podría contener aplicaciones industriales innovadoras.

La tecnología aún presenta desafíos como: el campo de visión restringido, el peso de los HMD y la duración de la batería, que tienen implicaciones ergonómicas directas y brechas de investigación para su implementación.²

Conclusiones

La realidad mixta posee un potencial significativo para mejorar la ergonomía en los entornos laborales, tanto como herramienta de soporte en tiempo real como plataforma para el diseño proactivo

de puestos de trabajo. Las aplicaciones en capacitación, montaje y asistencia remota ya muestran beneficios en productividad y seguridad, derivados de la reducción de la carga cognitiva.

No obstante, el campo está en una fase temprana. La ergonomía no ha sido una fuerza motriz en el desarrollo de la mayoría de las aplicaciones industriales de RM. Para que la RM alcance su máximo potencial, es imperativo integrar los principios de diseño centrado en el ser humano desde el inicio.

Los desafíos futuros son tanto técnicos como humanos. Es crucial abordar las limitaciones del hardware, pero aún más importante es gestionar la transformación de la carga cognitiva que imponen estas interfaces. El éxito radicarán en presentar la información de una manera que realmente aligere la carga total del trabajador.

La investigación futura debe orientarse hacia estudios longitudinales sobre los efectos a largo plazo del uso de la RM. Asimismo, es fundamental desarrollar metodologías estandarizadas para la evaluación ergonómica en entornos de RM. La colaboración entre ingenieros, diseñadores y ergónomos será clave para construir los lugares de trabajo del futuro: más seguros, productivos y humanos.

Referencias

1. Riegler A, Riener A, Holzmann C. A research agenda for mixed reality in automated vehicles. In: Proceedings of the 19th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia. New York: ACM; 2020. p. 119-131. Doi: 10.1145/3428361.3428390
2. Reif R, Günthner WA, Schwerdtfeger B, Klinker G. Evaluation of a mixed reality supported picking system under practical conditions. Computer Graphics Forum. 2010; 29(1): 2-12. Doi: 10.1111/j.1467-8659.2009.01538.x
3. Bruno, F., Barbieri, L. & Muzzupappa, M. A Mixed Reality system for the ergonomic assessment of industrial workstations. Int J Interact Des Manuf 14, 805–812 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12008-020-00664-x>.
4. Peters MDJ, Godfrey CM, Khalil H, McInerney P, Parker D, Soares CB. Guidance for conducting systematic scoping reviews. Int J Evid Based Healthc. 2015; 13(3): 141-6. doi: 10.1097/XEB.0000000000000050
5. Arksey H, O'Malley L. Scoping studies: towards a methodological framework. Int J Soc Res Methodol. 2005; 8(1): 19-32. Doi: 10.1080/1364557032000119616
6. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun H, Levac D, et al. PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation. Ann Intern Med. 2018; 169(7): 467-473. doi: 10.7326/M18-0850.
7. Bottani E, Vignali G. Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade. IISE Trans. 2019; 51(3): 284-310. DOI: 10.1080/24725854.2018.1493244

8. Cardenas-Robledo A, Hernández-Uribe Ó, Reta C, Cantoral-Ceballos JA. Extended reality applications in industry 4.0 A systematic literature review. *Telematics Informatics*. 2022; 73: 101863
 9. Rejeb A, Keogh JG, Treiblmaier, Fosso WS, Treiblmaier H. The potentials of augmented reality in supply chain management: a state-of-the-art review. *Management Review Quarterly*. 2021; 71: 819-856. Doi: 10.1007/s11301-020-00201-w.
 10. Sun X, Houssin R, Renaud J, Gardoni M. A review of methodologies for integrating human factors and ergonomics in engineering design. *Int J Prod Res*. 2019; 57(15-16): 4961-4976. Doi: 10.1080/00207543.2018.1492161
 11. Kacerová I, Kubr J, Horejsí P, Kleinová J. Ergonomic design of a workplace using virtual reality and a motion capture suit. *Appl Sci*. 2022;12(4): 2150. Doi: 10.3390/app12042150
 12. Atheer Inc. Industrial remote AR assistance: enterprise applications and case studies. Industry White Paper. Atheer Inc; 2023.
 13. Wallmyr M, Sitompul TA, Holstein T, Lindell R. Evaluating mixed reality notifications to support excavator operator awareness. In: Lamas D, Loizides F, Nacke L, Petrie H, Winckler M, et al. (eds) *Human-Computer Interaction – INTERACT 2019*. INTERACT 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11746. Springer, Cham. Doi: 10.1007/978-3-030-29381-9_44.
 14. Caputo F, Greco A, Fera M, Macchiaroli R. Workplace design ergonomic validation based on multiple human factors assessment methods and simulation. *Prod Manuf Res*. 2019; 7(1): 195-222. Doi: 10.1080/21693277.2019.1616631
 15. Kwon Y, Dwivedi A, McDaid AJ, Liarokapis M. Electromyography-based decoding of dexterous, in hand manipulation of objects: Comparing task execution in real world and virtual reality. *IEEE Access*. 2021; 9: 37297-37310. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3062364
 16. Kim J, Bayro A, Lee J, Soltis I, Kim M, Jeong H, Yeo WH. Mixed reality-integrated soft wearable biosensing glove for manipulating objects. *Biosensors Bioelectron X*. 2023; 14: 100343. Doi: 10.1016/j.biosx.2023.100343
 17. Hu, X., Duan, R., Liu, Z., Duffy, V.G. (2023). Wearables and Mixed Reality in Applied Ergonomics: A Literature Review. In: Duffy, V.G. (eds) *Digital Human Modeling and Applications in Health, Safety, Ergonomics and Risk Management. HCII 2023*. Lecture Notes in Computer Science, vol 14028. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35741-1_7
 18. Vovk A, Wild F, Guest W, Kuula T. Simulator sickness in augmented reality training using the Microsoft HoloLens. CHI '18: Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. Paper No.: 209, Pp 1-9; 2018. Doi: 10.1145/3173574.3173783
 19. Shen R, Weng D, Chen S, Guo J, Fang H. Mental fatigue of long-term office tasks in a virtual environment. 2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct). Beijing, China; 2019. pp. 124-127, doi: 10.1109/ISMAR-Adjunct.2019.00-65.
- © Universidad Libre. 2025. Licence Creative Commons CC-by-nc-sa/4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>

