

FACTORES INTERNOS COMO ESTRATEGIA FRENTE AL RIESGO POR MANEJO MANUAL DE CARGAS

INTERNAL FACTORS AS A MANUAL MATERIALS HANDLING RISK STRATEGY

Cristhian Mella-Riquelme*

Resumen: A pesar del creciente grado de mecanización y automatización en la industria, las tareas de manipulación manual de materiales (MMC) siguen siendo una característica importante de muchas faenas industriales. Es interesante que la introducción de la mecanización y la automatización en el lugar de trabajo no elimine la necesidad de realizar tareas de MMC. La siguiente revisión tiene como objetivo analizar los factores intrínsecos existentes, descritos en la literatura, durante la realización del MMC para ser considerados como estrategia de mitigación de riesgos, todos ellos identificados a través de la base de datos electrónica ScienceDirect seguido de una búsqueda manual por el autor. Se seleccionaron 21 estudios elegidos por criterios. El manejo de los factores internos permite adoptar estrategias de mitigación de los riesgos por MMC y pueden ser considerados frente a los riesgos presentes durante esta actividad.

Palabras clave: Manejo manual de cargas, ergonomía, factores humanos, factores de riesgo, entrenamiento.

Abstract: Despite the increasing degree of mechanisation and automation in industry, manual material handling (MMC) tasks remain an important feature of many industrial tasks. Interestingly, the introduction of mechanisation and automation into the workplace does not eliminate the need for MMC tasks. The following review aims to analyse existing intrinsic factors described in the literature during the performance of MMC to be considered as a risk mitigation strategy. All were identified through the ScienceDirect electronic database, followed by a manual search by the author. Twenty-one studies were selected on the basis of the criteria. The management of internal factors allows the adoption of risk mitigation strategies for MMC and can be considered against the risks present during this activity.

Keywords: Manual material handling, ergonomic, human factors, risk factors, training.

Recepción: 05.09.2023 / Revisión: 02.10.2023 / Aceptación: 28.11.2023

Introducción

Estudios previos indican que la manipulación manual de materiales no sólo es la categoría más frecuente sino también la más costosa de las pérdidas indemnizables en el lugar de trabajo (Sanders & McCormick, 1992; Burdorf & Sorock, 1997; Hashemi et al., 1997; NIOSH,

*Goodyear Chile. Santiago, Chile. Correo electrónico: cristhian.mella@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8701-404X>

1997; Dempsey & Hashemi, 1999; Murphy & Courtney, 2000; Dempsey, 2003; Ciriello, 2003; Ciriello, 2007). Estos estudios informan de que los trastornos musculoesqueléticos son las lesiones relacionadas con el trabajo más comunes en las tareas de MMC. Según estudios realizados por el NIOSH (1997), Ayoub y Mital (1989), Sanders y McCormick (1992), Mital et al. (1993), Waters et al. (1993) y Snook y Ciriello (1991), los factores de riesgo laboral debidos al MMC, que pueden causar estrés físico, son aparentemente ilimitados.

Desde hace varias décadas, la eliminación, o al menos la reducción, del riesgo de lesiones debidas a las tareas de levantamiento ha sido un tema de interés en muchos campos de investigación. Los investigadores han utilizado varios enfoques (técnicas), para evaluar y cuantificar las relaciones entre las tensiones impuestas y el esfuerzo resultante, y así controlar el problema generalizado del sobreesfuerzo y la espalda (Fredericks, 2008).

El control de los riesgos detectados generalmente circula en dos vías, la ingenieril y administrativa. Un ejemplo de controles de ingeniería incluye las superficies de trabajo de altura regulable para trabajar en postura neutra, y un ejemplo de controles administrativos implica la reducción de las tareas repetitivas. La ventaja de los controles ingenieriles es la posibilidad de eliminar la exposición a los factores de riesgo controlándolos directamente en su origen (Plamondon, 2012).

Los manipuladores manuales de cargas desempeñan un papel fundamental en la economía mundial, pero muchos de ellos sufren lesiones o trastornos relacionados con la naturaleza física de su trabajo (Corbeil, 2019). Cuando las actividades ocupacionales no son modificables en un corto o mediano plazo mediante intervenciones de ingeniería, es de suma importancia investigar si los factores personales pueden influir sobre diversas estrategias de movimiento adoptadas, así también en las lesiones presentadas (Clusiault, 2022).

La siguiente revisión tiene como objetivo analizar los factores intrínsecos existentes durante la realización del MMC, para ser considerados como estrategia de mitigación frente a los riesgos presentes durante esta actividad.

Materiales y métodos

Este trabajo presenta una revisión de la literatura científica disponible sobre el MMC. La búsqueda de artículos fue desarrollada en las bases de datos electrónica ScienceDirect y PubMed. Se seleccionaron artículos escritos en inglés para el análisis de datos, atendiendo a criterios de pertinencia.

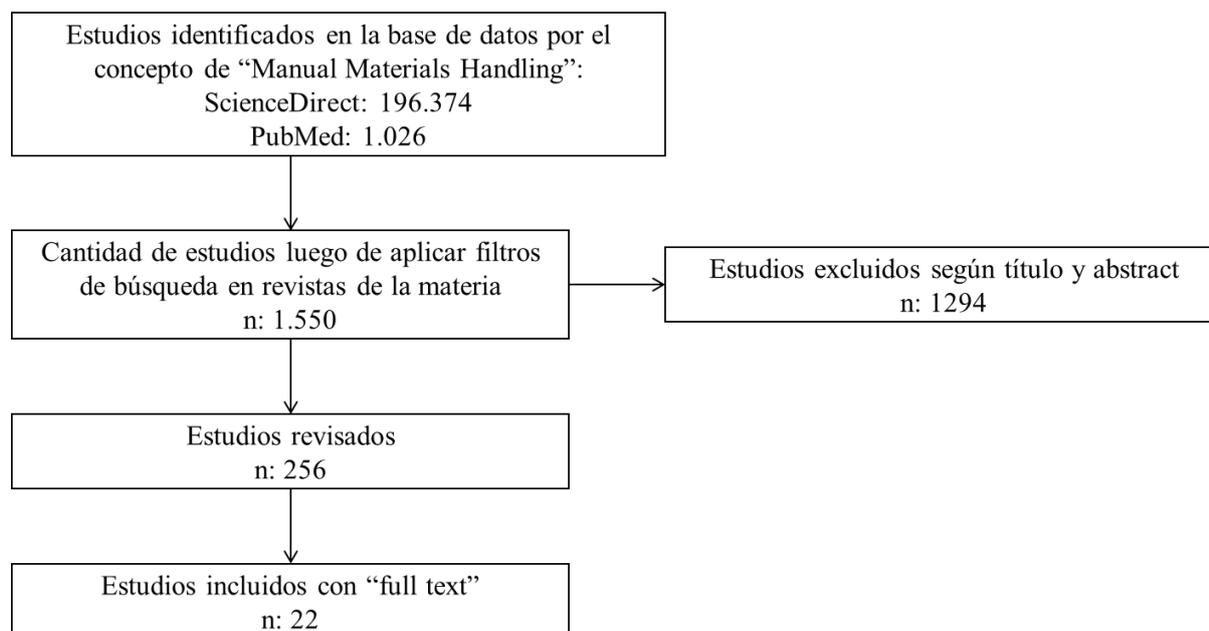
Criterios de inclusión:

1. Artículos que en su título/resumen presentaran el concepto de MMC.
2. Se encontraran publicados en revistas de impacto relacionadas con Ergonomía.
3. Artículos de investigación o revisión de literatura.
4. Año de publicación desde el 2012 a la fecha.

Posteriormente y con el fin de mantener en la muestra únicamente los artículos relacionados

con el tema de estudio, se seleccionaron una cantidad de 256 artículos en la búsqueda, los cuales se fueron analizando desde su título y su resumen (abstract), por el autor, para conocer el abordaje que cada uno entregaba al tema de estudio, considerando y analizando más profundamente los que presentaban metodologías de estudio de factores individuales de los sujetos que realizan MMC. Se consideró el texto completo cuando el resumen no proporcionaba datos suficientes para su inclusión.

Figura 1. Flujograma de la selección de estudios.



Resultados y discusión

Búsqueda en base de datos

De los 265 artículos seleccionados, luego de ser revisados más exhaustivamente, solo 22 estudios fueron considerados, de los cuales se permitía abordar uno o más factores internos como línea de investigación principal.

Tabla 1. Resumen de los artículos utilizados.

Autores	Año	Título	Factor interno
Becker et al.	2022	Influence of Spine-Focused Verbal Instruction on Spine Flexion during Lifting.	Entrenamiento
Brandl et al.	2022	Using real-time feedback of L5/S1 compression force based on markerless optical motion capture to improve the lifting technique in manual materials handling.	Entrenamiento
Chan et al.	2022	A Comparison of Augmented Feedback and Didactic Training Approaches to Reduce Spine	Entrenamiento

Autores	Año	Título	Factor interno
		Motion during Occupational Lifting Tasks.	
Chou et al.	2016	Noninvasive Treatments for Low Back Pain.	Faja lumbar
Clusiault et al.	2022	The influence of sex and strength capacity on normalized low-back exposure during lifting: Insights from a joint power analysis.	Entrenamiento
Corbeil et al.	2019	Biomechanical analysis of manual material handling movement in healthy weight and obese workers.	Obesidad
Denis et al.	2020	Questioning the value of manual material handling training: a scoping and critical literature review.	Capacitación
Ghesmaty-Sangachin et al.	2016	Obesity-related changes in prolonged re-petitive lifting performance.	Obesidad
Ghezelbash et al.	2016	Effects of sex, age, body height and body weight on spinal loads: Sensitivity analyses in a subject-specific trunk musculoskeletal model.	Obesidad
Hermans et al.	2012	Training in manual material handling: what is going on in the field?	Capacitación
Hogan et al.	2014	The effect of manual handling training on achieving training transfer, employee's behaviour change and subsequent reduction of work-related musculoskeletal disorders: a systematic review.	Capacitación
Larson et al.	2023	The effect of manual handling training on achieving training transfer, employee's behaviour change and subsequent reduction of work-related musculoskeletal disorders: a systematic review.	Entrenamiento
Marcotte et al.	2023	Biomechanical differences in experts' and novices' footstep patterns during a palletizing task.	Movimiento de pies
Mohammed et al.	2023	The effects of different carrying methods on human gait parameters.	Faja lumbar
Plamondon et al.	2006	Manual materials handling in mining: the effect of rod heights and foot positions when lifting "in-the-hole" drill rods.	Movimiento de pies
Plamondon et al.	2012	Relative importance of expertise, lifting height and weight lifted on posture and lumbar external loading during a transfer task in manual material handling.	Movimiento de pies
Rivard et al.	2013	Les modèles et principes d'apprentissage dans la gestion de la formation et du développement des ressources humaines: pour préserver et accroître le capital compétence de l'organisation.	Capacitación
Roelofs et al.	2007	Lumbar supports to prevent recurrent low back pain among home care workers: a randomized trial.	Faja lumbar

Autores	Año	Título	Factor interno
Rueda et al.	2012	Association of returning to work with better health in working-aged adults: a systematic review.	Faja lumbar
Shahvarpour et al.	2018	The effect of wearing a lumbar belt on biomechanical and psychological outcomes related to maximal flexion-extension motion and manual material handling.	Faja lumbar
Vignais et al.	2013	Innovative system for real-time ergonomic feedback in industrial manufacturing.	Entrenamiento
Zhou et al.	2013	The assessment of material handling strategies in dealing with sudden loading: influences of foot placement on trunk biomechanics.	Movimiento de pies

Es necesario entender que las tareas industriales son complejas y contemplan diversas variables simultáneamente. Marras et al. (2009) señalaron que el trabajo en la industria manufacturera implica cada vez más un trabajo en el que los empleados realizan una variedad de tareas y pueden rotar por diferentes puestos de trabajo a lo largo del día, concluyeron además que las tendencias en las industrias manufactureras y de servicios para la naturaleza del trabajo físico están evolucionando más hacia un entorno de baja fuerza y altamente repetitivo.

Drury et al. (1982) señalaron en un estudio sobre las tareas con MMC en la industria, que los trabajos con una variabilidad considerable (manipulación de una variedad de cajas u objetos, movimiento de cajas a distintas posiciones, como en la carga de pallets o la preparación de pedidos) son los más difíciles de automatizar y "siguen siendo el bastión final del levantamiento y la manipulación en lo que, de otro modo, serían fábricas bastante mecanizadas".

Movimiento de pies

El impacto de la posición y los movimientos de los pies durante el MMC y la carga lumbar no es despreciable. Estudios indican que los pies colocados más lejos u orientados lateralmente respecto a la carga aumentan los momentos netos máximos en L5/S1 (Plamondon, 2006; Plamondon, 2012), mientras que la colocación de un pie hacia delante reduce los momentos articulares y las fuerzas de cizallamiento (Zhou, 2013).

Al evaluar las diferencias biomecánicas entre trabajadores expertos y novatos, durante tareas de MMC como la paletización, se encontró que la posición de los pies durante la tarea afectó la carga lumbar. Los expertos tendieron a utilizar una estrategia de pisada más estacionaria durante la paletización. Los expertos parecían utilizar una pisada equilibrada, que significa colocar ambos pies apuntando hacia la carga, y una pisada paralela contralateral a la carga con mayor frecuencia, con los pies paralelos a la carga y apuntando contrariamente al sentido de giro, esto permite reducir las cargas lumbares en comparación con otro tipo de posición de pies. Los patrones de pisada son un indicador efectivo de la exposición de la columna lumbar durante el MMC y una mejor comprensión de las estrategias podría mejorar

las evaluaciones ergonómicas y la formación de los trabajadores (Marcotte, 2023).

Obesidad

El peso corporal contribuye al 98,9% de las fuerzas de compresión y al 96,1% de las fuerzas de cizallamiento en la columna lumbar. La morfología del manipulador obeso también limita la posibilidad de acercar la carga, lo que reduce su margen de maniobra. Por tanto, estos factores biomecánicos exponen a los manipuladores obesos a mayores riesgos de desarrollar un TME por MMC que los manipuladores de peso saludable (Ghezelbash, 2016).

Se ha demostrado que los sujetos obesos se flexionan 10° menos en el ángulo de flexión sagital del tronco, tardan 0,8 s más por levantamiento y tienen un 17% menos de rendimiento al realizar una tarea repetitiva prolongada de levantamiento de cajas con asas desde el suelo hasta la altura de los nudillos (Ghesmaty-Sangachin & Cavuoto, 2016).

Los aumentos de los momentos externos en L5/S1 observados en los manipuladores obesos durante las tareas de manipulación son atribuibles en gran medida a los rasgos antropométricos de la obesidad. Si bien las estrategias posturales de MMC, es decir flexión de rodillas y espalda, varían de un individuo a otro, los sujetos obesos no tienden a modificar sus estrategias al manipular cajas de 15 kg y son similares cuando se comparan con sujetos sanos. Cuando las cargas aumentan los sujetos obesos tienden a mostrar mejor distribución de cargas lumbares, puesto que están más acostumbrados a sostener cargas en esa zona por su composición corporal, pero no se han observado estrategias compensatorias en los manipuladores obesos para reducir la carga externa en L5/S1, mientras que sí se observaron algunas estrategias en los manipuladores de peso saludable. Esto sugiere que los rasgos antropométricos de la obesidad limitan la posibilidad de acercar la carga, lo que reduce su margen de maniobra. Por tanto, estos factores biomecánicos exponen a los manipuladores obesos a mayores riesgos de desarrollar un TME por MMC que los manipuladores de peso saludable (Ghezelbash, 2016).

Capacitación

Muy a menudo, cuando es imposible ofrecer unas condiciones de manipulación ideales, los trabajadores asignados a estas tareas deben lidiar con estos entornos imperfectos y encontrar la manera de enfrentarse a ellos. Por lo general, esta situación no es ajena al hecho de que la capacitación es la vía de prevención más utilizada por los empresarios (Rivard & Lauzier, 2013).

La capacitación en MMC es objeto de numerosas solicitudes en el lugar de trabajo. La información facilitada a través de la capacitación puede ayudar a los trabajadores a afrontar mejor las exigencias materiales, sociales y organizativas que podrían influir en la realización del trabajo. Teniendo en cuenta los TME y los costes asociados a las tareas de MMC, estos programas de capacitación de técnicas seguras parecen esenciales (Hermans, 2012).

La eficacia de las capacitaciones en MMC existentes ha sido cuestionada por muchos autores, que han realizado metaanálisis sobre el tema, todos parecen llegar a las mismas conclusiones, es decir, que dichas actividades de capacitación no muestran resultados significativos o, en el mejor de los casos, ofrecen beneficios marginales en la prevención de lesiones, debido a la calidad de los diseños de evaluación utilizados en los estudios (Hogan,

2014).

La capacitación centrada principalmente en el aprendizaje y la adopción de la técnica de MMC segura tiene escaso impacto en términos de prevención. La atención se centra en los individuos y sus comportamientos, sin conexión alguna con el contexto laboral, con un énfasis solo en la técnica comúnmente conocida como "espalda recta, rodillas dobladas". El contenido debe revisarse para ofrecer más posibilidades prácticas de MMC y ayudar a adaptarse a las situaciones laborales cambiantes. La capacitación no debe centrarse en el individuo, sino en las interacciones entre el individuo y el contexto laboral. Para ello, el facilitador debe conocer o al menos comprender el contexto antes de impartir la capacitación, a fin de adaptar la enseñanza y contextualizarla. La técnica segura debe ser una de las competencias enseñadas, porque sabemos que tiene ventajas mecánicas en entornos de trabajo específicos, pero no debe ser la única ni la dominante. El problema no es tanto la técnica segura como el énfasis que se pone en su uso y la falta de consideración suficiente del contexto de trabajo. No es tanto la capacitación en MMC la que es deficiente, sino el tipo de formación basada en el predominio del uso de la técnica de manipulación segura. Además, muchos programas de capacitación todavía se implementan en el lugar de trabajo de manera "paracaídas", sin ningún vínculo con esfuerzos específicos o imperativos organizacionales (Denis, 2020).

Entrenamiento

Como se mencionó anteriormente, los programas de capacitación en MMC suelen incluir elementos mediante los cuales se proporcionan a las personas instrucciones verbales y/o visuales sobre técnicas de levantamiento "seguras", "correctas" u "óptimas", buscando evitar una flexión excesiva de la espalda, más específicamente la columna lumbar, sobre todo en labores donde este movimiento se realiza de manera repetitiva (Becker, 2022).

Por lo tanto, es necesario entregar instrucciones específicas adicionales, una retroalimentación aumentada, puesto que lo visual y/o verbal no parece ser suficiente como para provocar cambios posturales esperados (Chan, 2022).

Larson y Brown evaluaron los efectos de entregar un estímulo mecánico sobre el segmento de la columna lumbar durante un entrenamiento de técnica de levantamiento de cargas de forma repetitiva. El estímulo fue muy sencillo, con una cinta doble faz se colocaron ganchos plásticos con elásticos por sobre la piel en la zona de los erectores espinales, entre T12 y S1, de manera que entregara un feedback continuo de la deformación de la piel en esa zona al momento de ejecutar los movimientos. Los participantes fueron enfrentados a distintos levantamientos, de forma repetitiva y en situaciones de fatiga muscular. Los resultados mostraron que este estímulo táctil, mantiene una mejor alineación de la columna lumbar, o sea se curva menos, además de redistribuir el movimiento hacia las caderas y rodillas. Estos resultados fueron similares cuando se hicieron bajo fatiga y aún se retenían luego de una semana de aplicado el entrenamiento (Larson, 2023).

La bibliografía recomienda realizar más que una capacitación, un entrenamiento en MMC, que involucre ejercicios prácticos repetitivos y una retroalimentación individual, adaptados a las exigencias del lugar de trabajo. Las cargas sobre el disco intervertebral de la columna no son directamente perceptibles, los movimientos suelen adaptarse a un bajo

esfuerzo muscular y cardiovascular. Esta podría ser una de las razones por las que se transforman en un riesgo a largo plazo de TME relacionados con el trabajo (Vignais, 2013).

Actualmente son diversos los softwares que capturan el movimiento humano en tiempo real sin necesidad de marcadores, que permiten ser utilizados en casi cualquier ambiente. La retroalimentación visual en tiempo real de las fuerzas de compresión L5/S1 basadas en la captura óptica sin marcadores proporciona instrucciones apropiadas para mejorar la técnica de levantamiento en el MMC y reducir los factores de riesgo asociados con el dolor lumbar. Las instrucciones visuales de MMC con retroalimentación individual en tiempo real de la fuerza de compresión del disco intervertebral L5/S1, tienen ventajas significativas en la mejora de la técnica de elevación en comparación con las instrucciones solo teóricas. Por lo tanto, el uso de esta herramienta podría ser un elemento adecuado para la instrucción en programas de entrenamiento de MMC para reducir o prevenir el dolor lumbar en el futuro (Brandl, 2022).

Faja lumbar

El transporte de cargas es una actividad inestable para la marcha del ser humano, requiere atención y probablemente de asistentes que colaboren para evitar accidentes. Mantener la estabilidad de la marcha es una tarea complicada cuando se realizan tareas con MMC, ya que la carga transportada puede cambiar la ubicación del centro de masa del cuerpo. Es recomendable siempre distribuir las cargas equitativamente en ambos lados del cuerpo, pero entendiendo que esta situación no es posible en ocasiones, se ha estudiado que un método adecuado de transporte, en este tipo de situaciones, sería con la carga sobre el hombro con la ayuda de un soporte lumbar (faja) la que permite distribuir la carga eficazmente entre ambos pies, promoviendo la estabilidad durante la marcha y el transporte (Mohammed, 2023).

Estudios que no recomendaban el uso de la faja lumbar tenían deficiencias en la calidad de la evidencia científica que respaldaba sus conclusiones. Algunos de estos estudios se basaron en pruebas anecdóticas o en la opinión de expertos en lugar de en pruebas científicas sólidas. Además, no tuvieron en cuenta factores importantes que podrían afectar los resultados, como la duración del uso de la faja, la frecuencia de uso y la calidad de la faja utilizada, todo esto ha impedido actualmente volver a recomendar este elemento en cualquier tipo de trabajadores con Síndrome de Dolor Lumbar (SDL) (Chou, 2016). Parece ser que la percepción de quienes han usado la faja lumbar no resulta tan negativa como la respuesta de especialistas frente a su recomendación, por ejemplo, el uso esporádico de una faja lumbar (durante las crisis de dolor; en el desarrollo del SDL) ha demostrado efectos beneficiosos en los trabajadores que intentan permanecer en el trabajo a pesar del SDL actual o recurrente (Roelofs, 2007). Además, una reincorporación tardía al trabajo puede deteriorar aún más la salud del trabajador (Rueda, 2012).

El uso de la faja lumbar reduce significativamente la intensidad del dolor y la discapacidad relacionada con el dolor en comparación con no usarla, puede tener beneficios biomecánicos y psicológicos para los trabajadores con SDL. Se podría considerar entonces el uso de faja lumbar como una medida preventiva para reducir el riesgo de lesiones en la espalda baja. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las fajas lumbares no deben usarse como una solución a largo plazo para el SDL y que los trabajadores deben

recibir instrucción sobre cómo usarlas correctamente. El uso de una FL flexible también puede producir una disminución inmediata de la intensidad del dolor, una reducción de los temores y la catastrofización en el dolor en personas con SDL. Desde el punto de vista de la prevención de la discapacidad, estos efectos pueden ayudar a los trabajadores con SDL a reincorporarse gradualmente a las actividades físicas laborales. Es importante tener en cuenta que las fajas lumbares no deben usarse a largo plazo, ya que esto puede traer efectos adversos. Se recomienda que los empleadores tomen medidas para reducir el riesgo de lesiones en la espalda baja, como proporcionar entrenamiento adecuado en MMC y lo más importante buscar constantemente formas de eliminarlo a través de la mecanización de sus procesos productivos (Shahvarpour, 2018).

Todos los factores analizados anteriormente pueden abordarse individual o colectivamente, permitiendo planear y considerar una estrategia, para diseño, no convencional de mitigación de riesgos en trabajadores expuestos a MMC. Al ser una propuesta nueva, este estudio presenta como limitación que no existe una batería específica por sí misma, por lo tanto, puede ser materia de investigación diseñar un programa con estos componentes y conocer su impacto sobre los trabajadores expuestos a MMC.

Conclusiones

El análisis y manejo de los factores internos podría servir para adoptar estrategias de mitigación de los riesgos por MMC, sobre todo cuando las medidas ingenieriles de mecanización y/o automatización de procesos tarda más allá de lo alcanzable por el ergónomo. Los actuales avances tecnológicos en la industria en la mecanización de sus procesos productivos no han sido capaces de eliminar por completo la MMC debido a su complejidad, dado esto es que tampoco desde el punto de vista de la evaluación, se debe tomar livianamente. La intervención de puestos de trabajo con MMC, debe ser considerada de manera integral, la evidencia destaca la importancia de distintos factores internos y externos de la actividad, como participantes del resultado de una evaluación, que no siempre son considerados en las evaluaciones convencionales.

Referencias

- Becker, N. W., Ziebarth, A. D., Larson, D. J., Zwambag, D. P., & Brown, S. H. M. (2022). Influence of Spine-Focused Verbal Instruction on Spine Flexion During Lifting. *Journal of Human Kinetics*, 84, 12–20. <https://doi.org/10.2478/hukin-2022-0085>
- Brandl, C., Brunner, O., Marzaroli, P., Hellig, T., Johnen, L., Mertens, A., Tarabini, M., & Nitsch, V. (2022). Using real-time feedback of L5/S1 compression force based on markerless optical motion capture to improve the lifting technique in manual materials handling. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 91, 103350. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2022.103350>
- Burdorf, A., & Sorock, G. (1997). Positive and negative evidence on risk factors for back disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 23, 243–256.
- Chan, V. C. H., Welsh, T. N., Tremblay, L., Frost, D. M., & Beach, T. A. C. (2022). A comparison of augmented feedback and didactic training approaches to reduce spine motion during occupational lifting tasks. *Applied Ergonomics*, 99, 103612. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103612>
- Chou, R., Deyo, R., Friedly, J., Skelly, A., Hashimoto, R., Weimer, M., Fu, R., Dana, T., Kraegel, P., Griffin, J., Grusing, S., & Brodt, E. (2016). *Noninvasive Treatments for Low Back Pain*. Agency for Healthcare Research and Quality (US). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK350276/>
- Ciriello, V. M. (2003). The effects of box size, frequency and extended horizontal reach on maximum acceptable weights of lifting. *International Journal of Industrial Ergonomics* 32, 115e120.
- Ciriello, V. M. (2007). The effects of box size, frequency and extended horizontal reach on maximum acceptable weights of lifting for female industrial workers. *Applied Ergonomics* 38, 1e5.
- Ciriello, V. M., Dempsey, P. G., Maikala, R. V., & O'Brien, N. O. (2008). Secular changes in psychophysically determined maximum acceptable weights and forces over 20 years for industrial male workers. *Ergonomics*, 51(5), 593e601.
- Clusiaux, D., Davidson, J. B., Armstrong, D. P., & Fischer, S. L. (2022). The influence of sex and strength capacity on normalized low-back exposure during lifting: Insights from a joint power analysis. *Applied Ergonomics*, 102, 103756. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103756>
- Corbeil, P., Plamondon, A., Handrigan, G., Vallée-Marcotte, J., Laurendeau, S., Ten Have, J., & Manzerolle, N. (2019). Biomechanical analysis of manual material handling movement in healthy weight and obese workers. *Applied Ergonomics*, 74, 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.018>
- Dempsey, P. G. (2003). A survey of lifting and lowering tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 31, 11–16.
- Dempsey, P. G., & Hashemi, L. (1999). Analysis of worker's compensation claims associated with manual materials handling. *Ergonomics*, 42, 183–195.
- Denis, D., Gonella, M., Comeau, M., & Lauzier, M. (2020). Questioning the value of manual material handling training: a scoping and critical literature review. *Applied Ergonomics*, 89, 103186. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103186>
- Drury, C. G., Law, C. H., & Pawenski, C. S. (1982). A survey of industrial box handling. *Human Factors*, 24, 553-565.
- Fredericks, T. K., Kumar, A. R., & Karim, S. (2008). An ergonomic evaluation of a manual metal pouring operation. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38(2), 182–192.

- Ghesmaty-Sangachin, M., & Cavuoto, L.A. (2016). Obesity-related changes in prolonged repetitive lifting performance. *Applied Ergonomics*, 56, 19–26.
- Ghezelbash, F., Shirazi-Adl, A., Arjmand, N., El-Ouaaid, Z., Plamondon, A., & Meakin, J. R. (2016). Effects of sex, age, body height and body weight on spinal loads: Sensitivity analyses in a subject-specific trunk musculoskeletal model. *Journal of Biomechanics*, 49(14), 3492-3501. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2016.09.026>
- Hashemi, L., Wedster, B. S., Clancy, E. A., & Volinn, W. (1997). Length of disability and cost of worker's compensation low back pain claims. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 39, 937–945.
- Hermans, V., De Preter, G., & Verschueren, T. (2012). Training in manual material handling: what is going on in the field? *Work*, 41(Supl. 1), 588–591. <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0214-588>
- Hogan, D. A. M., Greiner, B. A., & O'Sullivan, L. (2014). The effect of manual handling training on achieving training transfer, employee's behaviour change and subsequent reduction of work-related musculoskeletal disorders: a systematic review. *Ergonomics*, 57(1), 93-107. <https://doi.org/10.1080/00140139.2013.862307>
- Larson, D. J., & Brown S. H. M. (2023). Effects of trunk extensor muscle fatigue on repetitive lift (re)training using an augmented tactile feedback approach. *Ergonomics*, 23, 1-16. <https://doi.org/10.1080/00140139.2023.2168769>
- Marcotte, J. V., Robert-Lachaine, X., Denis, D., Muller, A., Plamondon, A., & Corbeil, P. (2023). Biomechanical differences in experts' and novices' footstep patterns during a palletizing task. *Applied Ergonomics*, 106, 103880. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103880>
- Marras, W. S., Cutlip, R. G., Burt, S. E., Waters, & T. R. (2009). National occupational research agenda (NORA) future directions in occupational musculoskeletal disorder health research. *Applied Ergonomics*, 40, 15e22.
- Mital, A., Asfour, S., & Ayoub, M. M. (1982). Recommended Work Rates and Container Configuration for Manual Lifting and Lowering Activities. In: Proceedings of the 8th Congress of the International Ergonomics Association, pp. 650e651.
- Mital, A., Nicholson, A. S., & Ayoub, M. M. (1993). *A Guide to Manual Material Handling*. Taylor & Francis.
- Mital, A., & Okolie, S. (1982). Influence of container shape, partitions, frequency, distance, and height level on the maximum acceptable amount of liquid carried by males. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 43, 813–819.
- Mohammed, S. O., Mohammad, N. S., Mohammad S. N., & Abdullah E. A. (2023) The effects of different carrying methods on human gait parameters. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 93, 103403. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2022.103403>
- Murphy, P. L., Courtney, & T. K. (2000). Low back pain disability: relative costs by antecedent and industry group. *American Journal of Industrial Medicine*, 37, 558–571.
- National Institute for Occupational Safety and Health. (1997). *Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors: A Critical Review of Epidemiological Evidence for Work-related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Lower Back DHHS (NIOSH) (Publication No. 97-141)*.
- Plamondon, A., Delisle, A., Trimble, K., Desjardins, P., & Rickwood, T. (2006). Manual materials handling in mining: the effect of rod heights and foot positions when lifting “in-the-hole” drill rods. *Applied Ergonomics*, 37, 709–718.
- Plamondon, A., Larivière, C., Delisle, A., Denis, D., & Gagnon, D. (2012) Relative importance of expertise, lifting height and weight lifted on posture and lumbar external loading during a

- transfer task in manual material handling. *Ergonomics*, 55(1), 87–102, <https://doi.org/10.1080/00140139.2011.634031>
- Rivard, P., & Lauzier, M. (2013). Les modèles et principes d'apprentissage dans la gestion de la formation et du développement des ressources humaines: pour préserver et accroître le capital compétence de l'organisation, second ed. Presses de l'Université du Québec, pp. 67–72.
- Roelofs, P. D., Bierma-Zeinstra, S. M., van Poppel, M. N., Jellema, P., Willemsen, S. P., van Tulder, M. W., van Mechelen, W., & Koes, B. W. (2007). Lumbar supports to prevent recurrent low back pain among home care workers: a randomized trial. *Annals of Internal Medicine*, 147(10), 685–692. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-147-10-200711200-00004>
- Rueda, S., Chambers, L., Wilson, M., Mustard, C., Rourke, S. B., Bayoumi, A., Raboud, J., & Lavis, J. (2012). Association of returning to work with better health in working-aged adults: a systematic review. *American Journal of Public Health*, 102(3), 541–556. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2011.300401>
- Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1992). *Human Factors in Engineering and Design* (7.^a ed.). McGraw-Hill, Inc.
- Shahvarpour, A., Preuss, R., Sullivan, M. J. L., Negrini, A., & Larivière, C. (2018). The effect of wearing a lumbar belt on biomechanical and psychological outcomes related to maximal flexion-extension motion and manual material handling. *Applied Ergonomics*, 69, 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.01.001>
- Snook, S. H., & Ciriello, V. M. (1991). The design of manual handling tasks: revised tables or maximum acceptable weights and forces. *Ergonomics*, 34(9), 1197–1213.
- Vignais, N., Miezal, M., Bleser, G., Mura, K., Gorecky, D., & Marin, F. (2013). Innovative system for real-time ergonomic feedback in industrial manufacturing. *Applied Ergonomics*, 44(4), 566–574. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2012.11.008>
- Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A., & Fine, L. J. (1993). Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36(7), 749–776.
- Zhou, J., Dai, B., & Ning, X., (2013). The assessment of material handling strategies in dealing with sudden loading: influences of foot placement on trunk biomechanics. *Ergonomics*, 56, 1569–1576.