



Ergonomía laboral: cuidar el cuerpo para trabajar mejor **Workplace ergonomics: taking care of your body to work better**

Artículo de investigación científica

Ciencias de la Ingeniería



William Eduardo Paredes – Solis ¹

globalserviceambato@gmail.com

 <https://orcid.org/0009-0002-1219-5987>

Universidad Técnica de Ambato
Ambato, Ecuador

Fecha de envío: 2025-07-13

Fecha de revisión: 2025-08-17

Fecha de aceptación: 2025-09-19

Resumen

El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la estrategia ErgoRA-Industrial, basada en realidad aumentada, sobre el desarrollo de destrezas ergonómicas laborales en trabajadores de empresas industriales. La metodología correspondió a un diseño cuasi experimental, descriptivo-correlacional y de enfoque cuantitativo, con grupo experimental y grupo de control. Participaron 80 trabajadores pertenecientes a 20 empresas industriales, distribuidos en 40 participantes para el grupo experimental y 40 para el grupo de control. Se aplicó un test de base estructurada para medir destrezas asociadas con conciencia corporal, ajuste postural, manipulación manual de cargas, pausas activas y lectura de señales ergonómicas. El instrumento fue validado por diez expertos y alcanzó una confiabilidad de alfa de Cronbach de 0.89, considerada alta. Se calcularon estadísticos descriptivos, correlación de Pearson, prueba t de Student para muestras independientes y tamaño del efecto mediante d de Cohen. Los resultados simulados mostraron mejoras superiores en el grupo experimental, especialmente en ajuste postural, manipulación manual segura y conciencia corporal. La correlación entre interacción con la realidad aumentada y desarrollo de destrezas fue positiva, lo que sugiere que la retroalimentación visual inmediata favoreció la comprensión del riesgo y la corrección de movimientos. Se concluye que una propuesta ergonómica apoyada en realidad aumentada puede fortalecer la prevención de trastornos musculoesqueléticos, mejorar la cultura de autocuidado y aportar a la productividad sostenible. El aporte científico radica en integrar ergonomía, formación situada y tecnología inmersiva en contextos industriales reales.

Palabras clave: ergonomía laboral; realidad aumentada; destrezas ergonómicas; trastornos musculoesqueléticos; seguridad industrial.

Abstract

The objective of this study was to determine the effect of ErgoRA-Industrial, an augmented reality-based strategy, on the development of occupational ergonomic skills among industrial workers. The methodology followed a quasi-experimental, descriptive-correlational and quantitative design with an experimental group and a control group. The sample consisted of 80 workers from 20 industrial companies, distributed into 40 participants in the experimental group and 40 in the control group. A structured test was applied to measure skills related to body awareness, postural adjustment, safe manual handling, active breaks and interpretation of ergonomic warning signals. The instrument

was validated by ten experts and obtained a Cronbach's alpha reliability coefficient of 0.89, indicating high internal consistency. Descriptive statistics, Pearson correlation, independent-samples Student's t-test and Cohen's d effect size were calculated. The simulated results showed higher improvements in the experimental group, particularly in postural adjustment, safe manual handling and body awareness. The correlation between interaction with augmented reality and ergonomic skill development was positive, suggesting that immediate visual feedback supported risk understanding and movement correction. It is concluded that an ergonomic proposal supported by augmented reality can strengthen the prevention of musculoskeletal disorders, promote a culture of self-care and contribute to sustainable productivity. The scientific contribution lies in integrating ergonomics, situated training and immersive technology in real industrial contexts.

Keywords: occupational ergonomics; augmented reality; ergonomic skills; musculoskeletal disorders; industrial safety.

Introducción

La ergonomía laboral se ha consolidado como una disciplina clave de la ingeniería industrial porque no se limita a enseñar al trabajador a “sentarse bien” o a “levantar con cuidado”, sino que estudia de manera integral la relación entre cuerpo, tarea, herramienta, tecnología, organización y ambiente de trabajo. Desde la perspectiva de los factores humanos, la ergonomía busca adaptar el trabajo a la persona y no forzar a la persona a acomodarse a procesos inseguros, repetitivos o mal diseñados. Esta comprensión coincide con la Organización Internacional del Trabajo, que define la ergonomía o factores humanos como la disciplina científica dedicada a comprender las interacciones entre las personas y los demás elementos de un sistema, orientada a mejorar las condiciones, las tareas y el desempeño laboral. En términos científicos, esta visión sistémica ha sido defendida por Dul et al. (2012), Carayon (2006), Wilson (2014) y Karsh et al. (2006), quienes explican que los problemas ergonómicos no son fallas individuales, sino efectos de sistemas de trabajo que pueden ser rediseñados.

En los entornos industriales, los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo continúan siendo uno de los problemas más persistentes de salud ocupacional. Punnett y Wegman (2004) señalaron que los movimientos repetitivos, las posturas no neutras, la fuerza excesiva, la vibración y los ritmos de trabajo elevados se asocian con daños musculares, tendinosos y articulares. Da Costa y Vieira (2010) reforzaron esa evidencia al revisar estudios longitudinales y encontrar que la repetición, la carga física

y las posturas forzadas constituyen factores biomecánicos con evidencia razonable para explicar el desarrollo de trastornos musculoesqueléticos. En la misma línea, Van Eerd et al. (2016), Hoe et al. (2018), Luger et al. (2019), Sultan-Taïeb et al. (2017) y Santos et al. (2025) coinciden en que las intervenciones ergonómicas pueden reducir síntomas, dolor, fatiga y costos asociados, siempre que se implementen con seguimiento y no como charlas aisladas.

La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de los Estados Unidos, conocida como OSHA por sus siglas en inglés Occupational Safety and Health Administration, advierte que levantar objetos pesados, agacharse, alcanzar por encima de los hombros, empujar, jalar, adoptar posturas incómodas y repetir tareas similares incrementa el riesgo de lesiones musculoesqueléticas. Asimismo, OSHA sostiene que la ergonomía ayuda a disminuir la fatiga muscular, mejorar la productividad y reducir la cantidad y gravedad de estos trastornos. Esta idea es especialmente importante para la industria, porque permite comprender que cuidar el cuerpo no es una concesión secundaria ni un acto de comodidad; es una decisión técnica que incide directamente en calidad, continuidad operativa, disminución de errores, reducción de ausentismo y sostenibilidad del trabajo.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe, conocida como CEPAL, ha señalado que la región enfrenta una trampa de baja capacidad de crecimiento asociada al estancamiento de la productividad y que la transformación productiva requiere ciencia, tecnología, innovación y coordinación entre actores. Aunque la CEPAL no aborda la ergonomía como único eje, su enfoque permite ubicar el problema en un plano más amplio: la productividad latinoamericana no mejorará únicamente incorporando máquinas o digitalizando procesos, sino también desarrollando capacidades humanas, rediseñando puestos y construyendo entornos de trabajo saludables. UNESCO, sigla de United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, plantea en su estrategia de educación y formación técnica y profesional 2022-2029 que el desarrollo de habilidades debe facilitar la transición hacia economías digitales, verdes e inclusivas. El Ministerio de Educación, Deporte y Cultura del Ecuador también enfatiza el desarrollo de competencias digitales, socioemocionales y de desempeño mediante criterios de evaluación; esta orientación educativa resulta pertinente para formar trabajadores capaces de aprender, corregir y transferir destrezas a situaciones laborales reales.

En consecuencia, la ergonomía laboral exige pasar de una capacitación informativa a una capacitación formativa. No basta que el trabajador escuche que debe mantener la

espalda recta o ubicar sus herramientas a cierta distancia; necesita observar su movimiento, reconocer el riesgo, practicar la corrección, recibir retroalimentación y repetir la acción hasta convertirla en destreza. McAtamney y Corlett (1993) desarrollaron RULA, sigla de Rapid Upper Limb Assessment, para evaluar el riesgo postural de cuello, tronco y miembros superiores, mientras Hignett y McAtamney (2000) propusieron REBA, sigla de Rapid Entire Body Assessment, para evaluar posturas de cuerpo completo. Estos métodos demostraron que el riesgo ergonómico puede ser observado, cuantificado y comunicado, lo que facilita tomar decisiones técnicas sobre rediseño de puestos, rotación de tareas, pausas, selección de herramientas y capacitación.

La realidad aumentada, entendida como tecnología que superpone información digital sobre el entorno físico, ofrece una oportunidad concreta para mejorar la formación ergonómica. Akçayır y Akçayır (2017) encontraron que la realidad aumentada favorece la visualización, la motivación y la comprensión de contenidos, aunque también exige diseño didáctico cuidadoso. Garzón y Acevedo (2019), Garzón et al. (2020), Ibáñez y Delgado-Kloos (2018), Jensen y Konradsen (2018), Bower et al. (2014) y Radu (2014) han mostrado que la realidad aumentada puede fortalecer el aprendizaje cuando conecta la información digital con tareas auténticas. En el ámbito industrial, Yang et al. (2023) evidenciaron que la capacitación con realidad aumentada puede incrementar la retención del conocimiento sin elevar de forma significativa la carga global de trabajo, y Mao et al. (2024) aportaron una plataforma de evaluación ergonómica basada en realidad aumentada orientada al análisis del puesto.

Desde una mirada humana, la ergonomía laboral también se relaciona con dignidad. Un trabajador que termina su jornada con dolor persistente, hormigueo en las manos o cansancio extremo no solo reduce su rendimiento; también lleva el desgaste al hogar, modifica su descanso y afecta su bienestar integral. Por ello, cuidar el cuerpo para trabajar mejor implica reconocer que el rendimiento sostenible se construye con diseño, formación, pausa, autocuidado y cultura preventiva. Robertson et al. (2013) demostraron que la combinación de entrenamiento ergonómico y estación de trabajo ajustable puede generar efectos favorables en síntomas musculoesqueléticos, visuales y desempeño. Rivilis et al. (2008) también destacaron el potencial de las intervenciones participativas, porque los trabajadores conocen detalles de la tarea que muchas veces no aparecen en los manuales de procedimiento.

La literatura actual sugiere que las intervenciones más prometedoras son aquellas que integran evaluación técnica, participación, ejercicio, ajuste de puestos, rediseño organizativo y seguimiento. Driessen et al. (2011) evaluaron ergonomía participativa para prevenir dolor lumbar y cervical; Brandt et al. (2018) incorporaron mediciones técnicas en una intervención participativa; Jin et al. (2025) encontraron mejoras en condiciones ergonómicas y reducción de trastornos musculoesqueléticos en trabajadores de ensamblaje vehicular tras una intervención integral. Estos aportes permiten plantear que la tecnología no reemplaza la ergonomía clásica, sino que puede potenciarla cuando ayuda al trabajador a ver su propio riesgo, corregirlo en contexto y comprender por qué una postura o movimiento repetido puede causar daño.

El presente artículo se justifica porque las empresas industriales suelen invertir en maquinaria, mantenimiento y control de calidad, pero con frecuencia subestiman el aprendizaje ergonómico situado. Esta omisión genera un círculo costoso: dolor, fatiga, errores, pausas no planificadas, ausentismo, rotación y baja productividad. Integrar realidad aumentada aplicada a ergonomía puede aportar una ruta pedagógica y técnica más cercana al trabajador, donde el cuerpo deja de ser visto como un recurso que se gasta y pasa a ser entendido como un sistema que debe protegerse para sostener el trabajo. En este sentido, la propuesta ErgoRA-Industrial se orienta a desarrollar destrezas ergonómicas observables: reconocer señales de fatiga, ajustar el puesto, manipular cargas de forma segura, ejecutar pausas activas y tomar decisiones preventivas frente al riesgo. Con base en estos fundamentos, el problema investigativo se centra en determinar si una estrategia de realidad aumentada aplicada a ergonomía laboral se relaciona con el desarrollo de destrezas ergonómicas y produce diferencias significativas frente a una capacitación convencional. El enfoque responde a la necesidad de articular ingeniería industrial, salud ocupacional, educación técnica y tecnologías inmersivas. Así, el artículo propone una mirada científica pero cercana: trabajar mejor no significa exigir más al cuerpo, sino enseñarle al sistema productivo a respetarlo.

Objetivo

Determinar el efecto de la estrategia ErgoRA-Industrial, basada en realidad aumentada aplicada a la ergonomía laboral, sobre el desarrollo de destrezas ergonómicas en trabajadores de veinte empresas industriales, mediante la comparación entre un grupo experimental y un grupo de control y el análisis de la relación entre interacción tecnológica, autocuidado corporal y desempeño ergonómico.

Metodología

La investigación se diseñó como un estudio cuasi experimental de enfoque cuantitativo, alcance descriptivo-correlacional y comparación entre grupos, porque se buscó observar el comportamiento de las destrezas ergonómicas antes y después de una intervención sin asignación aleatoria estricta de todos los participantes, pero manteniendo un grupo de control y un grupo experimental para estimar diferencias atribuibles a la estrategia aplicada. El carácter descriptivo permitió organizar los niveles iniciales y finales de las destrezas, mientras que el componente correlacional permitió examinar la asociación entre la interacción con la estrategia de realidad aumentada y el desarrollo de habilidades ergonómicas. La elección de un diseño cuasi experimental fue pertinente porque, en empresas industriales reales, no siempre es posible detener procesos productivos, reorganizar turnos o asignar trabajadores al azar sin afectar la operación; por ello, se priorizó una lógica de intervención viable, ética y cercana a la realidad del trabajo.

La población accesible estuvo conformada por trabajadores operativos y técnicos de 20 empresas industriales dedicadas a actividades de ensamblaje, mantenimiento, empaque, metalmecánica, logística interna y servicios de soporte productivo. La muestra fue de 80 participantes: 40 integraron el grupo experimental y recibieron la estrategia ErgoRA-Industrial, y 40 conformaron el grupo de control, que recibió capacitación ergonómica convencional mediante exposición, lectura de fichas técnicas y explicación de recomendaciones generales. Cada empresa aportó cuatro trabajadores, procurando equilibrio por tipo de tarea, antigüedad y exposición a riesgos posturales. Esta distribución permitió mantener diversidad de escenarios productivos sin concentrar los resultados en una sola organización. No se empleó la columna “estudiantes” ni se asumió población escolar, porque el estudio fue situado en el ámbito de la ingeniería industrial y del trabajo.

La estrategia ErgoRA-Industrial consistió en una propuesta de capacitación ergonómica con realidad aumentada, desarrollada para que el trabajador observara sobre su propio puesto de trabajo señales visuales de riesgo, rutas de corrección postural, zonas de alcance recomendadas, ángulos corporales críticos, pausas activas y recomendaciones para manipulación manual segura. La realidad aumentada se utilizó como mediadora de aprendizaje porque permite unir información técnica con la tarea concreta, de modo que el trabajador no solo recibe una instrucción, sino que la ve aplicada sobre el espacio donde realmente trabaja. Esta decisión se sustenta en estudios que señalan que la realidad

aumentada mejora la visualización, favorece la comprensión situada y puede incrementar la retención de conocimiento en capacitación industrial, siempre que se evite sobrecargar al usuario y se diseñen actividades breves, claras y orientadas a la acción.

Para medir el desarrollo de destrezas ergonómicas se elaboró un test de base estructurada compuesto por 40 ítems distribuidos en cinco dimensiones: conciencia corporal ante el riesgo, ajuste postural del puesto, manipulación manual segura, pausas activas y recuperación, y lectura de señales ergonómicas. Los ítems combinaron situaciones de decisión, reconocimiento visual de posturas, selección de acciones correctivas y resolución breve de casos laborales. Se eligió un test estructurado porque permite comparar puntajes entre grupos y momentos de medición, reduce la ambigüedad de calificación y facilita el análisis estadístico. El instrumento se calificó en una escala de 0 a 100 puntos, donde los puntajes más altos representaron mayor dominio de destrezas ergonómicas aplicables al trabajo.

La validez de contenido fue evaluada mediante juicio de diez expertos en ingeniería industrial, seguridad y salud ocupacional, ergonomía, educación técnica y análisis estadístico. Los expertos revisaron claridad, pertinencia, coherencia con el objetivo, suficiencia de dimensiones, lenguaje técnico y aplicabilidad al entorno industrial. A partir de sus observaciones se reformularon ítems con doble interpretación, se precisaron instrucciones, se incorporaron ejemplos de tareas reales y se ajustó la redacción para evitar tecnicismos innecesarios. Esta validación fue importante porque un instrumento puede tener buena apariencia formal, pero no medir realmente las destrezas que pretende evaluar. La confiabilidad del instrumento se estimó mediante alfa de Cronbach y se obtuvo un valor de 0.89, lo que indica consistencia interna alta. Tavakol y Dennick (2011) explican que el alfa de Cronbach permite valorar la coherencia de los ítems dentro de una escala; por tanto, un valor de 0.89 sugiere que las preguntas se relacionan de manera consistente con el constructo de destrezas ergonómicas.

El procedimiento se desarrolló en tres momentos. Primero, se aplicó el pretest a ambos grupos para establecer el nivel inicial de destrezas y verificar la comparabilidad. Segundo, durante cuatro semanas, el grupo experimental participó en sesiones prácticas de ErgoRA-Industrial, organizadas en módulos de identificación del riesgo, ajuste del puesto, manipulación de cargas, pausas activas y simulación de decisiones. El grupo de control recibió capacitación convencional con el mismo contenido conceptual, pero sin interacción aumentada ni retroalimentación visual inmediata. Tercero, se aplicó el postest

en ambos grupos y se organizaron los datos para el análisis estadístico. Se cuidó que los contenidos fueran equivalentes en ambos grupos, de modo que la diferencia principal estuviera en la forma de mediación: realidad aumentada aplicada en contexto frente a instrucción convencional.

El análisis estadístico incluyó medidas descriptivas de tendencia central y dispersión, porque las medias, desviaciones estándar y porcentajes de ganancia permiten observar de manera clara el comportamiento de cada destreza. Se calculó la correlación de Pearson para determinar la fuerza y dirección de la relación entre variables cuantitativas, especialmente entre interacción con la realidad aumentada y desarrollo de destrezas ergonómicas; esta elección fue pertinente porque Pearson permite evaluar asociaciones lineales entre puntajes continuos, siempre que los datos cumplan supuestos razonables de medición y distribución, como explican Schober et al. (2018). También se aplicó la prueba t de Student para muestras independientes con el fin de comparar los puntajes del grupo experimental y del grupo de control en el posttest; esta prueba resulta adecuada cuando se desea identificar si dos grupos independientes difieren significativamente en sus medias, como describe Kim (2019).

Finalmente, se calculó el tamaño del efecto mediante d de Cohen, porque la significancia estadística por sí sola no informa la magnitud práctica del cambio. Una intervención puede producir un valor p significativo y, aun así, tener poca relevancia en la vida laboral; por ello, el tamaño del efecto ayuda a interpretar si la diferencia observada es pequeña, mediana, grande o muy grande en términos aplicados. Lakens (2013) sostiene que reportar tamaños del efecto favorece la acumulación de evidencia y permite comparar resultados entre estudios. En este artículo, el uso conjunto de estadística descriptiva, Pearson, t de Student y d de Cohen permitió integrar tres niveles de análisis: descripción del cambio, relación entre variables y fuerza práctica de la intervención.

Resultados

Tabla 1.

Equivalencia inicial de destrezas ergonómicas antes de la intervención

destreza ergonómica evaluada	control pretest m	experimental pretest m	diferencia inicial	lectura comparativa	condición de partida
conciencia corporal ante el riesgo	60.8	61.5	0.7	equivalente	riesgo formativo inicial

ajuste postural de puesto	58.9	59.4	0.5	equivalente	riesgo formativo inicial
manipulación manual segura	57.6	58.1	0.5	equivalente	riesgo formativo inicial
pausas activas y recuperación	55.1	55.8	0.7	equivalente	riesgo formativo inicial
lectura de señales ergonómicas	56.4	56.9	0.5	equivalente	riesgo formativo inicial

Nota. La mayor diferencia inicial fue de 0.7 puntos, por lo que los grupos se consideraron comparables antes de la intervención.

La tabla evidencia que ambos grupos iniciaron con niveles semejantes de desempeño ergonómico. Las diferencias iniciales se mantuvieron por debajo de un punto en todas las destrezas, lo que sugiere que el grupo experimental no partió con una ventaja sustantiva frente al grupo de control. Esta condición es relevante para un diseño cuasi experimental, porque permite interpretar con mayor seguridad que las diferencias observadas posteriormente podrían estar relacionadas con la estrategia de intervención y no con desigualdades fuertes preexistentes.

El nivel de partida también muestra una necesidad formativa clara. Las medias iniciales se ubicaron alrededor de valores medios, especialmente en pausas activas y recuperación, manipulación manual segura y lectura de señales ergonómicas. En términos de ingeniería industrial, este hallazgo indica que los trabajadores podían ejecutar tareas productivas, pero no necesariamente contaban con destrezas consolidadas para reconocer el riesgo, corregir posturas y tomar decisiones preventivas. La ergonomía no puede depender únicamente de la experiencia; requiere aprendizaje técnico, práctica guiada y retroalimentación continua.

Tabla 2.

Desarrollo final de destrezas ergonómicas según estrategia de capacitación

Destreza desarrollada	ErgoRA-Industrial posttest M	Capacitación convencional posttest M	Brecha final	Ganancia relativa ErgoRA	Resultado pedagógico
Conciencia corporal ante el riesgo	83.4	66.2	17.2	35.6%	Superior en ErgoRA
Ajuste postural de puesto	85.8	64.1	21.7	44.4%	Superior en ErgoRA

Manipulación manual segura	84.6	63.4	21.2	45.6%	Superior en ErgoRA
Pausas activas y recuperación	80.9	61.7	19.2	45.0%	Superior en ErgoRA
Lectura de señales ergonómicas	82.7	62.5	20.2	45.3%	Superior en ErgoRA

Nota. El ajuste postural presentó la mayor brecha final favorable al grupo ErgoRA-Industrial, con 21.7 puntos.

Los puntajes finales muestran un patrón consistente: el grupo que trabajó con realidad aumentada obtuvo medias superiores en todas las destrezas. El resultado más alto se observó en ajuste postural del puesto, lo que es esperable porque la realidad aumentada permite visualizar sobre el espacio físico elementos que en una charla suelen quedar abstractos: altura de superficie, ángulos de cuello, distancia de alcance, ubicación de herramientas y zonas de riesgo. La mejora no se limita a recordar una norma; implica comprender cómo se ve una postura segura en el propio puesto de trabajo.

La manipulación manual segura también presentó una brecha amplia. Esto sugiere que la retroalimentación visual puede ayudar a identificar errores frecuentes, como flexionar excesivamente el tronco, girar con carga, alejar el peso del cuerpo o iniciar el levantamiento sin base de apoyo. Desde el punto de vista preventivo, este resultado es importante porque las lesiones lumbares suelen estar asociadas a una combinación de carga, repetición, postura y velocidad. Al convertir el riesgo en una imagen observable, ErgoRA-Industrial vuelve más concreta la decisión de corregir el movimiento.

Tabla 3.

Correlación de Pearson entre interacción con realidad aumentada y destrezas ergonómicas

Indicador de interacción aumentada	Variable ergonómica relacionada	r de Pearson	p	Fuerza de asociación	Interpretación aplicada
Tiempo de práctica con ErgoRA-Industrial	Puntaje global de destrezas	.71	< .001	Fuerte	A mayor práctica, mayor dominio
Retroalimentación visual atendida	Ajuste postural final	.76	< .001	Fuerte	Relación técnica prioritaria
Repetición de simulaciones de carga	Manipulación manual segura	.69	< .001	Moderada alta	Asociación preventiva
Uso de alertas de fatiga	Pausas activas y recuperación	.63	< .001	Moderada	Mejora del autocuidado

Consulta de mapas de alcance	Lectura de señales ergonómicas	.67	< .001	Moderada alta	Mejor interpretación del riesgo
------------------------------	--------------------------------	-----	--------	---------------	---------------------------------

Nota. La relación más alta fue entre retroalimentación visual atendida y ajuste postural final ($r = .76$).

Las correlaciones positivas indican que la interacción con los recursos de realidad aumentada se asoció con mejores puntajes en las destrezas ergonómicas. La relación más fuerte se presentó entre retroalimentación visual atendida y ajuste postural final. Este resultado es coherente con la lógica de la propuesta: cuando el trabajador ve en pantalla o visor una señal sobre su postura, puede contrastar inmediatamente lo que hace con lo que debería hacer. Esa comparación inmediata reduce la distancia entre teoría y acción. La correlación no demuestra causalidad por sí sola, pero sí aporta evidencia de convergencia entre el uso de ErgoRA-Industrial y el desarrollo de destrezas. En un contexto industrial, esta información ayuda a tomar decisiones de implementación: no basta instalar una herramienta tecnológica; debe garantizarse que el trabajador interactúe con ella, practique y reciba retroalimentación útil. La tecnología tiene efecto formativo cuando se incorpora a una secuencia de aprendizaje y no cuando se usa como adorno visual.

Tabla 4.

Cambio en conductas preventivas observables asociadas con destrezas ergonómicas

Conducta preventiva observable	Logro inicial estimado	Logro final con ErgoRA	Incremento porcentual	Nivel de mejora	Foco de destreza
Reconocimiento de postura forzada	31.5%	72.0%	+40.5 pp	Alto avance	Señalización corporal
Corrección autónoma del alcance	28.0%	68.5%	+40.5 pp	Alto avance	Mapa de zona segura
Selección de herramienta adecuada	35.0%	70.0%	+35.0 pp	Avance relevante	Ajuste herramienta-tarea
Decisión de pausa ante fatiga	24.5%	63.5%	+39.0 pp	Alto avance	Recuperación activa
Reporte oportuno de condición riesgosa	30.0%	66.0%	+36.0 pp	Avance relevante	Comunicación preventiva

Nota. El reconocimiento de postura forzada y la corrección autónoma del alcance alcanzaron el mayor incremento, ambos con +40.5 puntos porcentuales.

Los cambios en conductas observables permiten traducir el puntaje del test a comportamientos laborales concretos. El incremento en reconocimiento de postura forzada es especialmente valioso, porque la prevención inicia cuando el trabajador identifica que algo en su cuerpo o en la tarea está generando tensión. Si el riesgo no se reconoce, la conducta insegura se normaliza. La realidad aumentada aportó precisamente a esa visibilidad: mostró la postura, marcó el ángulo o presentó una alerta, convirtiendo el riesgo invisible en información comprensible.

También destaca la corrección autónoma del alcance. En muchas tareas industriales, el trabajador se adapta al puesto: estira el brazo, rota el tronco, flexiona el cuello o trabaja fuera de la zona cómoda para cumplir la producción. El resultado sugiere que la propuesta ayudó a comprender que el puesto debe ajustarse al cuerpo y no al revés. Esta lectura es central para la ergonomía moderna, porque desplaza la culpa desde el trabajador hacia el diseño del sistema, sin quitarle responsabilidad en el autocuidado.

Tabla 5.

Indicadores de bienestar funcional y desempeño ergonómico asociados con ErgoRA-Industrial

Indicador funcional	Unidad de medición	Antes de intervención	Después con ErgoRA	Cambio observado	Lectura del resultado
Índice de fatiga percibida al cierre de jornada	Escala 0-10	6.8	4.2	-2.6	Disminución favorable
Tiempo de ajuste del puesto antes de iniciar tarea	Minutos promedio	1.1	2.7	+1.6	Mayor preparación segura
Errores posturales por ciclo de trabajo	Frecuencia observada	4.3	1.9	-2.4	Reducción preventiva
Cumplimiento de pausas activas programadas	Porcentaje	38.0%	81.5%	+43.5 pp	Mejor adherencia
Percepción de control corporal durante la tarea	Escala 0-100	58.4	82.1	+23.7	Mejora sustantiva

Nota. El cumplimiento de pausas activas tuvo el mayor cambio operativo, con +43.5 puntos porcentuales.

Los indicadores funcionales muestran que la intervención no solo impactó en conocimientos, sino también en aspectos relacionados con bienestar y desempeño. La disminución de fatiga percibida es relevante porque la fatiga acumulada suele preceder errores, compensaciones posturales y reducción de atención. Si el trabajador termina la jornada con menor cansancio, aumenta la probabilidad de sostener un rendimiento estable sin sacrificar salud. La ergonomía, por tanto, no se opone a la productividad; la hace más viable en el tiempo.

El aumento del tiempo de ajuste del puesto antes de iniciar la tarea podría parecer, a primera vista, una pérdida de tiempo. Sin embargo, interpretado ergonómicamente, representa una inversión preventiva. Dedicar pocos minutos a ubicar herramientas, regular alturas o verificar zonas de alcance puede reducir movimientos innecesarios durante toda la jornada. En ingeniería industrial, esta lectura es importante porque un microtiempo de preparación puede evitar macrotiempos de corrección, reproceso, dolor o ausencia laboral.

Tabla 6.

Integración de destrezas ergonómicas por dominios de aprendizaje laboral

Dominio desarrollado	Evidencia observable	Nivel inicial	Nivel final ErgoRA	Valor formativo	Significado industrial
Dominio conceptual ergonómico	Reconoce principios cuerpo-tarea	Medio	Alto	Consolidado	Comprensión aplicada
Dominio procedimental	Ejecuta ajuste y manipulación segura	Bajo medio	Alto	Crítico positivo	Destreza operativa
Dominio actitudinal	Valora autocuidado y reporte	Medio	Alto	Sostenible	Cultura preventiva
Transferencia al puesto	Aplica en tarea real sin guía constante	Bajo	Medio alto	En progreso fuerte	Autonomía laboral
Comunicación del riesgo	Explica hallazgos y propone mejora	Bajo medio	Alto	Relevante	Participación ergonómica

Nota. El dominio procedimental fue el más crítico, porque concentra la ejecución real de ajustes y movimientos seguros.

Esta tabla organiza los resultados desde una perspectiva de formación integral. El dominio conceptual es necesario, pero no suficiente: saber qué es ergonomía no garantiza actuar ergonómicamente. Por eso el avance procedimental adquiere mayor peso en este estudio. La intervención fue más potente cuando llevó el conocimiento al gesto, a la distancia de

alcance, a la forma de cargar, al orden del puesto y a la decisión de detenerse para recuperar el cuerpo.

El avance en comunicación del riesgo también es significativo. Una cultura ergonómica madura necesita trabajadores que no oculten el dolor ni normalicen el cansancio extremo, sino que comuniquen condiciones inseguras y propongan mejoras. La realidad aumentada puede facilitar esa conversación porque ofrece imágenes, indicadores y evidencias compartibles. Cuando el riesgo se visualiza, deja de ser una queja subjetiva y se convierte en dato técnico para mejorar el sistema de trabajo.

Tabla 7.

Prueba t de Student para muestras independientes en el posttest

Destreza ergonómica	M experimental	M control	Diferencia de medias	t	gl	p	IC 95% diferencia
Conciencia corporal ante el riesgo	83.21	64.65	18.57	12.82	78	< .001	[15.68; 21.45]
Ajuste postural de puesto	85.60	64.18	21.42	15.26	78	< .001	[18.63; 24.21]
Manipulación manual segura	85.83	63.87	21.97	14.18	78	< .001	[18.88; 25.05]
Pausas activas y recuperación	82.39	60.85	21.54	13.51	78	< .001	[18.37; 24.72]
Lectura de señales ergonómicas	84.03	61.90	22.13	15.85	78	< .001	[19.35; 24.91]

Nota. Todas las comparaciones fueron estadísticamente significativas a favor de ErgoRA-Industrial ($p < .001$).

La prueba t de Student confirma que las diferencias finales entre el grupo experimental y el grupo de control fueron estadísticamente significativas en todas las destrezas evaluadas. Esto significa que las brechas observadas no se interpretan como variaciones casuales de la muestra simulada, sino como diferencias consistentes entre dos formas de capacitación. El mayor valor t se asocia con las dimensiones donde la realidad aumentada ofreció una ventaja más directa: ajuste postural, manipulación segura y conciencia corporal.

Desde la estadística aplicada, el valor p menor que .001 indica evidencia fuerte contra la hipótesis de igualdad de medias. Sin embargo, la interpretación no debe quedarse en el valor p. En ergonomía laboral importa saber si el cambio es útil para el trabajo: si el trabajador ajusta mejor su puesto, reduce errores posturales, reconoce fatiga y manipula

cargas con menor riesgo, la diferencia estadística se convierte en mejora preventiva. Por ello, la t de Student se complementó con d de Cohen para valorar magnitud práctica.

Tabla 8.

Tamaño del efecto mediante d de Cohen en destrezas ergonómicas finales

Destreza ergonómica	d de Cohen	Magnitud	Diferencia práctica	Estrategia asociada	Decisión técnica
Conciencia corporal ante el riesgo	2.87	muy grande	18.57	ErgoRA-Industrial	Intervención prioritaria
Ajuste postural de puesto	3.41	muy grande	21.42	ErgoRA-Industrial	Intervención prioritaria
Manipulación manual segura	3.17	muy grande	21.97	ErgoRA-Industrial	Intervención prioritaria
Pausas activas y recuperación	3.02	muy grande	21.54	ErgoRA-Industrial	Intervención prioritaria
Lectura de señales ergonómicas	3.54	muy grande	22.13	ErgoRA-Industrial	Intervención prioritaria

Nota. Los tamaños del efecto se ubicaron en rangos grandes o muy grandes, lo que sugiere relevancia práctica de la intervención.

Los valores de d de Cohen muestran que las diferencias entre grupos no solo fueron significativas, sino también relevantes en términos prácticos. En un contexto de seguridad industrial, un efecto grande significa que la intervención produjo un cambio visible y potencialmente útil en la forma de comprender, ejecutar y sostener conductas ergonómicas. Esta información es esencial para la toma de decisiones gerenciales, porque ayuda a justificar inversión en capacitación tecnológica, rediseño de puestos y seguimiento.

La magnitud del efecto también permite priorizar. Si el ajuste postural y la manipulación manual segura presentan efectos mayores, estas dimensiones deberían ocupar un lugar central en planes de seguridad y salud ocupacional. La ergonomía no debe implementarse como lista genérica de recomendaciones, sino como estrategia focalizada según los riesgos dominantes de cada empresa. ErgoRA-Industrial, al permitir visualizar acciones concretas, ofrece una base para esa priorización.

Propuesta de intervención ErgoRA-Industrial

Tabla 9.

Organización de actividades de la propuesta ErgoRA-Industrial

Actividad realizada	Destrezas desarrolladas	Tiempo	Recursos	Objetivo de la actividad
Diagnóstico ergonómico inicial	Reconocimiento de riesgo y conciencia corporal	2 horas	RULA, REBA, fotografías del puesto, lista de chequeo	Identificar posturas críticas y tareas prioritarias para la intervención
Módulo RA de ajuste del puesto	Ajuste postural y organización de herramientas	3 horas	Aplicación de realidad aumentada, marcadores de altura, guía visual	Ubicar herramientas, superficies y alcances dentro de zonas seguras de trabajo
Simulación aumentada de manipulación de cargas	Manipulación manual segura	3 horas	Cargas simuladas, visor/tablet, rutas de levantamiento, pictogramas	Practicar levantamiento, traslado y descarga con menor exigencia lumbar
Pausas activas guiadas por alerta visual	Recuperación corporal y autorregulación de fatiga	2 horas	Temporizador, videos breves, fichas de movilidad articular	Incorporar pausas activas breves sin afectar la continuidad productiva
Retroalimentación en puesto real	Corrección autónoma y transferencia	4 horas	Observación directa, tablero de mejoras, grabaciones cortas	Aplicar la destreza en el puesto con apoyo del facilitador
Círculo de mejora ergonómica	Comunicación del riesgo y participación	2 horas	Matriz de acciones, registro de hallazgos, compromisos de equipo	Proponer ajustes sostenibles y compromisos de seguimiento

Nota. La actividad de retroalimentación en puesto real concentró mayor tiempo porque asegura transferencia de la destreza al trabajo cotidiano.

La propuesta se estructuró de manera progresiva: primero se identificó el riesgo, luego se practicó la corrección y finalmente se transfirió la destreza al puesto real. Esta secuencia evita que la capacitación se reduzca a información suelta. Cada actividad tuvo una finalidad técnica vinculada con el cuerpo y el proceso productivo: observar, ajustar, manipular, recuperar, corregir y comunicar. La realidad aumentada se integró como apoyo visual y no como sustituto del criterio ergonómico.

La propuesta fue sometida a validación por diez expertos del área de ingeniería industrial, ergonomía, seguridad y salud ocupacional, formación técnica y estadística aplicada. La valoración consideró pertinencia de actividades, claridad de objetivos, coherencia con destrezas, factibilidad de aplicación en veinte empresas, suficiencia de recursos y alineación con prevención de trastornos musculoesqueléticos. Los expertos coincidieron en que la propuesta era aplicable, pertinente y técnicamente consistente, siempre que se acompañe de diagnóstico previo del puesto y seguimiento posterior para evitar que la capacitación pierda efecto con el tiempo.

Discusión

Los resultados simulados del artículo sugieren que la estrategia ErgoRA-Industrial puede producir mejoras relevantes en el desarrollo de destrezas ergonómicas frente a una capacitación convencional. Esta tendencia es coherente con Dul et al. (2012), quienes sostienen que la ergonomía debe articular bienestar y desempeño, y con Carayon (2006), quien advierte que los problemas humanos del trabajo deben interpretarse desde sistemas sociotécnicos. La superioridad del grupo experimental no se entiende únicamente por el uso de tecnología, sino por la forma en que la realidad aumentada permitió que el trabajador vea el riesgo en su propio contexto de acción. Esta interpretación coincide con Wilson (2014), Karsh et al. (2006), Rivilis et al. (2008) y Driessen et al. (2011), quienes destacan que las intervenciones ergonómicas son más sólidas cuando se integran al sistema real de trabajo y consideran la participación del trabajador.

La mejora en ajuste postural del puesto fue el hallazgo más fuerte, lo cual dialoga con McAtamney y Corlett (1993) y Hignett y McAtamney (2000), porque RULA y REBA parten del principio de que el riesgo postural puede observarse y graduarse. ErgoRA-Industrial amplía esa lógica: no solo evalúa, sino que enseña al trabajador a reconocer visualmente la desviación y corregirla. Este resultado también se relaciona con Robertson et al. (2013), quienes encontraron beneficios de combinar entrenamiento ergonómico con estación de trabajo ajustable. La diferencia es que, en la propuesta actual, el ajuste no depende únicamente de una explicación verbal, sino de una interacción visual situada que puede facilitar la transferencia al puesto.

La reducción de errores posturales y el aumento del cumplimiento de pausas activas se alinean con la evidencia de Luger et al. (2019), quienes revisaron la función preventiva de los descansos en síntomas musculoesqueléticos, y con Santos et al. (2025), quienes concluyeron que las intervenciones ergonómicas reducen dolor musculoesquelético en

diversos entornos laborales, aunque con efectos que deben interpretarse con cautela clínica. El resultado simulado de esta investigación sugiere que las pausas no deben presentarse como interrupciones improductivas, sino como mecanismos breves de recuperación que protegen continuidad, atención y rendimiento. Esta lectura coincide con Sultan-Taïeb et al. (2017), porque la prevención ergonómica puede tener sentido económico cuando reduce costos por malestar, ausentismo y baja productividad.

La asociación positiva entre interacción con realidad aumentada y desarrollo de destrezas ergonómicas coincide con Akçayır y Akçayır (2017), Garzón y Acevedo (2019), Garzón et al. (2020), Ibáñez y Delgado-Kloos (2018), Jensen y Konradsen (2018), Bower et al. (2014) y Radu (2014), quienes reportaron que la realidad aumentada puede mejorar comprensión, visualización y aprendizaje cuando existe diseño pedagógico adecuado. En este artículo, el aporte de la realidad aumentada se observa en la retroalimentación inmediata. El trabajador no espera a que un supervisor le diga que su postura es incorrecta; la señal aparece durante la acción. Esta inmediatez reduce la distancia entre conocimiento y comportamiento, aspecto clave en la formación de destrezas.

Los resultados también guardan relación con Yang et al. (2023), quienes encontraron que la realidad aumentada en capacitación industrial puede favorecer retención de conocimiento, aunque no necesariamente reduce de inmediato el tiempo de ejecución. Este matiz es importante: una tecnología formativa puede requerir más tiempo al inicio porque el trabajador aprende a leer señales, interpretar información y modificar hábitos. Sin embargo, ese tiempo inicial puede transformarse en seguridad y eficiencia posterior. Mao et al. (2024) también aportan evidencia sobre plataformas de realidad aumentada para evaluación ergonómica, lo que respalda la pertinencia de integrar visualización digital y análisis del puesto.

Desde la salud ocupacional, los hallazgos son consistentes con Punnett y Wegman (2004), Da Costa y Vieira (2010), Hoe et al. (2018), Van Eerd et al. (2016), Brandt et al. (2018), Rasmussen et al. (2020), Jin et al. (2025) y Gregg et al. (2024). Estos autores coinciden, desde distintos enfoques, en que los trastornos musculoesqueléticos no pueden abordarse solo con recomendaciones individuales. Las posturas forzadas, la repetición y la carga física se originan en tareas, ritmos, herramientas, layout, metas productivas y cultura organizacional. Por tanto, el efecto de ErgoRA-Industrial debe interpretarse como parte de una estrategia mayor, que incluya rediseño de puestos, pausas, medición del riesgo y participación de los trabajadores.

La aplicación de Pearson permitió observar que la práctica con realidad aumentada se relacionó con mejores puntajes de destrezas. Esta decisión metodológica se justifica con Schober et al. (2018), quienes explican que los coeficientes de correlación permiten interpretar fuerza y dirección de relaciones entre variables. No obstante, se debe recordar que correlación no equivale a causalidad. Por ello, la investigación integró comparación de grupos mediante t de Student, siguiendo criterios descritos por Kim (2019) y de Winter (2013). Al complementar la t con d de Cohen, conforme recomienda Lakens (2013), se evitó una interpretación limitada al valor p. En estudios aplicados, la magnitud del efecto es decisiva porque una diferencia estadísticamente significativa debe traducirse en cambios útiles para el trabajo.

La confiabilidad del instrumento, expresada en alfa de Cronbach de 0.89, se interpreta como alta consistencia interna. Esta lectura se fundamenta en Tavakol y Dennick (2011), quienes señalan que el alfa ayuda a estimar la coherencia de los ítems dentro de un instrumento. Sin embargo, la confiabilidad no reemplaza la validez. Por eso fue relevante someter el test y la propuesta al juicio de diez expertos. Esta combinación de validez de contenido y confiabilidad fortalece la calidad metodológica del estudio y reduce el riesgo de medir conocimientos generales en lugar de destrezas ergonómicas aplicables.

El contraste con la CEPAL y la UNESCO amplía la discusión. La CEPAL (2025) sostiene que la productividad regional requiere transformación productiva, innovación y coordinación. UNESCO (2022, 2025) vincula la formación técnica con empleabilidad, transición digital y trabajo decente. El Ministerio de Educación, Deporte y Cultura del Ecuador (2021, 2025) enfatiza competencias digitales y destrezas con criterios de desempeño. Aunque estas fuentes no son estudios ergonómicos experimentales, permiten ubicar la propuesta dentro de una política formativa más amplia: el trabajador industrial contemporáneo requiere capacidades técnicas, digitales, socioemocionales y preventivas. La ergonomía aumentada puede ser una vía concreta para articular esas capacidades.

La principal contribución científica de este artículo es proponer una articulación entre ergonomía física, formación de destrezas y realidad aumentada aplicada al puesto de trabajo. Frente a capacitaciones tradicionales centradas en diapositivas, ErgoRA-Industrial plantea aprender mirando el riesgo, corrigiendo el movimiento y transfiriendo la destreza al contexto real. Esta orientación dialoga con la literatura de intervenciones participativas y tecnológicas, pero aporta un énfasis particular: el cuerpo del trabajador no es solo objeto de protección, sino fuente de información para mejorar el diseño

productivo. Cuando el trabajador aprende a sentir, observar y explicar el riesgo, la empresa gana un sensor humano de prevención.

A pesar de lo anterior, el modelo presenta limitaciones. Al tratarse de resultados simulados, la evidencia debe validarse con datos reales, seguimiento longitudinal y medición objetiva de indicadores como ausentismo, dolor reportado, productividad, errores, puntajes RULA/REBA y costos. Además, la realidad aumentada puede generar distracción si se diseña con exceso de información, como advierten investigaciones sobre carga cognitiva y entrenamiento industrial. Por ello, se recomienda que la tecnología sea simple, progresiva y subordinada al objetivo ergonómico. La pregunta no debe ser cuánta tecnología se usa, sino cuánto ayuda a cuidar el cuerpo y mejorar el trabajo.

Conclusiones

El artículo permite concluir que la ergonomía laboral, cuando se trabaja como desarrollo de destrezas y no solo como transmisión de recomendaciones, puede convertirse en una estrategia de mejora simultánea de bienestar y productividad. Los resultados simulados muestran que la propuesta ErgoRA-Industrial tendría potencial para fortalecer el ajuste postural, la manipulación manual segura, la conciencia corporal, las pausas activas y la lectura de señales ergonómicas. La contribución científica radica en demostrar, a nivel de modelo metodológico, que la realidad aumentada puede funcionar como mediadora entre el conocimiento técnico y la acción corporal situada, permitiendo que el trabajador observe el riesgo, lo comprenda y lo corrija dentro de su propio entorno laboral.

Asimismo, se concluye que la evaluación de una intervención ergonómica requiere combinar evidencia descriptiva, correlacional, comparativa y de magnitud práctica. El uso de alfa de Cronbach, correlación de Pearson, t de Student y d de Cohen aporta rigor al análisis y evita reducir la discusión a percepciones generales. Para futuras investigaciones se recomienda aplicar el diseño con datos reales en empresas industriales, incorporar mediciones objetivas de riesgo postural mediante RULA y REBA, realizar seguimiento posterior y estimar beneficios económicos. Cuidar el cuerpo para trabajar mejor no es un lema motivacional; es una decisión técnica, ética y productiva que puede sostener la salud del trabajador y la competitividad de la empresa.

Referencias

Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>

- Bower, M., Howe, C., McCredie, N., Robinson, A., & Grover, D. (2014). Augmented Reality in education – cases, places and potentials. *Educational Media International*, 51(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/09523987.2014.889400>
- Brandt, M., Madeleine, P., Samani, A., Ajslev, J. Z. N., & Jakobsen, M. D. (2018). Effects of a participatory ergonomics intervention with technical measurements of physical workload in the construction industry: Cluster randomized controlled trial. *Journal of Medical Internet Research*, 20(12), e10272. <https://doi.org/10.2196/10272>
- Carayon, P. (2006). Human factors of complex sociotechnical systems. *Applied Ergonomics*, 37(4), 525–535. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2006.04.011>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2025). Panorama of Productive Development Policies in Latin America and the Caribbean, 2025: How to escape the trap of low capacity for growth. Executive summary. ECLAC.
- Da Costa, B. R., & Vieira, E. R. (2010). Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: A systematic review of recent longitudinal studies. *American Journal of Industrial Medicine*, 53(3), 285–323. <https://doi.org/10.1002/ajim.20750>
- de Winter, J. C. F. (2013). Using the Student's t-test with extremely small sample sizes. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 18(10), 1–12. <https://doi.org/10.7275/e4r6-dj05>
- Driessen, M. T., Proper, K. I., Anema, J. R., Knol, D. L., Bongers, P. M., & van der Beek, A. J. (2011). The effectiveness of participatory ergonomics to prevent low-back and neck pain: Results of a cluster randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 37(5), 383–393. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3163>
- Dul, J., Bruder, R., Buckle, P., Carayon, P., Falzon, P., Marras, W. S., Wilson, J. R., & van der Doelen, B. (2012). A strategy for human factors/ergonomics: Developing the discipline and profession. *Ergonomics*, 55(4), 377–395. <https://doi.org/10.1080/00140139.2012.661087>
- Garzón, J., & Acevedo, J. (2019). Meta-analysis of the impact of augmented reality on students' learning gains. *Educational Research Review*, 27, 244–260. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2019.04.001>
- Garzón, J., Kinshuk, Baldiris, S., Gutiérrez, J., & Pavón, J. (2020). How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis. *Educational Research Review*, 31, Article 100334. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100334>

- Greggi, C., Cinquini, M., Barone, G., Giordano, V., & Fiori, F. (2024). Work-related musculoskeletal disorders: A systematic review. *Journal of Clinical Medicine*, 13(13), 3964. <https://doi.org/10.3390/jcm13133964>
- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid entire body assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2), 201–205. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00039-3](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3)
- Hoe, V. C. W., Urquhart, D. M., Kelsall, H. L., Zamri, E. N., & Sim, M. R. (2018). Ergonomic interventions for preventing work-related musculoskeletal disorders of the upper limb and neck among office workers. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2018(10), CD008570. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008570.pub3>
- Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education*, 123, 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23, 1515–1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>
- Jin, X., Dong, Y., Yang, L., Huang, W., Cao, L., Zhang, Z., & He, L. (2025). Ergonomic interventions to improve musculoskeletal disorders among vehicle assembly workers: A one-year longitudinal study. *BMC Public Health*, 25, Article 824. <https://doi.org/10.1186/s12889-025-21798-1>
- Karsh, B. T., Holden, R. J., Alper, S. J., & Or, C. K. L. (2006). A human factors engineering paradigm for patient safety: Designing to support the performance of the healthcare professional. *Quality and Safety in Health Care*, 15(Suppl 1), i59–i65. <https://doi.org/10.1136/qshc.2005.015974>
- Kim, H. Y. (2019). Statistical notes for clinical researchers: The independent samples t-test. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 44(3), e26. <https://doi.org/10.5395/rde.2019.44.e26>
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*, 4, Article 863. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863>
- Luger, T., Maher, C. G., Rieger, M. A., & Steinhilber, B. (2019). Work-break schedules for preventing musculoskeletal symptoms and disorders in healthy workers.

- Cochrane Database of Systematic Reviews, 2019(7), CD012886.
<https://doi.org/10.1002/14651858.CD012886.pub2>
- Mao, W., Hu, Y., Yang, X., Wang, J., Wan, X., & Fang, H. (2024). ARE-Platform: An augmented reality-based ergonomic assessment platform. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 40(9), 2354–2370.
<https://doi.org/10.1080/10447318.2023.2173894>
- McAtamney, L., & Corlett, E. N. (1993). RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2), 91–99.
[https://doi.org/10.1016/0003-6870\(93\)90080-S](https://doi.org/10.1016/0003-6870(93)90080-S)
- Ministerio de Educación, Deporte y Cultura del Ecuador. (2021). Currículo priorizado con énfasis en competencias comunicacionales, matemáticas, digitales y socioemocionales. Ministerio de Educación, Deporte y Cultura.
- Ministerio de Educación, Deporte y Cultura del Ecuador. (2025). Currículo vigente. Ministerio de Educación, Deporte y Cultura.
- Organización Internacional del Trabajo. (2024). *Ergonomics*. International Labour Organization.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2022). Transforming technical and vocational education and training for successful and just transitions: UNESCO strategy 2022–2029. UNESCO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2025). Technical and vocational education and training: Skills for work and life. UNESCO.
- Occupational Safety and Health Administration. (2026). *Ergonomics*. United States Department of Labor.
- Punnett, L., & Wegman, D. H. (2004). Work-related musculoskeletal disorders: The epidemiologic evidence and the debate. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(1), 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2003.09.015>
- Radu, I. (2014). Augmented reality in education: A meta-review and cross-media analysis. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18, 1533–1543.
<https://doi.org/10.1007/s00779-013-0747-y>
- Rasmussen, C. D. N., Holtermann, A., Bay, H., & Søgaard, K. (2020). A multifaceted workplace intervention for low back pain in eldercare workers: A stepped-wedge

- cluster-randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 46(4), 429–436. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3884>
- Rivlis, I., Van Eerd, D., Cullen, K., Cole, D. C., Irvin, E., Tyson, J., & Mahood, Q. (2008). Effectiveness of participatory ergonomic interventions on health outcomes: A systematic review. *Applied Ergonomics*, 39(3), 342–358. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2007.08.006>
- Robertson, M. M., Ciriello, V. M., & Garabet, A. M. (2013). Office ergonomics training and a sit-stand workstation: Effects on musculoskeletal and visual symptoms and performance of office workers. *Applied Ergonomics*, 44(1), 73–85. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.05.001>
- Santos, W., Rojas, C., Isidoro, R., Lorente, A., Dias, A., Mariscal, G., Benlloch, M., & Lorente, R. (2025). Efficacy of ergonomic interventions on work-related musculoskeletal pain: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 14(9), 3034. <https://doi.org/10.3390/jcm14093034>
- Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. *Anesthesia & Analgesia*, 126(5), 1763–1768. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
- Sultan-Taïeb, H., Parent-Lamarche, A., Gaillard, A., Stock, S., Nicolakakis, N., Hong, Q. N., Vezina, M., Coulibaly, Y., & Vézina, N. (2017). Economic evaluations of ergonomic interventions preventing work-related musculoskeletal disorders: A systematic review of organizational-level interventions. *BMC Public Health*, 17, Article 935. <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4935-y>
- Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International Journal of Medical Education*, 2, 53–55. <https://doi.org/10.5116/ijme.4dfb.8dfd>
- Van Eerd, D., Munhall, C., Irvin, E., Rempel, D., Brewer, S., van der Beek, A. J., Dennerlein, J. T., Tullar, J., Skivington, K., Pinion, C., & Amick, B. (2016). Effectiveness of workplace interventions in the prevention of upper extremity musculoskeletal disorders and symptoms: An update of the evidence. *Occupational and Environmental Medicine*, 73(1), 62–70. <https://doi.org/10.1136/oemed-2015-102992>
- Wilson, J. R. (2014). Fundamentals of systems ergonomics/human factors. *Applied Ergonomics*, 45(1), 5–13. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.03.021>

Yang, X., Mao, W., Hu, Y., Wang, J., Wan, X., & Fang, H. (2023). Does augmented reality help in industrial training? A comprehensive evaluation based on natural human behavior and knowledge retention. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 98, Article 103516. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2023.103516>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés