



COLEGIO DE  
PROFESIONALES  
EXPERTOS EN  
SEGURIDAD MINERA  
DE CHILE A.G.

# XXVII SEMINARIO NACIONAL DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

COPRESEM 2024

04 de Octubre 2024, La Serena

## Uso de exoesqueletos industriales en el sector minero ¿Ayudan a reducir los riesgos de TME?

**PhD.(c). Carlos Ibarra Villanueva**

Académico Programa de Ergonomía, Departamento de Kinesiología  
Universidad de Atacama, Chile



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD  
Programa de Ergonomía



UNIVERSIDAD  
DE ATACAMA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD  
Programa de Ergonomía

## Misión

Ser un centro de referencia de carácter Regional y Nacional, que imparta docencia avanzada en esta disciplina entregando formación de postgrado y postítulo en todas las áreas de la ergonomía, con el fin de contribuir de manera activa a la transformación del trabajo en beneficio de las personas y de las empresas de la región, aportando con la investigación aplicada en las comunidades laborales y al desarrollo científico y social de la región de Atacama y del país.

## Objetivos:

- *Generar conocimiento científico de alta calidad, en ergonomía por medio de la investigación avanzada aplicada a los contextos de trabajo masculinizados, feminizados y mixtos, en diferentes sectores productivos y de servicio.*
- *Realizar formación de postítulo y postgrado en ergonomía.*
- *Colaborar con instituciones públicas y privadas en la transmisión de conocimientos.*
- *Aportar a difundir conocimientos y publicar los resultados de investigaciones aplicadas en los medios más pertinentes.*

UNIVERSIDAD DE ATACAMA

Inicio Ergonomía Equipo Alianzas Técnicas Líneas de Investigación Creación de temas Contacto

Información sobre Salud y Seguridad en el Trabajo en contexto de COVID-19

Columna de Opinión

Bienvenidos a la plataforma Virtual de Entorno de Aprendizaje de la UDA.

RESULTADOS 2022

Proyecto de Investigación en Prevención de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales

Historia de la Ergonomía  
Leer

¿Qué es Ergonomía?  
Leer

Diplomado de Ergonomía v2 CERRADO  
Ver

Noticias

Académicos y académicas del Programa de Ergonomía del Dpto. de Kinesiólogía presentaron

Auspiciosos encuentros de colaboración internacional en Ergonomía y Salud Pública

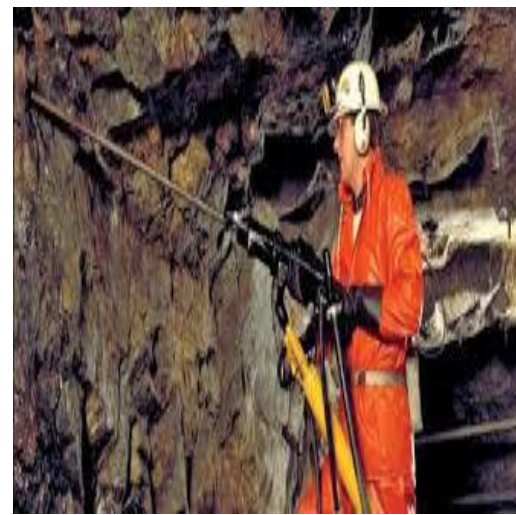
Académicos UDA se convierten en los primeros latinoamericanos en exponer en Congreso

# Contexto de trabajo en minería chilena

A pesar de la incorporación sostenida de tecnología



Aun predominan muchas actividades manuales altamente exigentes



# Los trastornos musculoesqueléticos laborales en Chile



- Los trastornos musculoesqueléticos (TME) representan un problema de salud mundial
- Se estima que estos afectan alrededor de **un tercio de la población mundial** y constituyen una de las causas más importantes de discapacidad crónica, ausencia laboral por enfermedad, reducción productividad y calidad de vida (Alatab et al., 2017; Bonfigliol et a., 2022)
- En Chile, los TME son la principal enfermedad profesional (EP), en el año 2022, se **registraron 47 462 denuncias de EP**, y de estas, los TME representaron el 43 %; sin embargo, solo fue reconocida como EP el 10 % del total de las denuncias (SUSESO, 2023; Astudillo et al, 2024)

- Los TME son un término general para varias enfermedades y lesiones en los músculos, tendones, ligamentos, articulaciones y huesos. Estos pueden afectar la espalda, la región cervical, así como las extremidades superiores e inferiores, lo que provoca dolor y discapacidad (Cieza et el, 2019). Son enfermedades multifactoriales: intervienen en su causa condiciones personales como la edad, el sexo, la antropometría, los antecedentes hereditarios, entre otras (Bodin et al. 2022).
- Sin embargo, hay factores modificables relacionados con la biomecánica, como el uso excesivo del sistema osteomuscular, el trabajo repetitivo, las posturas exigentes, la fuerza y el manejo manual de cargas, entre otros, así como aspectos organizacionales y ambientales, y riesgos psicosociales (Nambiema et al. 2020).

# Tipos de “nuevas tecnologías” en minería



Según CESCO (2019) los tipos de “nuevas tecnologías” que están siendo incorporadas en la minería chilena, se considera al menos los siguientes tipos:

1. Sistemas de Conducción Autónomos de camiones de extracción CAEX
2. Sistemas de Inteligencia Artificial y/o robótica en los procesos
3. Realidad Virtual para el aprendizaje en centros de formación minera.
4. Incorporación de Exoesqueletos y/o otras tecnologías para disminuir trabajo físico.



## El Teniente: Planta de Chancado Secundario inicia plan piloto para el uso de exoesqueletos

Ago 18, 2023

Se estima que sea un pilotaje que durará tres meses.



REPORTEMINERO

INICIO

NOTICIAS

VIDEOS

REPORTAJES

CAPÍTULOS COMPLETOS

Por Reporte Minero . 5 de agosto de 2019

## Impulsan incorporación de exoesqueletos en la industria minera



### Lo último

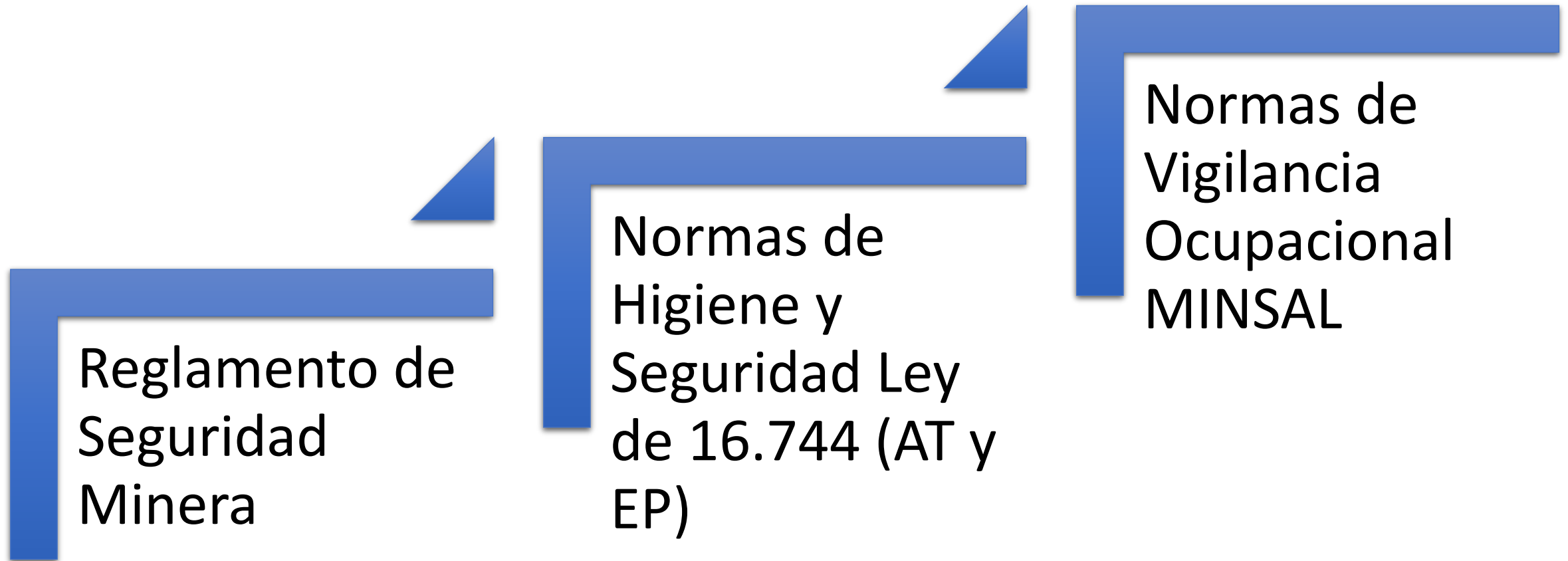
BHP da a conocer sus resultados financieros para el año fiscal 2024

Ago 27, 2024

Cbb Cales se posiciona en el mercado minero con plantas en zonas estratégicas y priorizando la seguridad

- Los exoesqueletos se definen como sistemas mecánicos o textiles que llevan los trabajadores para proporcionar asistencia física, compensar esfuerzos y mejorar las capacidades motoras (Theurel et al., 2018).
- Los exoesqueletos industriales pasivos se perfilan como una solución, que ahora se comercializa en Chile, para ayudar a reducir los TME.

# Marco Normativo: en minería chilena



No hay normas que hagan referencia a la incorporación de estas nuevas tecnologías en el trabajo minero y su relación respecto del ser humano que realiza la actividad de trabajo.



**CUERPO ENTERO**



**ESPALDA**



**EXTREMIDADES  
SUPERIORES**



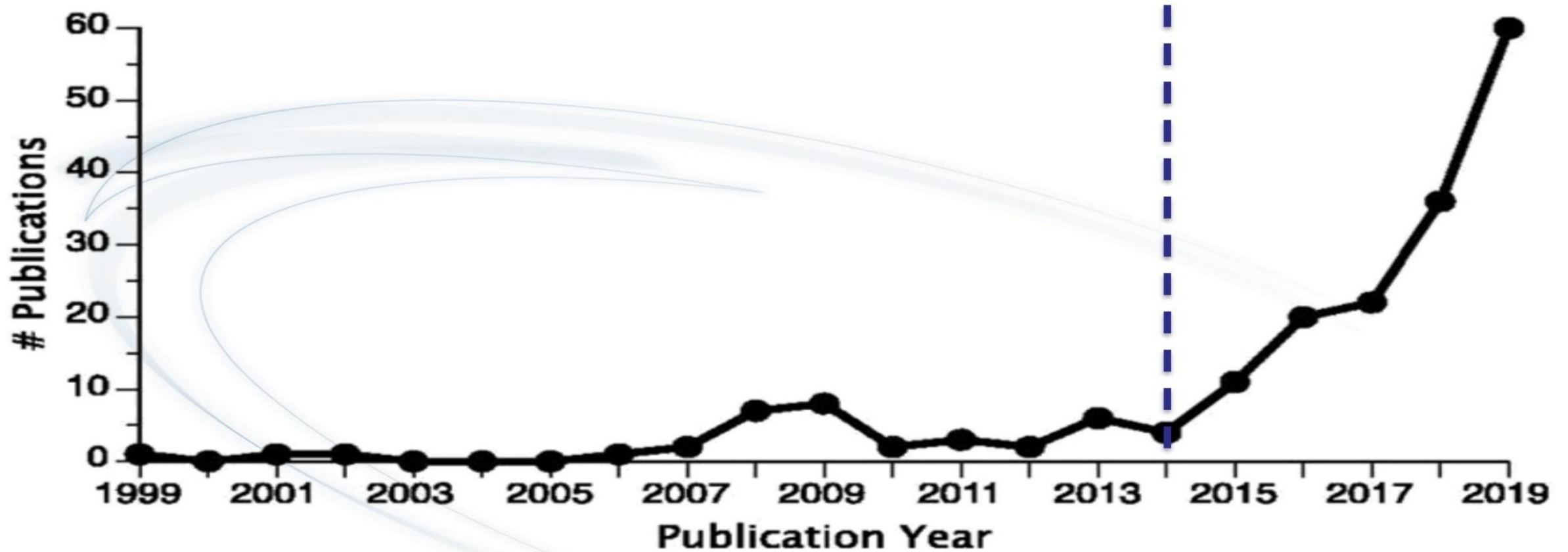
**EXTREMIDADES  
INFERIORES**





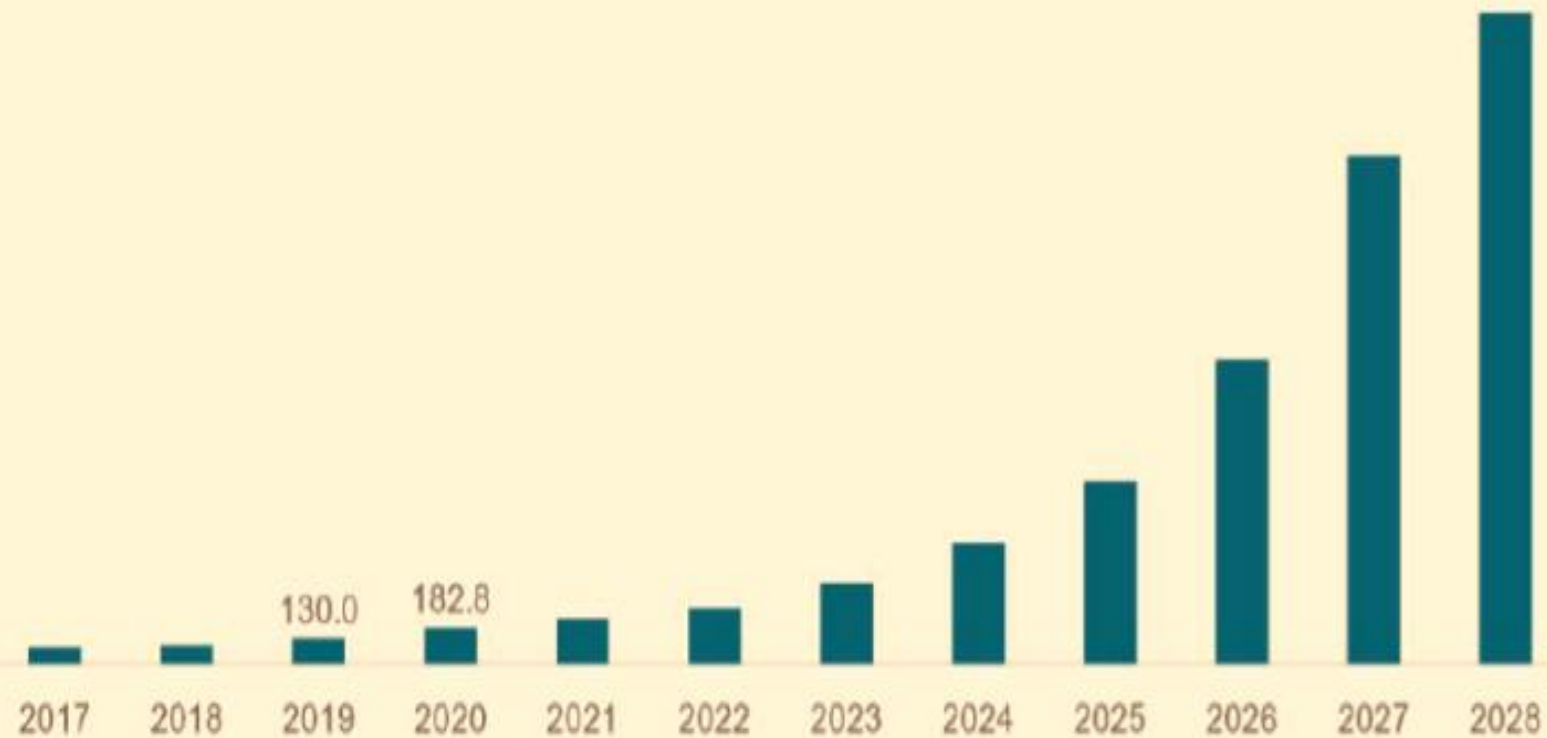
# ¿Qué sabemos sobre los exoesqueletos?

## Aceleración de estudios sobre exoesqueletos



# Pronóstico de ventas de exoesqueletos

North America Wearable Robotic Exoskeleton Market Size, 2017-2028 (USD Million)



El mercado de exoesqueletos está valorado en **392 millones de dólares estadounidenses en 2020** y crecerá a **6800 millones de dólares estadounidenses en ingresos globales en 2030**.

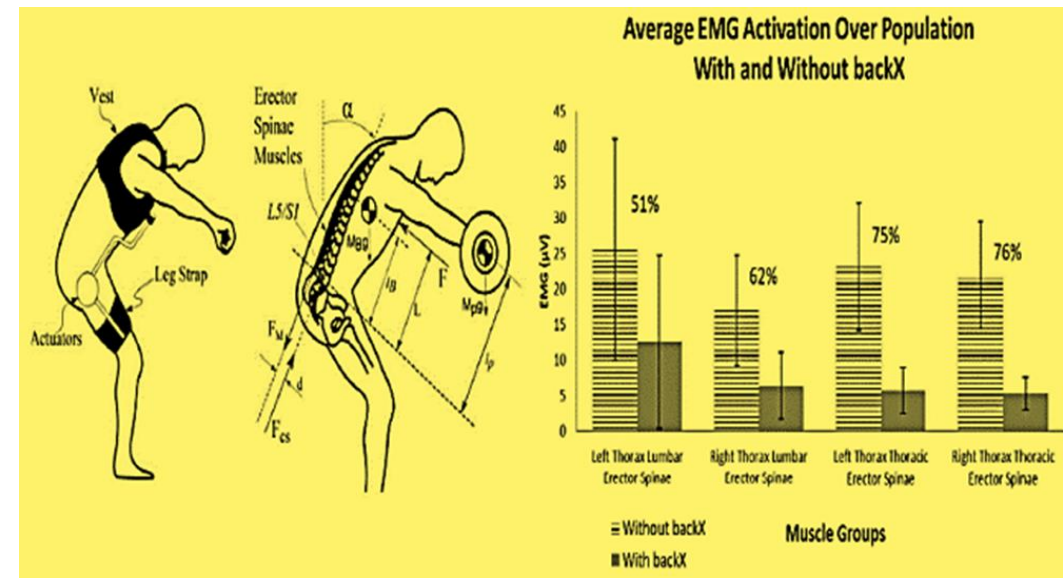
Fig. 10. Previsión mercado EE. Fuente: *grandviewresearch*, 2021

# Toneladas de modelos !

<https://exoskeletonreport.com/>



## Pregunta 2(P2): ¿Cuáles son los motivos más frecuentes y qué aspectos ergonómicos se tienen en cuenta?



Muchos de estos efectos prometedores se han recogido principalmente en actividades simuladas de laboratorio, pocos de ellos en trabajadores reales....

Sin embargo, la frecuencia de uso de exoesqueletos industriales no satisface las grandes expectativas creadas, debido a la falta de pruebas biomecánicas y médicas de sus efectos mitigadores, especialmente a largo plazo, así como a aspectos relacionados con la **aceptabilidad y la aceptación** (Ralf et al., 2023; Crea et al., 2021; de Bock et al., 2021; de Looze et al., 2016; Steinhilber y Jäger, 2020).

## Pregunta 2(P2): ¿Cuáles son los motivos más frecuentes y qué aspectos ergonómicos se tienen en cuenta?

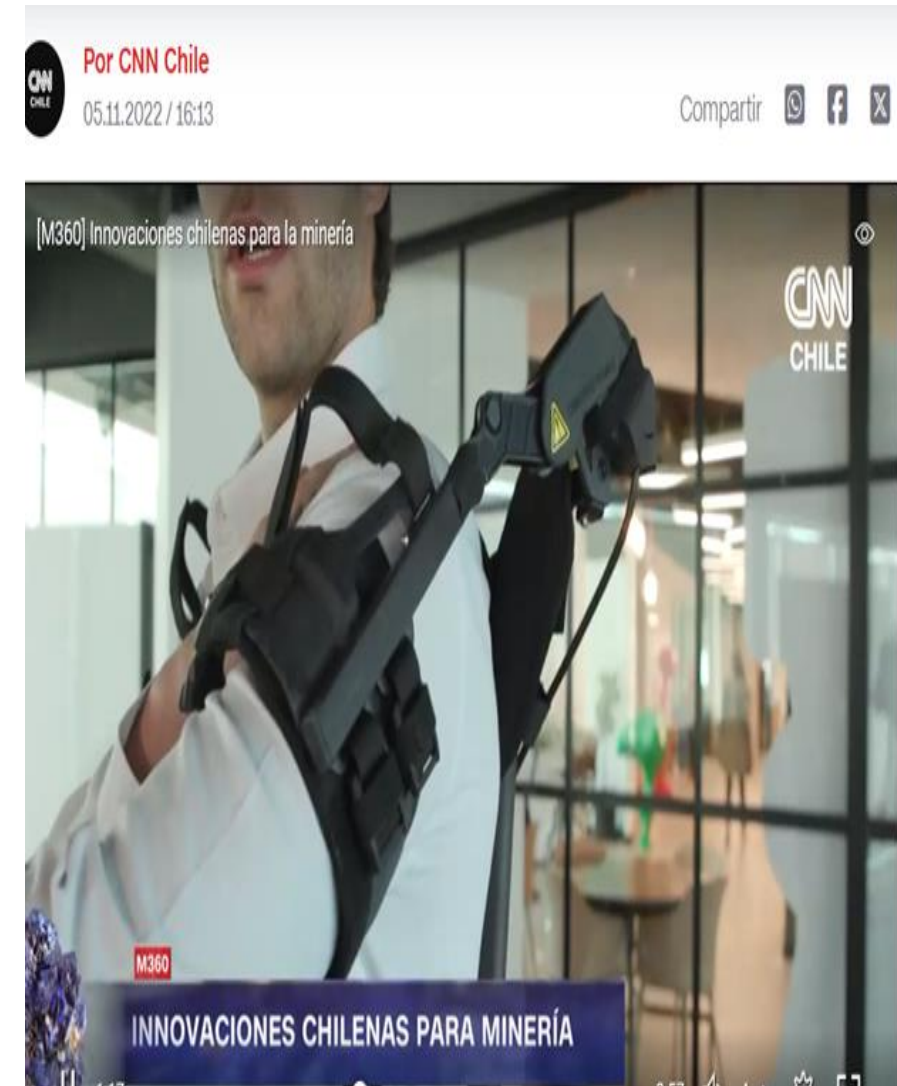
- Los exoesqueletos pueden no ser adecuados para tareas dinámicas, y su eficacia en el mundo real es incierta (De Bock et al., 2022). El uso a largo plazo en industrias muestra que el 35 % de los trabajadores dejan de utilizarlos al cabo de un tiempo (de Vries et al., 2023; Theurel y Desbrosses, 2019).
- Los elevados costes (3.000-40.000 USD) y la baja aceptabilidad social limitan aún más su adopción (Chen et al., 2017; Elprama et al., 2022).
- La integración de exoesqueletos requiere comprender sus impactos en la salud y la eficiencia de la producción (Dempsey et al., 2018).
- La investigación actual sobre nueva tecnología industria 4.0 (incluido los exoesqueletos), suele descuidar la Ergonomía y Factores Humanos (FH/E), centrándose más en los aspectos teóricos que en las aplicaciones en el mundo real (Cunha et al., 2022; Kadir et al., 2019).

## Exoesqueleto en el trabajo: 6 puntos de vigilancia



## Pregunta 2(P2): ¿Cuáles son los motivos más frecuentes y qué aspectos ergonómicos se tienen en cuenta?

- El sector minero chileno se enfrenta a retos como el envejecimiento de la mano de obra y la disminución de la ley del cobre, que elevan los costes y requieren tecnologías de Industria 4.0. Las empresas estatales utilizan tecnología obsoleta, lo que da lugar a un exigente trabajo manual.
- Los exoesqueletos se están probando en empresas mineras chilenas, por lo que es importante reunir pruebas sobre sus repercusiones técnicas y de salud.
- Estos dispositivos deben evaluarse dentro de la tríada **persona-exoesqueleto-situación** teniendo en cuenta factores fisiológicos, biomecánicos y organizativos. Evaluar la idoneidad ergonómica antes de la compra es esencial para evitar fracasos en la implantación.

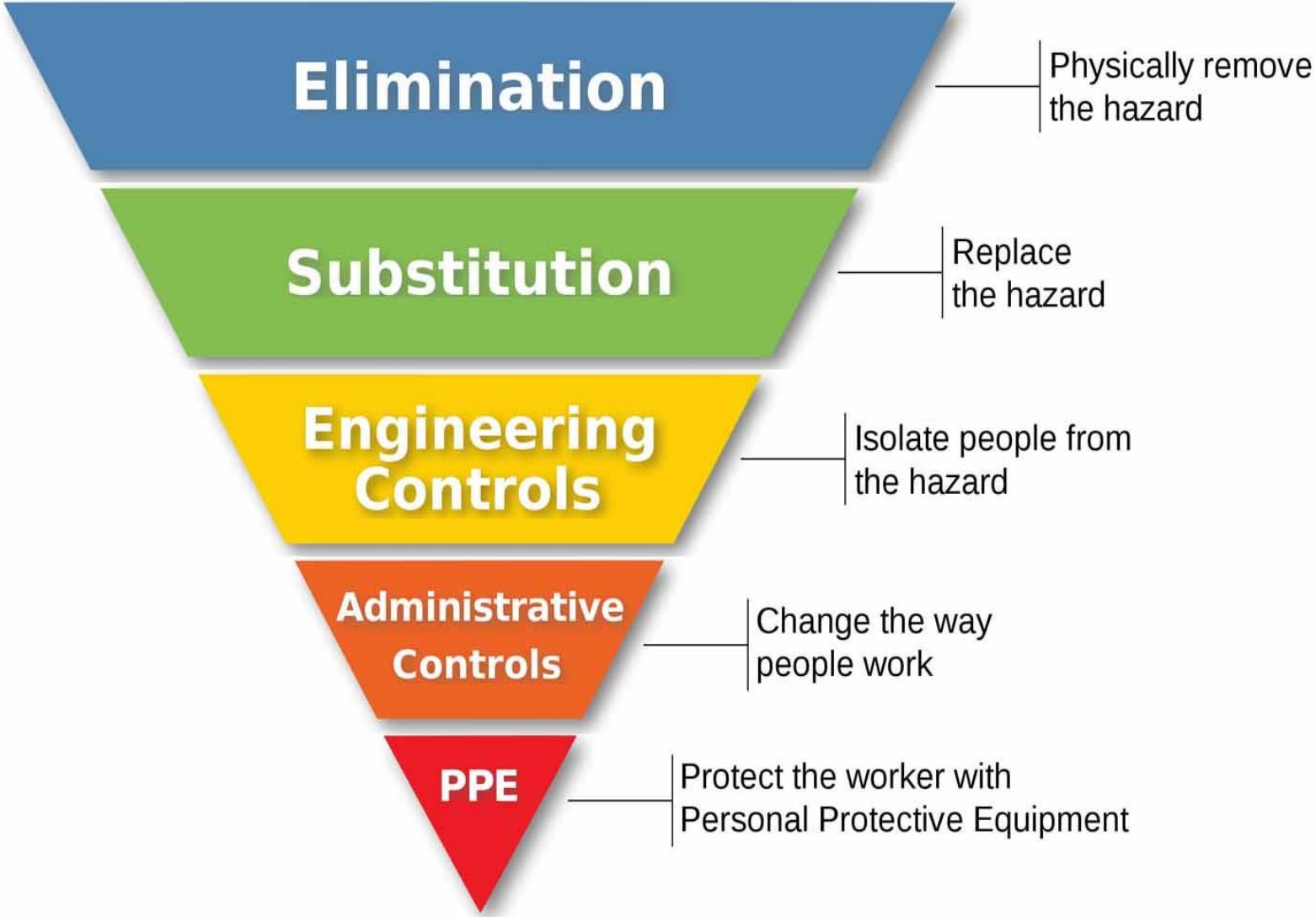


# Hierarchy of Controls

Most effective



Least effective



Un exoesqueleto no es la principal medida en jerarquía de controles.

Se debe considerar cuando no es posible suprimir el riesgo





UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD  
Programa de Ergonomía

# Proyecto Investigación ID 73-2022: Evaluación de la Usabilidad de Exoesqueletos para la prevención de Trastornos-musculoesqueléticos en actividades de mantenimiento en la industria minera

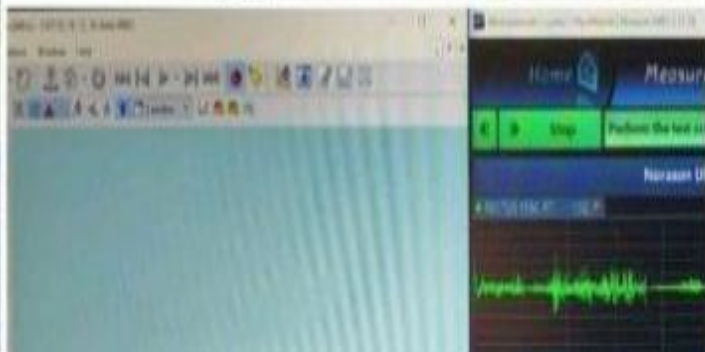


PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN PREVENCIÓN DE ACCIDENTES Y ENFERMEDADES PROFESIONALES AÑO 2022: RESULTADOS PROCESO DE ADJUDICACIÓN



## RESULTADOS 2022

Proyectos de Investigación en Prevención de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales



# Conclusiones

El uso de exoesqueletos pasivos puede ser de utilidad en la prevención de riesgos de TME en algunas tareas particulares.

Siendo una tecnología emergente (Industria 4.0) es necesario conocer más sobre los posibles efectos de su uso prologando a través de trabajos de campo, así como identificar barreras y facilitadores en su implementación

Hoy es un desafío responder a estas interrogantes cotidianas en las empresas que buscan una solución al tema de los TME y que están sujetas a la fuerte entrada comercial de estos productos

Antes de decidir adquirir un exoesqueleto, es importante analizar **ergonómicamente su real potencialidad de uso y evitar así el fracaso en una implementación inadecuada.**

En particular en Chile, los exoesqueletos han comenzado a ser comercializados y en algunas empresas mineras ya se ejecutan implementaciones piloto . Es por esto que adquiere mayor relevancia la generación de evidencia aplicada en terreno respecto de este tipo de dispositivos técnicos, sus efectos en salud y potencialidad es de uso.



# Ergonomía Uda

<http://www.salud.uda.cl/ergonomia/>



UNIVERSIDAD  
DE ATACAMA