



Maestría en Ergonomía Laboral

Proyecto de Titulación asociado al Programa de Investigación sobre Seguridad y Salud en el Trabajo.

TÍTULO: BENEFICIOS Y LIMITACIONES DEL USO DE EXOESQUELETOS OCUPACIONALES PARA LA PREVENCIÓN DE TRASTORNOS MUSCULOESQUELÉTICOS: REVISIÓN SISTEMÁTICA EXPLORATORIA.

MAESTRANTE

Nombre: Doris Amanda Puebla Farías

Correo: amanda.1202h@hotmail.com

DIRECTORA/A

Nombre: Ing. MSc. Rubén

Vásquez

Correo:

ruben.vasquez@uisek.edu.ec

Fecha: 2020/08/21

R E S U M E N El interés de la industria por los exoesqueletos ocupacionales ha incrementado, pues su uso disminuiría las demandas físicas de los trabajadores, lo que teóricamente atenuaría los mecanismos de lesión para los trastornos musculoesqueléticos, sin embargo el uso de esta prometedora tecnología podría entrañar riesgos para la salud y seguridad de los trabajadores ⁽¹⁾ **Objetivo:** Señalar los efectos protectivos de los exoesqueletos ocupacionales sobre los mecanismos fisiopatológicos que están involucrados en el desarrollo de Trastornos musculoesqueléticos y analizar los posibles efectos adversos y/o limitaciones de su uso. **Métodos:** Se realizará una Revisión de literatura científica mediante la metodología de "Scoping review". Las bases de datos utilizadas serán Medline a través de Pubmed y Scopus, se completará la búsqueda con una revisión de la bibliografía de los artículos seleccionados. Se incluirá literatura en inglés, publicada los últimos 15 años. **Resultados:** Se identificaron 21 artículos que describieron 15 modelos de exoesqueletos industriales, de estos, 6 fueron de la parte superior del cuerpo, 8 del tronco y 1 de la parte inferior del cuerpo, 13 fueron pasivos y 2 activos. Los exoesqueletos estaban dirigidos a apoyar trabajos por encima de la cabeza, levantamiento y descenso, transporte de carga, flexión hacia adelante, flexión estática, sentarse y ponerse de pie. Dieciocho artículos fueron experimentos de laboratorio, mientras que solo 3 investigaron el uso de exoesqueletos en condiciones reales de trabajo, los parámetros estudiados fueron demandas físicas, fatiga muscular, dolor, adaptaciones posturales y costo metabólico. Para 5 modelos de cuerpo superior se demostró una disminución en las demandas físicas durante las tareas sobre el nivel del hombro y manipulación repetitiva, con un incremento en la actividad de la musculatura antagonista (tríceps braquial). Para 6 modelos dirigidos a columna lumbar se demostró una reducción de las demandas físicas durante las tareas de

elevación, descenso y flexión estática, así como disminución sobre las cargas de la columna lumbar y aumento de la actividad de la musculatura abdominal. Para el único modelo que evaluó una silla exoesqueleto dirigida a miembros inferiores, se evidenció reducción sobre las cargas físicas de las piernas. **Conclusión:** Los beneficios del uso de exoesqueletos ocupacionales sobre los mecanismos involucrados en los trastornos musculoesqueléticos son prometedores, pero se requieren mayor número de investigaciones que evalúen el uso de dichos dispositivos en entornos de trabajo real, tomando en cuenta posibles consecuencias a corto y largo plazo.

Palabras clave: Dispositivo exoesqueleto. Enfermedades musculoesqueléticas. Fenómenos biomecánicos. Extremidad superior. Ergonomía. Dolor de la región lumbar

ABSTRACT

Industry interest in occupational exoskeletons has increased, as their use would decrease the physical demands of workers, which would theoretically attenuate the injury mechanisms for musculoskeletal disorders, however the use of this promising technology could pose health risks and worker safety (1) **Objectives:** Indicate the protective effects of occupational exoskeletons on the pathophysiological mechanisms that are involved in the development of musculoskeletal disorders and analyze the possible adverse effects and / or limitations of their use. **Methods:** A Scientific Literature Review will be carried out using the "Scoping review" methodology. The databases used will be Medline through Pubmed and Scopus, the search will be completed with a review of the bibliography of the selected articles. Literature in English will be included, published in the last 15 years. **Results:** Twenty-one articles were identified that described 16 models of industrial exoskeletons, of these, 6 were from the upper body, 9 from the trunk and 1 from the lower body, 13 were passive and 3 actives. The exoskeletons were aimed at supporting overhead work, lifting and lowering, load carrying, forward bending, static bending, sitting and standing. Eighteen articles were laboratory experiments, while only 3 investigated the use of exoskeletons in real working conditions, the parameters studied were physical demands, muscle fatigue, pain, postural adaptations and metabolic cost. For 7 upper body models, a decrease in physical demands was demonstrated during the tasks of over the shoulder level and repetitive manipulation, with an increase in the antagonist muscles (triceps brachii and tibialis anterior).

For 6 models aimed at the lumbar spine, a reduction in physical demands was demonstrated during the lifting, lowering and static flexion tasks, as well as a reduction in the loads on the lumbar spine and an increase in abdominal muscles. For the only model that evaluated an exoskeleton chair aimed at the lower limbs, a reduction in the physical loads of the legs was evidenced. **Conclusion:** The benefits of the use of occupational exoskeletons on the mechanisms involved in musculoskeletal disorders are promising, but more research is required to evaluate the use of such devices in real work environments, taking into account possible short and long-term consequences.

Keywords: Exoskeleton Device. Musculoskeletal Disease. Biomechanical Phenomena. Upper extremity. Ergonomics. Low back pain.

Introducción

"Los Trastornos Musculoesqueléticos (TME) son un conjunto de lesiones inflamatorias o degenerativas de músculos, tendones, articulaciones, ligamentos, nervios, etc." ^(2 p3).

En cuanto a los segmentos corporales que suelen afectarse más frecuentemente tenemos al cuello, espalda, hombros, codos, muñecas y manos. Teniendo como síntoma predominante el dolor, mismo que está asociada a inflamación, pérdida de fuerza y disminución o incapacidad funcional de la zona anatómica afectada. ⁽²⁾

Los TME a nivel de extremidad superior están principalmente relacionados con factores de riesgo de repetitividad, posturas forzadas, esfuerzo físico, factores ambientales y organizacionales ⁽³⁾.

En cuanto a los desórdenes de la región lumbar, estos se dan en relación con la exposición de movimientos repetitivos, levantamiento y transporte de cargas, sacudidas repentinas, vibración, flexión y torción de columna y trabajo en espacio reducido ⁽⁴⁾

Debido a la alta incidencia de la patología musculoesquelética en el ámbito laboral, se han establecido intervenciones activas,

pasivas, correctivas y evaluativas ⁽⁵⁾. En este sentido, la Ergonomía juega un papel injerente muy importante, pues orienta dichas intervenciones en función de las características y las necesidades de las personas que las integran, intentando lograr un mejor manejo en la calidad de vida laboral. ⁽⁶⁾.

En los últimos años, investigadores han centrado su interés en nuevos enfoques para la prevención de los trastornos musculoesqueléticos, como es el uso de exoesqueletos ⁽¹⁾

El exoesqueleto, es un recurso importante en la Ergonomía, el mismo fue ya desarrollado alrededor del año 1960, acorde a los historiadores, la empresa General Electric Research (USA) fue la pionera en el desarrollo del "Hardiman", un exoesqueleto de cuerpo entero el cual aumenta la capacidad de carga del usuario facilitando el levantamiento de objetos pesados. ⁽⁷⁾

Con el advenimiento del siglo 21 el número de usuarios de estos equipos aumentó de manera considerable, no solo en el campo de rehabilitación física y área militar, donde muchos de estos cuentan con certificaciones internacionales (por ejemplo, de la FDA de Estados Unidos y de la CE en Europa), sino también en la ergonomía aplicada al trabajo, donde la industria tiene un gran interés por el potencial de esta nueva tecnología para prevenir los TME. Esfuerzos se han puesto en marcha enfocados en su diseño con el objetivo de que no existan restricciones o limitaciones en su uso ⁽⁷⁾. Sin embargo, acorde a revisiones publicadas los exoesqueletos de aplicación ocupacional aún presentan ciertos condicionamientos de uso ⁽⁸⁾.

La presente revisión tiene como objetivo: Señalar los efectos protectivos de los exoesqueletos ocupacionales sobre los mecanismos fisiopatológicos que están involucrados en el desarrollo de Trastornos musculoesqueléticos y analizar los posibles efectos adversos y/o limitaciones de su uso.

Método

Protocolo y registro: Se realizará un estudio de revisión de literatura científica mediante la metodología de "Scoping Review" de acuerdo con el protocolo de Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analysis Protocols (PRISMA-ScR), que fue revisado por el equipo de investigación y los miembros de Health Canada. El protocolo final se registró prospectivamente con el Open Science Framework el 6 de septiembre de 2016 (<https://osf.io/kv9hu/>).

Criterios de elegibilidad:

Para ser incluidos en la revisión, los documentos deberán ser estudios experimentales de laboratorio, presentar resultados fisiológicos relacionados con el uso de exoesqueletos destinados a actividades ocupacionales, mismos que deberán estar publicados en idioma inglés, en el periodo comprendido entre abril 2005 hasta mayo 2020. Se excluyeron artículos relacionados con el uso de exoesqueletos en el área de la rehabilitación física y ámbito militar.

Fuentes de Información:

Para identificar documentos potencialmente relevantes, la búsqueda se realizará entre el 26 de abril del 2020 hasta el 30 de mayo del 2020, utilizando las siguientes bases de datos: Medline a través de Pubmed y Scopus, se completará la búsqueda con una revisión de la bibliografía de los artículos seleccionados, a través de lenguaje libre y controlado.

Estrategias de Búsqueda:

En la base de datos Medline se utilizarán los términos de Medical Subject Headings (MESH): "Exoskeleton Device". "Musculoskeletal Disease". "Biomechanical Phenomena". "upper extremity" en combinación con el operador booleano "and" para recuperar toda la literatura existente en inglés sobre el tema.

Con respecto a las estrategias de búsqueda en Scopus se emplearon los términos "Exoskeleton". "Ergonomics". "Low back". "low back pain, en combinación con el operador booleano and.

Búsqueda con revisión de la bibliografía de los artículos seleccionados.

Selección de la evidencia:

Tras la búsqueda inicial, en la primera fase de cribado se eliminarán los artículos a partir de la revisión del título y resumen, tras la lectura de los artículos se descartarán aquellos con contenido no relevante tomando en cuenta los criterios de elegibilidad ya descritos.

Síntesis de resultados:

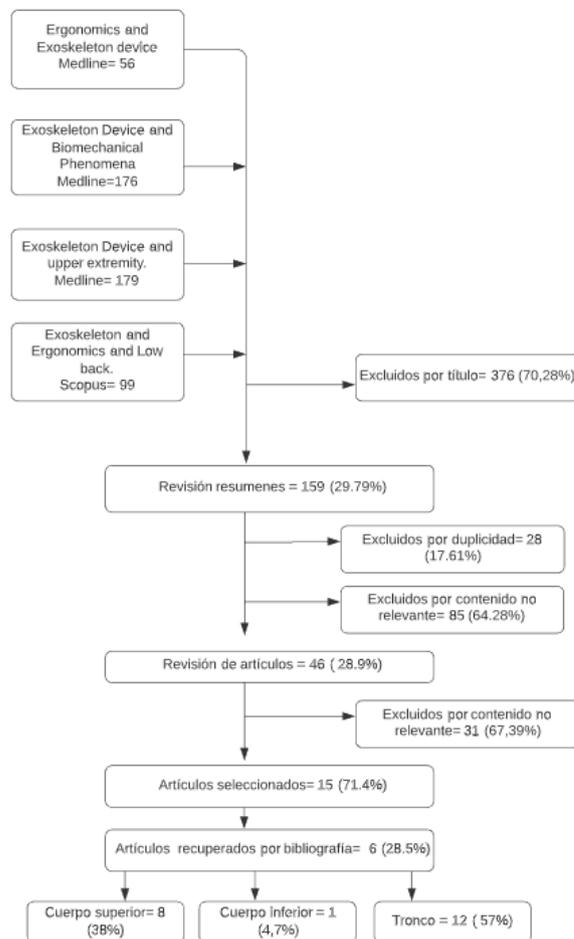
La extracción de la información de los documentos se realizó tomando en cuenta las características principales del estudio como autores, año, diseño, criterios de inclusión/exclusión, categorización por tipo de exoesqueleto, resultados principales y conclusiones.

Resultados

La búsqueda inicial identificó 535 artículos, de los cuales se descartaron 376 (70,28%) tras la lectura del título. De los 159 restantes, 28 (17,61%) se descartaron por duplicidad y 85

(64,88%) se descartaron una vez efectuada la lectura de los resúmenes, quedando 46 (28,9 %) artículos, de los cuales se descartaron 31 (67,39%) durante la lectura de estos al considerarse con contenido no relevante, quedando finalmente 15 (71,4%) artículos que se incluyen en esta revisión. La búsqueda manual en la bibliografía permitió localizar otros 6 (28,5%) artículos. (figura 1).

FIGURA 1. Algoritmo de búsqueda y selección de artículos



En la tabla 1, 2 y 3 se detallan los modelos de exoesqueletos identificados para extremidades superiores, columna lumbar y extremidades inferiores respectivamente, en cada una de ellas se evidencia una descripción de cada uno de los dispositivos exoesqueletos, con su respectiva referencia y diseño.

En estos trabajos se describieron un total de 15 exoesqueletos industriales. De estos, 6 fueron de la parte superior del cuerpo, 8 del tronco y 1 de la parte inferior del cuerpo, 13 fueron pasivos y 2 activos. Los exoesqueletos estaban dirigidos a apoyar trabajos por encima de la cabeza, levantamiento y descenso, transporte de carga, flexión hacia adelante, flexión estática, sentarse y ponerse de pie. Adicionalmente dos de los exoesqueletos mencionaron actividades específicas de la industria automotriz ^(16,28)

Dieciocho artículos fueron experimentos de laboratorio, mientras que 3 estudios investigaron el uso de exoesqueletos en condiciones reales de trabajo ^(16,22,28)

Los parámetros estudiados fueron demandas físicas (actividad muscular), fatiga muscular, las que se evaluaron mediante electromiografía (EMG), dolor lumbar, adaptaciones posturales, y costo metabólico.

Los artículos se agruparon de acuerdo al segmento corporal al que están dirigidos:

Exoesqueletos dirigidos a la extremidad Superior:

Se identificaron 8 artículos dirigidos a la extremidad superior, los cuales describen 6 modelos diferentes de exoesqueletos industriales, todos pasivos, dos de ellos fueron chalecos: Ekso vest ^(9,13) y WADE (Wearable Assistive Device) ⁽¹⁵⁾ y un modelo fue evaluado en condiciones reales de trabajo (Levitite) ^(14,16).

Los modelos Shoulder x ⁽¹⁰⁾, Ekso vest ^(9,13), Robomate ⁽¹¹⁾, EXHAUSS Stronger ® ⁽¹²⁾ y WADE ⁽¹⁵⁾ demostraron una reducción en las demandas físicas de hombro, en términos de disminución de la actividad muscular en tareas por encima de la cabeza. Para Ekso vest fue de 45% ^(9,13), para Robomate fue de 62% en el deltoides y 49% en el bíceps braquial⁽¹¹⁾, para WADE se observó una disminución de la actividad muscular en relación a la masa de la herramienta manejada, es decir para una herramienta de 1kg la disminución no fue significativa, para una herramienta de 3 kg fue de 34% y para una de 8 kg fue de 45%⁽¹⁵⁾, mientras Levitate demostró en los operadores de este exoesqueleto una reducción en la percepción de fatiga evidenciado al aumentar el tiempo de resistencia durante las tareas de manipulación manual repetitivas, tareas con postura estática y de precisión ^(14,16). Adicionalmente se evaluaron las consecuencias fisiológicas del uso de EXHAUSS Stronger ® y del dispositivo WADE ⁽¹⁵⁾, en el primer caso se observó un incremento de la actividad del tríceps braquial, aumento de las tensiones posturales, modificación de la cinemática de las extremidades superiores y aumento en las demandas cardiovasculares durante el apilamiento y levantamiento de cajas ⁽¹²⁾, para el caso del modelo WADE se observó además un incremento en las demandas de la musculatura lumbar, con aumento de la frecuencia cardíaca ⁽¹⁵⁾

Exoesqueletos dirigidos a la región lumbar:

Se identificaron 12 artículos dirigidos a la región lumbar, los cuales describen 8 modelos diferentes de exoesqueletos industriales, de estos, 2 son activos y 6 pasivos.

Dos modelos pasivos: Laevo V1⁽²⁰⁾ y PLAD (Person lift Augmentation Device) ⁽²⁷⁾ y dos modelos activos: Robomate ⁽¹⁷⁾ y WSAD (Wearable stooping-assist device) ⁽²⁵⁾, cuyas características están descritas en la tabla 2, evaluaron la actividad muscular de la columna vertebral durante la elevación y descenso de cargas, evidenciando una disminución de la misma. A nivel del erector de la columna lumbar una disminución del 12% al 15% para Robomate ⁽¹⁷⁾, en cuanto al WSAD se demostró una reducción de 42% para el erector de la columna torácica, 47% para el erector de la columna lumbar, 28% para el dorsal ancho y 9% para el recto abdominal ⁽²⁵⁾.

Para la tarea de flexión estática los modelos pasivos PLAD ⁽²⁸⁾, Laevo V1⁽¹⁹⁾, Laevo V2⁽²⁴⁾ y BDRN (Bending Non Demand Return) ⁽²⁶⁾ evaluaron la actividad muscular de la columna vertebral. Con el modelo PLAD, cuya investigación se llevó a cabo en condiciones reales de trabajo, se observó una reducción en la actividad muscular espinal durante el proceso de ensamblaje en línea en el sector automotriz de un 20% a 25% ⁽²⁸⁾. Para Laevo V2 varió dependiendo de las posturas experimentales (cinco alturas diferentes) de un 11% a 57% durante flexión estática ⁽²⁴⁾. Para BDRN se evidenció la capacidad de prolongar el tiempo de posturas inclinadas hacia adelante y apoyo para erguir el cuerpo nuevamente al levantar un objeto ⁽²⁶⁾.

De modo complementario para Laevo V1 se observaron reducciones en la actividad de los músculos extensores de la cadera, como el bíceps femoral con un 24% y el trapecio con un 50%, durante tareas de flexión estática ⁽²⁰⁾.

Dos estudios evaluaron el modelo SPEXOR, en trabajadores con antecedente de dolor lumbar, las tareas evaluadas fueron levantamiento, transporte, flexión hacia adelante, sentarse y ponerse de pie, evidenciando una disminución subjetiva del dolor e incomodidad al usar el exoesqueleto ^(22,23).

Con respecto a la fatiga el modelo Laevo V1 demostró un aumento de tres veces el tiempo de resistencia durante la tarea de flexión estática ⁽¹⁸⁾, resultados similares se observaron para el modelo activo HAL (Hybrid Assisted Limb) durante el levantamiento repetitivo de una carga de 12 kg, donde se describe un aumento en el número máximo de levantamientos (45%) y la duración del levantamiento (44%) y una reducción en la aparición de fatiga muscular percibida de menos 26% ⁽²¹⁾

En relación a la compresión del disco lumbar, los modelos PLAD, BDRN y Laevo V2 mostraron resultados observando para PLAD una reducción del 23% al 29% en las fuerzas de compresión sobre las vértebras lumbares, durante las tareas de manipulación manual ⁽²⁷⁾, para Laevo V2 mostró una reducción en los momentos L5/S1 generados por la flexión estática de un 15% - 20% , variación que dependió de las posturas experimentales (cinco alturas diferentes de las manos)⁽²⁴⁾ y para BDRN se observó una disminución de las fuerzas de compresión en un 13%, el cizallamiento a nivel de L5-S1 en un 12% ⁽²⁶⁾

En cuanto a las adaptaciones posturales para el modelo Laevo V1 se describió una hiperextensión de las rodillas cuando los operadores del exoesqueleto se inclinaban hacia adelante ⁽¹⁹⁾

En relación al costo metabólico, el uso del modelo Laevo V1 reportó una disminución del mismo en un 17% durante el levantamiento manual, sin embargo, al evaluar el transporte de carga se evidenció un incremento en el costo metabólico, aumentando la dificultad para caminar, ponerse en cuclillas, estar de pie y subir escaleras ⁽²⁰⁾. Adicionalmente se reportó un incremento en la actividad de los músculos abdominales ⁽²⁰⁾.

Exoesqueletos dirigidos a la extremidad inferior:

Se identificó un artículo que describe una silla exoesqueleto de tipo pasivo dirigida a extremidades inferiores (Chairless Chair®) cuyo objetivo fue determinar el efecto del exoesqueleto en carga física control postural e incomodidad, durante bipedestación y sedestación en tareas simuladas de montaje. Durante la bipedestación el peso que los pies soportaron disminuyó hasta en

un 64% con una reducción de la actividad del gastrocnemio en un 75%. Durante la sedestación la actividad del vasto incrementó en un 95% - 135% con reducción de la actividad del gastrocnemio de un 25%. El trapecio y el erector no mostraron mayores diferencias entre las exposiciones. En cuanto a la estabilidad postural no hubo

diferencias entre las exposiciones con el exoesqueleto y sin exoesqueleto. En relación al desconfort fue menor en bipedestación comparado con estar sentado. ⁽³³⁾

TABLA 1. Exoesqueletos identificados dirigidos a miembro superior, incluyendo el tipo de exoesqueleto, una descripción, la referencia y el tipo de estudio.

Tipo de Exoesqueleto	Nombre	Descripción	Referencia	Tipo de investigación
Pasivo EXO (ES)	EksoVest (prototipo)	El chaleco incluye cuello (similar a la almohada para el cuello en forma de U) y almohadillas para la espalda, así como ajustabilidad en la longitud del tronco. El chaleco tiene un mecanismo de generación de momento que está conectado a un brazaletes superior y proporciona un momento de apoyo que aumenta gradualmente a medida que el brazo se eleva. El momento de apoyo cuando el brazo se eleva. El momento de apoyo se puede apagar fácilmente. El exoesqueleto tiene una masa de 4,3 kg.	Kim S, Nussbaum M, Mohammad I, Mokhlespour E (2018 a, b)	Experimental en laboratorio.
Pasivo EXO (ES)	Shoulder X	Es un exoesqueleto bilateral. El dispositivo de exoesqueleto lo lleva el usuario como mochila. Tiene un mecanismo de generación de momento que está conectado a un brazaletes superior y proporciona un momento de apoyo que aumenta gradualmente a medida que el brazo se eleva. El momento de apoyo se puede apagar fácilmente	Alabdulkarim S, Nussbaum M (2018)	Experimental en laboratorio.
Pasivo EXO (ES)	Robomate	El exoesqueleto se compone de tres segmentos: una sola unidad de respaldo que pesa 2.8 kg con dos accesorios de brazo que pesan 4.1 kg cada uno, totalizando 11 kg de peso del exoesqueleto. El usuario usa el exoesqueleto como una mochila. Cuando se pone, se ajusta / alinea en el cuerpo a través de varias correas en la unidad posterior, y luego se fijan los accesorios en los brazos. La fuerza de soporte del exoesqueleto se ajustó a 1 kg para soportar el peso de la extremidad superior para la condición de carga de 0 kg. La fuerza de soporte del exoesqueleto se estableció en 3 kg para la condición de CARGA de 2 kg, para soportar la carga levantada y el peso de la extremidad superior	Huysamen K, De Looze M, Bosch T, Ortiz J. (2017)	Experimental en laboratorio.
Pasivo EXO (ES)	EXHAUSS Stronger	Consta de dos brazos mecánicos activados por resortes. Los brazos están unidos a una chaqueta portátil rígida, con articulaciones, que permiten movimientos 3D libres. Las extremidades distales de los brazos mecánicos tienen cinturones cortos para atar la mano del usuario. Este exoesqueleto proporciona asistencia de elevación del brazo no lineal en un rango angular de 0 ° a 135 ° de la flexión anterior del hombro. El exoesqueleto tiene masa = 9 kg.	Theurel J, Desbrosses K, Roux T, Savescu A (2017)	Experimental en laboratorio.
Pasivo EXO (ES)	EksoVest (prototipo)	El chaleco incluye cuello (similar a la almohada para el cuello en forma de U) y almohadillas para la espalda, así como ajustabilidad en la longitud del tronco. El chaleco tiene un mecanismo de generación de momento que está conectado a un brazaletes superior y proporciona un momento de apoyo que aumenta gradualmente a medida que el brazo se eleva. El momento de apoyo cuando el brazo se eleva. El momento de apoyo se puede apagar fácilmente. El exoesqueleto tiene una masa de 4,3 kg.	Kim S, Nussbaum M, Mohammad Iman Mokhlespour Esfahani, (2018 a, b)	Experimental en Laboratorio.
Pasivo EXO (ES)	Levitare	Consiste en una estructura metálica para el core y dos apoyabrazos para la parte superior de los brazos, a lo largo del brazo están presentes elementos mecánicos pasivos para aliviar parcialmente los músculos de las extremidades superiores y las articulaciones de los hombros transfiriendo el peso de los brazos desde los hombros, el cuello y la parte superior de la espalda al core del cuerpo.	Spada S, Lidia Ghibaud, Silvia Gilotta (2017) (2018)	Experimental en entorno laboral.
Pasivo EXO (ES)	WADE	El dispositivo de asistencia portátil es un exoesqueleto unilateral hecho a medida. El exoesqueleto constaba de un brazo de asistencia mecánica.	Alabdulkarim S, Nussbaum MA (2014)	Experimental en laboratorio.

Pasivo EXO (ES)	Levitate	Consiste en una estructura metálica para el core y dos apoyabrazos para la parte superior de los brazos, a lo largo del brazo están presentes elementos mecánicos pasivos para aliviar parcialmente los músculos de las extremidades superiores y las articulaciones de los hombros transfiriendo el peso de los brazos desde los hombros, el cuello y la parte superior de la espalda al core del cuerpo.	Spada S, Lidia Ghibaud, Silvia Gilotta (2017)	Experimental en entorno laboral. Industria automotriz.
-----------------	----------	--	---	--

TABLA 2. Exoesqueletos identificados dirigidos a Tronco incluyendo el tipo de exoesqueleto, una descripción, la referencia y el tipo de estudio.

Tipo de Exoesqueletos	Nombre	Descripción	Referencia	Tipo de investigación
Activo	Robomate	Es un exoesqueleto activo ponible. Está unido al tronco y a los muslos y se articula para coincidir con la rotación alrededor de la región de la cadera. El exoesqueleto se usa como una mochila. El Robomate tiene masa = 11 kg	Huysamen K, de Looze M, Bosch T, Ortiz J, (2017)	Experimental en laboratorio.
Pasivo	Laevo V1	Este exoesqueleto consta de tres almohadillas: 2 en el pecho, una en la espalda y dos en los muslos. A ambos lados del cuerpo, las almohadillas están conectadas a través de un tubo circular con características de resorte. El exoesqueleto está destinado a transferir fuerzas desde la parte inferior de la espalda hasta el pecho y las almohadillas de las piernas. Laevo tiene masa= 2.2 kg	Baltrusch, J. Van Dieën, C. Van Bennekom, H. (2018)	Experimental en laboratorio.
Pasivo	Laevo V1	Este exoesqueleto consta de tres almohadillas: 2 en el pecho, una en la espalda y dos en los muslos. A ambos lados del cuerpo, las almohadillas están conectadas a través de un tubo circular con características de resorte. El exoesqueleto está destinado a transferir fuerzas desde la parte inferior de la espalda hasta el pecho y las almohadillas de las piernas. Laevo tiene masa= 2.2 kg	Bosch T, Van Eck J, De Looze M (2015)	Experimental en laboratorio.
Pasivo	Laevo V1	Este exoesqueleto consta de tres almohadillas: 2 en el pecho, una en la espalda y dos en los muslos. A ambos lados del cuerpo, las almohadillas están conectadas a través de un tubo circular con características de resorte. El exoesqueleto está destinado a transferir fuerzas desde la parte inferior de la espalda hasta el pecho y las almohadillas de las piernas. Laevo tiene masa= 2.2 kg	Baltrusch, J. Van Dieën, S. Koopman, C. (2018)	Experimental de laboratorio.
Activo	HAL	El HAL (miembro asistido híbrido) se compone de un marco de exoesqueleto, unidades de potencia y moldes lumbares y muslos. El marco exoesqueleto está equipado mediante la fijación de los moldes lumbar y muslo. Las unidades de potencia se ubican bilateralmente en los trocánter mayores del usuario. Los electrodos en la superficie de la piel sobre los músculos lumbares detectan potenciales de acción muscular como señales bioeléctricas, para detectar la intención de levantar el movimiento. El HAL tiene más = 3,1 kg	Miura K, Kadone H, Koda M (2018)	Experimental de laboratorio.
Pasivo	SPEXOR	Exoesqueleto vertebral que se sujeta a los muslos, la pelvis y la espalda como un armazón. Una articulación mecánica, situada en la cadera, y un mecanismo plegable desplazan la carga de la columna vertebral. Utiliza varillas de fibra de carbono para dar soporte durante la elevación y eliminar la tensión de la espalda. Los resortes situados a la altura de los muslos ofrecen un ligero empuje a las piernas. Su peso es de 6,3 kg	Baltrusch, H. Houdijk, J. Van Dieën, T. (2020)	Experimental en entorno laboral.

Pasivo	SPEXOR	Exoesqueleto vertebral que se sujeta a los muslos, la pelvis y la espalda como un armazón. Una articulación mecánica, situada en la cadera, y un mecanismo plegable desplazan la carga de la columna vertebral. Utiliza varillas de fibra de carbono para dar soporte durante la elevación y eliminar la tensión de la espalda. Los resortes situados a la altura de los muslos ofrecen un ligero empuje a las piernas. Su peso es de 6,3 kg	Žiga K. Baltrusch S Šarabon N (2020)	Experimental de laboratorio
Pasivo	Laevo V2	El dispositivo aplica fuerzas en tres lugares del cuerpo: muslos, pelvis y pecho. Mientras se inclina hacia adelante, se aplica presión en el pecho y en las piernas, debido a una articulación cargada por resorte en serie con una viga elástica, generando un momento en paralelo al momento muscular de la espalda. El Laevo tiene masa = 2,2 kg	Koopman A, Kingman I Faber S, De Looze J (2013)	Experimental de Laboratorio.
Activo	WSAD	Las dos bandas de tensión se extienden desde la banda del pecho hasta las respectivas poleas que se fijan en los respectivos ejes de salida de los servomotores. Dos bandas de las extremidades inferiores están unidas por ganchos, que están montados debajo de los servomotores, en el medio de las suelas de los zapatos para equilibrar la tensión de las bandas de tensión y transferir sus tensiones a las suelas de los zapatos.	Ziguo Luo (2012)	Experimental de Laboratorio.
Pasivo	BNDR	El exoesqueleto BNDR (Bending Non-Demand Return) consta de cinco componentes principales: dos barras inferiores curvas que hacen contacto con el pecho y dos resortes de torsión que proporcionan resistencia pasiva durante la flexión sagital. El dispositivo se lleva alrededor de la cintura con un cinturón acolchado.	Ulrey and Fathallah (2012)	Experimental de Laboratorio.
Pasivo	PLAD	El exoesqueleto PLAD (Persona lift Augmentation Device) se usa como un mono. Está anclado a los pies, pelvis y hombros. Los elementos elásticos corren casi paralelos, pero están desplazados de la columna vertebral. Los elementos elásticos superiores se mantienen en su lugar mediante tirantes de una mochila desmontada y una barra espaciadora pélvica en el cinturón. Los elementos elásticos inferiores viajan desde el espaciador pélvico en el cinturón hasta los anclajes unidos a la parte posterior de las rodilleras.	Brett H. Whitfield P, Costigan A, Stevenson J, Smallman C (2013)	Experimental de laboratorio.
Pasivo	PLAD	El exoesqueleto PLAD (Persona lift Augmentation Device) se usa como un mono. Está anclado a los pies, pelvis y hombros. Los elementos elásticos corren casi paralelos, pero están desplazados de la columna vertebral. Los elementos elásticos superiores se mantienen en su lugar mediante tirantes de una mochila desmontada y una barra espaciadora pélvica en el cinturón. Los elementos elásticos inferiores viajan desde el espaciador pélvico en el cinturón hasta los anclajes unidos a la parte posterior de las rodilleras.	Ryan B. Graham, M. Agnew J, Stevenson M (2009)	Experimental en entorno laboral.

TABLA 3. Exoesqueletos identificados dirigidos a Extremidades inferiores incluyendo el tipo de exoesqueleto, una descripción, la referencia y el tipo de tarea evaluada.

Tipo de Exoesqueleto	Nombre	Descripción	Referencia	Tipo de Investigación
Pasivo EXO (EI)	CHAIRLESS CHAIR	CC consta de dos patas adicionales colocadas	Tessy Luger, Seibt R, Cobb T, Rieger M, Steinhilber B (2019)	Experimental en laboratorio.

		detrás de las piernas del usuario		
--	--	-----------------------------------	--	--

TABLA 4. Resumen de exoesqueletos recuperados, nombre, referencia, tipo, segmento corporal al que está dirigido, tarea a la que está dirigido.

NOMBRE	REFERENCIA	TIPO DE EXOESQUELETO	SEGMENTO CORPORAL	Actividad Industrial apoyada
Ekso Vest	Kim S, Nussbaum M, Mohammad I, Mokhlespour E, (2018 a) (2018 b)	Pasivo	Extremidad Superior	- Tareas por encima del nivel del hombro
Shoulder X	Alabdulkarim S, Nussbaum MA (2018)	Pasivo	Extremidad Superior	- Tareas por encima del nivel del hombro
Robomate	Huysamena K, Bosch T, de Looze M (2018)	Pasivo	Extremidad Superior	- Tareas por encima del nivel del hombro
EXHAUSS Stronger	Theurel J, Desbrosses K, Roux T, Savescu A (2017)	Pasivo	Extremidad superior	- Tareas de manejo manual: levantamiento sagital, rotacional y transporte
Levitate	Spada S, Ghibaudo L, Gilotta S (2017) Spada E, Ghibaudo L, Gilotta S (2018)	Pasivo	Extremidad superior	- Tarea estática, tarea repetitiva en manipulación manual de materiales, tareas de precisión - Tareas estáticas y dinámicas. Industria automotriz
WADE (Wearable Assistive Device)	Alabdulkarim S, Nussbaum MA, Rashedi (2014)	Pasivo	Extremidad superior	- Tareas encima del nivel del hombro.
Robomate	Huysamen K, De Looze M, Bosch T, Ortiz J. (2017)	Pasivo	Tronco	- Levantamiento y descenso de carga
Laevo V1	Baltrusch J, Van Dieën, C (2018) Bosch T, Van Eck K, Looze M (2015) Baltrusch, J. Van Dieën, C (2018)	Pasivo	Tronco	- Prueba funcional, flexión estática, transporte - Flexión estática - Levantamiento y Caminata (gasto metabólico, cinemática y actividad muscular)
Laevo V2	Koopman A, Faber M. De Looze M, Van Dieën J (2018)	Pasivo	Tronco	- Flexión estática
HAL (Hybrid Assisted Limb)	Miura K, Kadone H, Koda M, (2018)	Activo	Tronco	- Levantamiento repetitivo
SPEXOR	Baltrusch, H. Houdijk, J. Van Dieën, C. (2020) Žiga Kozinc, Baltrusch S (2020)	Pasivo	Tronco	- Levantar, Caminar, flexión hacia delante - Levantamiento, transporte de carga, sentarse y ponerse de pie,
WSAD (Wearable stooping-assist Device)	Ziguo Luo (2013)	Activo	Tronco	- Flexión estática
BNDR ((Bending Non-Demand Return)	Ulrey and Fathallah (2012)	Pasivo	Tronco	- Flexión estática
PLAD (Person lift Augmentation Device)	Brett H. Whitfield, Patrick A. Costigan J. Stevenson C (2013) Graham R, Agnew M, Stevenson J (2009)	Pasivo	Tronco	- Levantamiento repetitivo - Fabricación de automóviles. proceso de montaje flexión hacia adelante, sujeción estática
CHAIRLESS CHAIR	Tessy L, Seibt R, Cobb T, Rieger M. (2019)	Pasivo	Extremidades inferiores	- Tareas de montaje simuladas

Discusión

La presente revisión sistemática exploratoria identificó 21 artículos que evaluaron el uso de 15 modelos de exoesqueletos dirigidos a extremidades superiores, tronco y extremidad inferior.

En cuanto a los exoesqueletos de extremidad superior, cinco de los seis dispositivos estaban dirigidos a apoyar las tareas por encima de la cabeza, puesto que cualquier actividad a nivel o por encima del acromion es un factor de riesgo para desarrollar TME de hombro⁽²⁹⁾. Los autores reportaron una disminución en las demandas físicas, en términos de actividad muscular, a nivel del hombro^(9,10,11,12), con énfasis en la actividad del deltoides^(11,12), que forma parte del grupo de flexores del hombro, principal complejo relacionado en el desarrollo de dolor, trastornos articulares y lesiones de tejidos blandos al ejercer fuerzas excesivas sobre dicha articulación⁽¹⁾, lo que podría resultar en un beneficio a la hora de prevenir TME de hombro, sin embargo se puede observar en uno de los exoesqueletos que la disminución de la actividad muscular dependía de peso de la carga (WADE), a mayor peso mayores beneficios⁽¹⁵⁾. Por otro lado, en cuanto a las tareas de manipulación si bien es cierto Levitate demostró una reducción de la actividad muscular del hombro, con disminución de la fatiga y aumento del rendimiento laboral⁽¹⁶⁾, dos estudios el Exhauus Stronger y el WADE observaron un incremento de la actividad de musculatura antagonista y aumento del costo metabólico^(12,15).

En relación a los exoesqueletos de región lumbar, estos evaluaron los beneficios de usar estos dispositivos en relación a la disminución del dolor y reducción de los riesgos de lesión discal. Sabiendo que la actividad muscular repetitiva produce estrés acumulativo sobre la región lumbar⁽¹⁾, cinco diseños fueron estudiados en cuanto a la actividad de la musculatura de la espalda^(17,18,24,28), uno de ellos en condiciones reales de trabajo, demostrando reducción de la actividad de la musculatura espinal durante las tareas de elevación, descenso de cargas y flexión estática⁽²⁸⁾. Es importante señalar también que la disminución en la actividad muscular durante la tarea de flexión estática varío de un sujeto a otro lo que estaría probablemente en relación a características antropométricas individuales. En relación a la fatiga, que está también relacionada con el apareamiento de dolor lumbar crónico⁽³⁰⁾ el modelo Laevo V1⁽¹⁸⁾ y HAL⁽²¹⁾ demostraron un efecto beneficioso al aumentar el rendimiento durante las tareas de flexión estática y levantamiento repetitivo, sin embargo, no se evaluaron dichas tareas considerando las jornadas laborales completas (4-8 horas). Adicionalmente dos estudios evaluaron el modelo SPEXOR^(22,23), para determinar su eficacia al disminuir el dolor lumbar en trabajadores de una industria automotriz con antecedentes de esta patología, obteniendo resultados favorables, lo que favoreció la aceptabilidad de uso de dicho dispositivo por los trabajadores con antecedente de dolor lumbar.

Acerca de los riesgos de lesión discal, esta se relaciona con la compresión de la musculatura sobre dicha zona⁽³¹⁾. Tres modelos fueron evaluados^(17,24,27), encontrando una reducción en las fuerzas de compresión disminuyendo así el riesgo de lesión y dolor lumbar⁽³¹⁾.

En relación a los efectos adversos se documentó la hiperextensión de las rodillas entre los operadores⁽¹⁹⁾, aumento de

los costos metabólicos durante el desplazamiento con el dispositivo exoesqueleto y un incremento en la musculatura antagonista⁽²⁰⁾, excepto para Laevo V1 que demostró disminución de la actividad para la musculatura de la cadera (bíceps femoral) y cuello (trapecio)⁽²⁰⁾.

En lo que respecta al exoesqueleto de miembro inferior se documentó un potencial beneficio para la prevención de los TME debido a la importante disminución de las cargas físicas durante la bipedestación, no así para la sedestación donde se evidenció un incremento importante en la actividad del vasto y una disminución de la actividad del músculo gastrocnemio baja en relación a la postura de pie⁽³³⁾.

Limitaciones:

La presente revisión exploratoria está limitada principalmente por que el autor no es una persona experta en temas de biomecánica e ingeniería, conocimiento que resulta fundamental a la hora de recolectar la evidencia a ser analizada.

Conclusión:

La presente revisión exploratoria describe los beneficios del uso de exoesqueletos dirigidos a apoyar la articulación del hombro, la columna lumbar y la carga postural en las extremidades inferiores. A nivel del hombro los principales beneficios descritos son: disminución de las demandas físicas y fatiga muscular, lo que contrarrestaría el apareamiento de dolor, trastornos articulares y lesiones de tejidos blandos, sobretodo en tareas que se realizan sobre el nivel del hombro.

En cuanto a los beneficios sobre la columna lumbar se describen igualmente disminución de las demandas físicas, disminución de la fatiga y reducción de las cargas físicas sobre la columna lumbar lo que disminuiría el dolor en esta zona, así como el riesgo de lesiones discales.

Para los exoesqueletos de extremidades se identificó únicamente un artículo que describió una importante reducción en la carga física de las extremidades inferiores disminuyendo así el riesgo asociado a la postura de pie prolongada⁽³²⁾.

Como podemos notar los beneficios potenciales de los exoesqueletos ocupacionales sobre todo para extremidades superiores y región lumbar están claramente documentados, sin embargo, la mayoría de los estudios son experimentos de laboratorio con prototipos, por lo cual son necesarias más investigaciones que estudien las consecuencias fisiopatológicas a corto y largo plazo en un entorno laboral que tomen en cuenta otros mecanismos también involucrados en la patología musculoesquelética, con una evaluación durante jornadas laborales completas, que además de evaluar la actividad de la musculatura local, también tome en cuenta grupos musculares antagonistas, puesto que uno de los efectos negativos documentados en la presente revisión fue el aumento de la actividad muscular antagonista asociado a un incremento de los costos metabólicos.

Referencias bibliográficas

1. Theurel J, Desbrosses K. Occupational Exoskeletons: Overview of their Benefits and Limitations in Preventing Work - Related Musculoskeletal Disorders. IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors [Internet]. 2019 [consultado el 26 de abril de 2020];7(3-4):264-280. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24725838.2019.1638331>
2. Díez M, Garasa A, Trastornos musculoesqueléticos de origen laboral 1st ed.España; 2007 [consultado el 6 de mayo de 2020]; Disponible en: <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/76DF548D-69E-4DBF-A18E-419F3A9A5FB/145886/TrastornosME.pdf>
3. ACHS: Asociación Chilena de Seguridad [Internet]. Chile:ACHS;c 2014 [consultado el 6 de mayo de 2020]; Disponible en: [https://www.achs.cl/portal/Empresas/DocumentosMinsal/7-%20Trabajo%20Repetitivo%20\(TMERT\)/4-%20Herramientas/Manual%20de%20prevenci%C3%B3n%20de%20Trastornos%20Musculoesquel%C3%A9ticos%20de%20Extremidad%20Superior.pdf](https://www.achs.cl/portal/Empresas/DocumentosMinsal/7-%20Trabajo%20Repetitivo%20(TMERT)/4-%20Herramientas/Manual%20de%20prevenci%C3%B3n%20de%20Trastornos%20Musculoesquel%C3%A9ticos%20de%20Extremidad%20Superior.pdf)
4. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). The Construction Chart Book [Internet]. 6ta Edición. The Center for Construction Research and Training (CPWR);2018; [consultado el 30 de abril de 2020]. Disponible en: https://www.cpwr.com/sites/default/files/publications/The_6th_Edition_Construction_eChart_Book.pdf
5. Boschman J, Frings-Dresen M, Van der Molen H. Use of Ergonomic Measures Related to Musculoskeletal Complaints among Construction Workers: A 2-year Follow-up Study. Elsevier. [Internet]. 2015;[consultado el 30 de abril de 2020]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26106507>
6. AEE: Asociación Española de Ergonomía [Internet]. Asturias: AEE; [consultado el 8 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://www.ergonomos.es/ergonomia.php>
7. EDUEXO: The Robotic exoskeleton Kid [Internet]. [consultado el 8 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.eduexo.com/resources/articles/exoskeleton-history/>
8. Habib Ali.Bionic Exoskeleton: History, Development and the Future. Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) [Internet]. 2014; [consultado el 30 de abril de 2020]. Disponible en: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jmce/papers/ICAET-2014/me/volume-5/12.pdf?id=7622>
9. Kim S, Nussbaum M, Mokhlespour E, Alemi M. Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: part I - "expected" effects on discomfort, shoulder muscle activity, and work task performance. Applied Ergonomics [Internet] 2018 [consultado el 26 de abril de 2020]; disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003687018300590>
10. Alabdulkarim S, Nussbaum M. Influences of different exoskeleton designs and tool mass on physical demands and performance in a simulated overhead drilling task. Applied Ergonomics [Internet] 2018 [consultado el 26 de abril de 2020]; disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003687018302618>
11. Huysamen K, Bosch T, de Looze M, Stadler KS, Graf E, O'Sullivan LW. Evaluation of a passive exoskeleton for static upper limb activities. Applied Ergonomics [Internet] 2018. [consultado el 26 de abril de 2020]; disponible en: https://www.researchgate.net/publication/325604502_Evaluation_of_a_passive_exoskeleton_for_static_upper_limb_activities
12. Theurel J, Desbrosses K, Roux T, Savescu A. Physiological consequences of using an upper limb exoskeleton during manual handling tasks. Applied Ergonomics [Internet] 2018 [consultado el 30 de abril de 2020]; disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003687017302296#:~:text=The%20benefits%20of%20the%20upper,cardiovascular%20demand%2C%20and%20modified%20kinematics.>
13. Kim S, Nussbaum MA, Mokhlespour E, Alemi MM, Jia B, Rashedi E. Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: Part II - "Unexpected" effects on shoulder motion, balance, and spine loading. Applied Ergonomics [Internet] 2018 [consultado el 30 de abril de 2020] disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003687018300589>
14. Spada S, Ghibaudo L, Gilotta S, Gastaldib L. Investigation into the applicability of a passive upper-limb exoskeleton in automotive industry. Elsevier. [Internet] 2017 [consultado el 1 de mayo de 2020] disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917304602>
15. Ehsan R, Sunwook K, Nussbaum & Michael J. Ergonomic evaluation of a wearable assistive device for overhead work. Ergonomics [Internet] 2014 [consultado el 1 de mayo de 2020] disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25183258/>
16. Spada S, Ghibaudo L, Gilotta S, Gastaldib L. Analysis of Exoskeleton Introduction in Industrial Reality: Main Issues and EAWS Risk Assessment. Advances in Physical Ergonomics, [Internet] 2018 [consultado el 15 de mayo de 2020] disponible en: https://www.researchgate.net/publication/318158856_Analysis_of_Exoskeleton_Introduction_in_Industrial_Reality_Main_Issues_and_EAWS_Risk_Assessment
17. Hondzinski J, Ikuma L, de Queiroz M, Wang C. Effects of exoskeleton use on movement kinematics during performance of common work tasks: A case study. Applied Ergonomics [Internet] 2017 [consultado el 15 de mayo del 2020] disponible en: https://www.researchgate.net/publication/329229678_Effects_of_exoskeleton_use_on_movement_kinematics_during_performance_of_common_work_tasks_A_case_study
18. Baltrusch SJ, van Dieën JH, van Bennekom CAM, Houdijk H. The effect of a passive trunk exoskeleton on functional performance in healthy individuals Applied Ergonomics [Internet] 2018. [consultado el 17 de mayo de 2020]; Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/325334736_The_effect_of_a_passive_trunk_exoskeleton_on_functional_performance_in_healthy_individuals
19. Bosch T, Van Eck J, Knitel K, de Looze M. The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. Applied Ergonomics [Internet] 2015. [consultado el 17 de mayo de 2020]; Disponible en: <http://www2.laevo.nl/wp-content/uploads/2016/07/Bosch-et-al.-2016-Passive-Exoskeleton-Applied-Ergonomics.pdf>
20. Baltrusch SJ, Van Dieën JH, Bruijn SM, Koopman A, Van Bennekom C, Houdijk H. The effect of a passive trunk exoskeleton on metabolic costs during lifting and walking. Ergonomics [Internet] 2019 [consultado el 20 de mayo de 2020]; Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00140139.2019.1602288?journalCode=terg20>

21. Miura K, Kadone H, Koda M, Abe T, Kumagai H, Nagashima K. The hybrid assistive limb (HAL) for Care Support successfully reduced lumbar load in repetitive lifting movements. *Clinical Neuroscience* [Internet] 2018 [consultado el 20 de mayo de 2020]; Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/324931218_The_hybrid_assistive_limb_HAL_for_Care_Support_successfully_reduced_lumbar_load_in_repetitive_lifting_movements
22. Baltrusch S, Houdik H, Van Dienen J. Passive Trunk Exoskeleton Acceptability and Effects on Self-efficacy in Employees with Low-Back Pain: A Mixed Method Approach *Journal of Occupational Rehabilitation* [Internet] 2020 [consultado el 23 de mayo de 2020]; Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/341389960_Passive_Trunk_Exoskeleton_Acceptability_and_Effects_on_Self-efficacy_in_Employees_with_Low-Back_Pain_A_Mixed_Method_Approach
23. Kozinc L, Baltrusch S. Short-Term Effects of a Passive Spinal Exoskeleton on Functional Performance, Discomfort and User Satisfaction in Patients with Low Back Pain. *Journal of Occupational Rehabilitation* [Internet] 2020 [consultado el 24 de mayo de 2020]; Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/341067164_Short-Term_Effects_of_a_Passive_Spinal_Exoskeleton_on_Functional_Performance_Discomfort_and_User_Satisfaction_in_Patients_with_Low_Back_Pain
24. Koopman S, Kingma I, Faber G. Effects of a passive exoskeleton on the mechanical loading of the low back in static holding tasks. *Elsevier*. [Internet] 2019 [consultado el 24 de mayo de 2020]; Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021929018308686>
25. Zigu L, Yong Y. Wearable Stooping-Assist Device in Reducing Risk of Low Back Disorders during Stooped Work. *IEE* [Internet] 2013 [consultado el 25 de mayo de 2020]; Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6617923>
26. Brent L, Ulrey, Fadi A. Fathallah. Subject-specific, whole-body models of the stooped posture with a personal weight transfer device. *Elsevier* [Internet] 2012 [consultado el 26 de mayo de 2020]; Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23021605/>
27. Whitfield B, Costigan P, Stevenson J, Smallman C. Effect of an on-body ergonomic aid on oxygen consumption during a repetitive lifting task. *Elsevier* [Internet] 2013 [consultado el 26 de mayo de 2020]; Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169814113001121#:~:text=The%20PLAD%20was%20found%20to%20have%20no%20effect%20on%20oxygen%20consumption.&text=The%20PLAD%20reduced%20some%20muscles, enough%20to%20alter%20oxygen%20consumption.&text=Participants%20used%20a%20variety%20of, no%20technique%20changes%20were%20observed.&text=Do%20not%20increase%20the%20frequency, lift%20while%20using%20the%20PLAD.>
28. Graham R, Agnew M, Stevenson J. Effectiveness of an on-body lifting aid at reducing low back physical demands during an automotive assembly task: Assessment of EMG response and user acceptability *Applied Ergonomics* [Internet] 2009 [consultado el 30 de mayo de 2020]; Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19223026/>
29. Bjelle M, Hagberg M. Occupational and individual factors in acute shoulder-neck disorders among industrial workers. *British Journal of Industrial Medicine* [Internet] 1981 [consultado el 30 de mayo de 2020] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7317299/>
30. Hoogendoorn W, Bongers P. High physical work load and low job satisfaction increase the risk of sickness absence due to low back pain: results of a prospective cohort study. *British Journal of Industrial Medicine* [Internet] 2001 [consultado el 16 de agosto de 2020] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11983847/>
31. Burdorf A, Sorock G. Positive and negative evidence of risk factors for back disorders. *Scand J Work Environ Health*. [Internet] 1997 [consultado el 16 de mayo de 2020]; Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9322815/>
32. Gregory D, Callaghan J. Prolonged standing as a precursor for the development of low back discomfort: An investigation of possible mechanisms. *Elsevier* [Internet] 2007 [consultado el 30 de mayo de 2020] Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18053722/>
33. Tessa L, Cobb R, Rieger M, Steinhilber B. Influence of a passive lower-limb exoskeleton during simulated industrial work tasks on physical load, upper body posture, postural control and discomfort. *Applied ergonomics* [Internet] 2019 [consultado el 30 de mayo de 2020] Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003687019300985>