



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

EFECTO DEL FRÍO OCUPACIONAL EN EL SISTEMA MUSCULOESQUELÉTICO DE LOS TRABAJADORES

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA
OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN
ERGONOMÍA Y PSICOSOCIOLOGÍA
APLICADA AL TRABAJO

JOSUE RENZO VALDERRAMA MALLQUI

LIMA – PERÚ

2025

ASESOR

Mg. Armando Willy Talaverano Ojeda

JURADO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Mg. Mirko Rogers Pezoa Villanueva

PRESIDENTE

Mg. Claudia Mylena Tirado Cosser

VOCAL

Mg. Brunella Ysabel Lizardo Otero

SECRETARIO (A)

DEDICATORIA.

A mi abuela quien fue un gran pilar para mi familia

A mis padres y hermanos por haberme apoyado en este recorrido

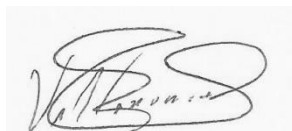
AGRADECIMIENTOS.

A mi asesor Mg. Armando por el conocimiento brindado y su constante apoyo

FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

Tesis Autofinanciada

DECLARACIÓN DE AUTOR			
FECHA	12	JULIO	2025
APELLIDOS Y NOMBRES DEL EGRESADO	JOSUE RENZO VALDERRAMA MALLQUI		
PROGRAMA DE POSGRADO	MAESTRÍA EN ERGONOMÍA Y PSICOSOCIOLOGÍA APLICADA AL TRABAJO		
AÑO DE INICIO DE LOS ESTUDIOS	2024		
TITULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE GRADO	“EFECTO DEL FRÍO OCUPACIONAL EN EL SISTEMA MUSCULOESQUELÉTICO DE LOS TRABAJADORES”		
MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO	Trabajo de Investigación		
Declaración del Autor El presente Trabajo de Grado es original y no es el resultado de un trabajo en colaboración con otros, excepto cuando así está citado explícitamente en el texto. No ha sido ni enviado ni sometido a evaluación para la obtención de otro grado o diploma que no sea el presente.			
Teléfono de contacto (fijo / móvil)	993635525		
E-mail	josue.valderrama@upch.pe		



Firma del Egresado
DNI 72553352

ÍNDICE

RESUMEN
ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	3
III.	METODOLOGÍA.....	4
IV.	DESARROLLO DEL ESTUDIO	7
V.	CONCLUSIONES	46
VI.	RECOMENDACIONES	48
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

RESUMEN

Introducción: El sistema musculoesquelético es uno de los más afectados en el campo laboral y cuya deficiencia es causante del 21,3% del total de tiempo de discapacidad en la vida de una persona, actualmente se puede evidenciar que existe una relación significativa entre frío y el dolor musculoesquelético, incluso a temperaturas moderadamente frías. **Objetivo:** Este estudio tuvo como objetivo el realizar una revisión bibliográfica con relación al frío ocupacional y el sistema musculoesquelético de los trabajadores. **Metodología:** Para el desarrollo se optó por un diseño de revisión narrativa de tipo cualitativo donde se abordaron los documentos de carácter científico (incluyendo normativas) que se encontraban en las bases de datos: Pubmed, Science Direct, y el buscador Google Académico donde se obtuvieron los resultados en base a los 37 artículos seleccionados. **Resultados:** Los principales factores contribuyentes a los efectos del frío ocupacional fueron la temperatura, la humedad, la velocidad del viento, el tiempo de exposición, la ropa y el tipo de tarea que se realiza; todo esto podría verse potenciado si hay un precedente de dolor crónico o factores propios de la persona como la presencia de tejido adiposo, estrés o la genética. También se ha encontrado que el frío es capaz de afectar la función muscular en cuanto a fuerza y rendimiento en especial durante tareas que impliquen movimientos repetitivos, es por ello que surge la necesidad de hacer gestiones en cuanto a ropa personalizada, condiciones y medio ambiente de trabajo. **Conclusiones:** En base a esto se afirma que existe evidencia sustancial que prueba que el frío tiene un efecto sobre el sistema musculoesquelético.

PALABRAS CLAVE

Frío, Musculoesquelético, Trabajadores.

ABSTRACT

Introduction: The musculoskeletal system is one of the most affected in the workplace, and its impairment accounts for 21.3% of total disability time in a person's life. Currently, there is evidence of a significant relationship between cold and musculoskeletal pain, even at moderately cold temperatures. **Objective:** The objective of this study was to conduct a literature review on occupational cold and the musculoskeletal system of workers. **Methodology:** A qualitative narrative review design was chosen for the study, which addressed scientific documents (including regulations) found in the following databases: PubMed, Science Direct, and Google Scholar, where the results were obtained based on 37 selected articles. **Results:** The main factors contributing to the effects of occupational cold were temperature, humidity, wind speed, exposure time, clothing, and the type of task performed. All of these factors could be exacerbated if there is a history of chronic pain or personal factors such as the presence of adipose tissue, stress, or genetics. It has also been found that cold can affect muscle function in terms of strength and performance, especially during tasks involving repetitive movements, which is why there is a need to take steps regarding personalized clothing, working conditions, and the work environment. **Conclusions:** Based on this, it is stated that there is substantial evidence proving that cold has an effect on the musculoskeletal system.

KEYWORDS

Cold, Musculoskeletal, Workers.

I. INTRODUCCIÓN

El sistema musculoesquelético es uno de los más afectados en el campo laboral y cuya deficiencia es causante del 21,3% del total de tiempo de discapacidad en la vida de una persona (Farbu et al., 2022); a menudo esta deficiencia se manifiesta en la espalda baja, cuello y hombros, siendo el dolor la condición musculoesquelética más reportada y cuya presencia puede estar asociada en parte con el frío. Los padecimientos en uno o varios segmentos del sistema musculoesquelético representan problemas de salud pública que causan discapacidad laboral, pérdida de productividad y costos sociales (Ghani et al., 2020; James et al., 2018; Safiri et al., 2020).

Existe una gran variedad de actividades laborales que tienen al frío como un factor inherente al trabajo (por ejemplo en la industria de los alimentos congelados las bajas temperaturas son necesarias para preservar la calidad de los alimentos), considerando que el trabajador está expuesto a temperaturas inferiores a 10 °C (Altuntaş, 2020). En Suecia aproximadamente el 21% de los hombres y 11% de las mujeres están expuestos ocupacionalmente al frío al menos durante la cuarta parte del tiempo de trabajo, dicha exposición en circunstancias similares o diferentes puede verse potenciada por factores como la humedad, viento, ropa, sexo, composición corporal, nivel de actividad física, edad y tiempo de exposición (Ghani et al., 2020; Stjernbrandt et al., 2023; Stjernbrandt & Hoftun Farbu, 2022; Thetkathuek et al., 2015).

Se observó que en las plantas de procesamiento de alimentos las temperaturas pueden oscilar entre -20 °C y -30 °C lo que afecta el desempeño laboral y

representan un riesgo para los trabajadores del sector industrial en especial cuando va de la mano con trabajo pesado y/o movimientos repetitivos; estas circunstancias pueden condicionar al aumento del reporte de molestias musculoesqueléticas (dolor en el cuello, rodillas, hombro y espalda baja; además de calambres, parestesias y debilidad muscular) que a su vez incrementa la fatiga y aumenta el riesgo de sufrir lesiones musculoesqueléticas (Ghani et al., 2020; Stjernbrandt et al., 2023). En cuanto a las funciones neuromusculares se observó que el frío interviene en la disminución significativa de la fuerza manual y función musculoesquelética a diferencia de las personas que no estaban expuestas al frío (p menor a 0,001) (Ghani et al., 2020).

En la actualidad se puede evidenciar que existe una asociación significativa entre frío y el dolor musculoesquelético (en hombro, cuello y piernas), incluso a temperaturas moderadamente frías donde la prevalencia del dolor fue mayor en quienes sentían frío en el trabajo. En Noruega el 30% de los hombres y 27% de las mujeres presentaron dolor musculoesquelético asociado al frío (Farbu et al., 2019), además se evidenció que el frío se asociaba con el dolor en la zona lumbar (OR de 1,38) y dolor lumbar irradiado (OR de 1,87) (Lewis et al., 2023; Stjernbrandt & Hoftun Farbu, 2022). En ocasiones el frío se correlaciona directamente con síntomas de TME (síndrome del túnel carpiano, epicondilitis) y con su frecuencia de hallazgos (hallazgos de síndrome del túnel carpiano es de 51% en el invierno y 39% en el verano)(Altuntaş, 2020; Ghani et al., 2020; Stjernbrandt et al., 2022).

Debido a esta problemática existente surge la necesidad de ahondar en la información existente sobre los efectos que pueda tener el frío en el sistema musculoesquelético de los trabajadores.

II. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar una revisión bibliográfica con relación al frío ocupacional y el sistema musculoesquelético de los trabajadores.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Describir las características del trabajo asociadas al frío ocupacional.
- b) Describir los procesos del frío ocupacional en el sistema musculoesquelético de los trabajadores.
- c) Describir los efectos del frío ocupacional en la función musculoesquelética de los trabajadores.
- d) Describir las recomendaciones que minimicen los efectos del frío ocupacional en el sistema musculoesquelético.

III. METODOLOGÍA

El estudio optó por un diseño de revisión narrativa de tipo cualitativo que consideró los siguientes criterios de inclusión y exclusión.

Para los criterios de inclusión se tomaron en cuenta:

- a) Literatura científica publicada entre las fechas octubre 2014 y septiembre 2024.
- b) Artículos publicados antes de octubre del 2014 y posteriores a la misma que fueron relevantes para cumplir los objetivos de estudio.
- c) Documentos normativos vigentes a septiembre del 2024.
- d) Documentos publicados en idioma español o inglés.

Para los criterios de exclusión se consideró los siguientes puntos:

- a) Literatura científica cuyo acceso completo requirió de un pago previo.
- b) Artículos científicos que solo conceden el acceso al resumen del estudio, sin incluir la información completa.

Para cumplir con los objetivos del estudio se abordaron los documentos de carácter científico (incluyendo normativas) que se encontraban en las bases de datos: Pubmed, Science Direct, Google Académico. Una vez organizada la información se seleccionaron aquellos que tenían relación con el tema de investigación para seguidamente analizarlos individualmente.

Se elaboró el informe final del trabajo de investigación y se consideró un análisis global de los hallazgos para redactar las conclusiones y

recomendaciones del estudio de investigación. La información de los documentos se organizó y analizó por categorías en base a los objetivos específicos descritos.

Al realizar la búsqueda de la literatura científica se usó los siguientes descriptores para la búsqueda en pubmed:

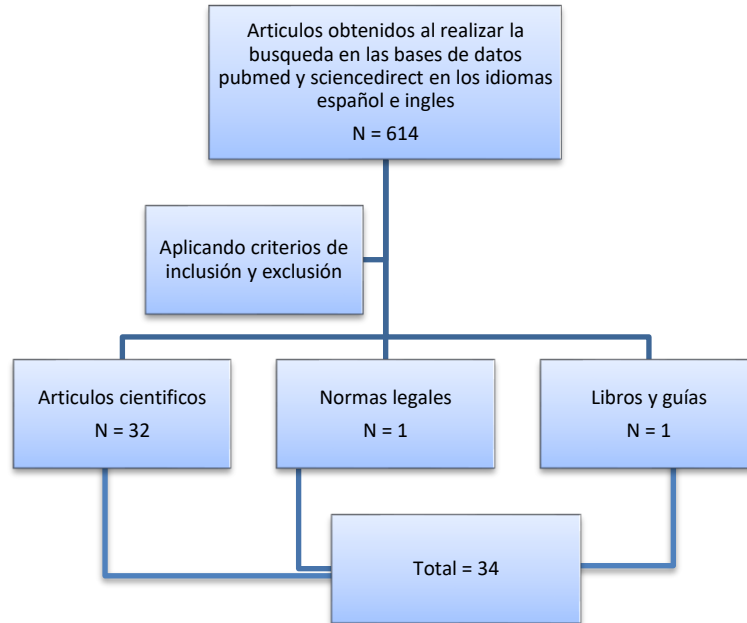
Search: (("cold"[Title] OR "low temperatures"[Title] OR "cooling"[Title])
AND ("musculoskeletal"[Title] OR ("employee"[Title] OR "worker"[Title]
OR "workers"[Title] OR "station"[Title] OR "staff"[Title] OR "pain"[Title]
OR "muscle"[Title]) NOT ("therapy"[Title] OR "therapies"[Title] OR
"diet"[Title] OR "cryotherapy"[Title] OR "treatment"[Title] OR
"treatments"[Title] OR "rats"[Title] OR "patients"[Title] OR "mice"[Title] OR
"diabetic"[Title] OR "vaccine"[Title] OR "hydrostatic"[Title]))) Filters: from
2014 - 2024 Sort by: Most Recent

Y los siguientes descriptores para la búsqueda en sciencedirect, usando el motor de búsqueda Google académico:

allintitle: "cold" OR " low temperatures " OR " cooling " + "musculoskeletal"
OR "musculoskeletal" OR "employee" OR "worker" OR "workers" OR
"station" OR "staff" OR "pain" OR "muscle"-terapy -therapies -diet -
cryotherapy -treatment -treatments -rats -patients -mice -diabetic -vaccine -
hydrostatic site:www.sciencedirect.com

Finalmente, en base a los criterios de inclusión y exclusión se contó con 33 fuentes de información conformada por 3 artículos de revisión, 29 artículos

científicos, 1 normativa y 1 libro, con lo cual se procedió a desarrollar el presente estudio.



En cuanto a las consideraciones éticas, primeramente, se obtuvo la aprobación del proyecto de investigación por parte del comité de ética de la Universidad Peruana Cayetano Heredia. Seguidamente se utilizaron únicamente investigaciones e información publicada para el desarrollo del presente estudio, por lo que no se incluyó a humanos o animales. En cuanto a los derechos de autor de los documentos incluidos, se mantuvo el respeto por dichos derechos haciendo un correcto uso de las referencias bibliográficas correspondientes.

IV. DESARROLLO DEL ESTUDIO

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL TRABAJO ASOCIADAS AL FRÍO OCUPACIONAL

Bajo un enfoque estandarizado en el ámbito ocupacional se entiende al frío desde un punto de vista subjetivo como una experiencia o sensación de frío en el ambiente de trabajo, mientras que una postura más objetiva lo define como ambientes de trabajo que se encuentren por debajo de los 10 °C según la organización internacional de normalización ISO, por sus siglas en inglés, en la norma ISO 15743:2008 (Altuntaş, 2020; Farbu et al., 2021). La norma peruana en cuanto a minería (Reglamento de seguridad y salud ocupacional en minería D.S. N° 024-2016-EM, Ed.2024) provee un fragmento en cuanto al análisis del nivel de enfriamiento en base a la temperatura, humedad y velocidad del aire, así, considera la presencia de frío de bajo peligro desde los 10 °C a una velocidad del viento de 24,135 km/h y desde los 4,4 °C a una velocidad del viento de 8,045 km/h. Por otra parte cabe recalcar las modificaciones a la norma en los años 2017 y 2023 (Ministerio de Energía y Minas, 2024).

En cuanto a las consideraciones respecto a la medición del frío ocupacional en Perú se tiene un pequeño acercamiento con el D.S. N° 024-2016-EM (riesgo de congelamiento), pero a menudo la evaluación requiere apoyarse en normativas internacionales como la ISO 11079 o la NTP 462 (estrés por frío, evaluación de las exposiciones laborales del Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo de España) que sirven como una base para la evaluación del estrés por frío en el trabajo. La evaluación por medio de la norma NTP 462 inicia con la

determinación del tipo de enfriamiento sea general (donde se usa el método IREQ) o local (donde además se usan normas adicionales como la ISO 13732 para enfriamiento por conducción); una vez determinada la evaluación (que generalmente inicia por enfriamiento general) se recolectan los datos para el cálculo del índice IREQ, para ello se analiza la temperatura del aire (bulbo seco), temperatura radiante media (temperatura de globo), velocidad del aire (anemómetro) y humedad (globo húmedo, ISO 7726:1998), seguidamente se determina la tasa metabólica con ayuda de la norma NTP 323 (o la ISO 8996:2021), luego se incluye el ritmo de trabajo, el aislamiento básico de la ropa de protección contra el frío (empleando la norma ISO 15831 o haciendo uso de las tablas incluidas en la ISO 9920 para la determinación del clo, las mismas que están en la NTP 462). Una vez obtenidos todos estos datos se procede a hallar el IREQ tomando en cuenta que el valor obtenido cumplirá o no cumplirá con el IREQ mínimo necesario para mantener la temperatura (el IREQ se compara con el clo usado en el cálculo), o en caso no cumplir disminuirá el tiempo de exposición (vestimenta insuficiente, vestimenta suficiente, vestimenta suficiente con riesgo de sobrecalentamiento) (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), 2018, 2024b).

Se destaca que si bien los valores obtenidos (IREQ) provienen del ambiente de trabajo estos son solo orientativos y los resultados obtenidos deben ser ajustados a la necesidad de cada trabajador (distintas respuestas fisiológicas y experiencias), por lo que además se necesitará extraer información de la persona expuesta (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST), 2024a).

Los factores asociados a un ambiente frío

Existen factores que pueden estar presentes en el trabajo y contribuir a exacerbar los efectos del frío tales como el viento, la humedad del aire, la ropa, o también ser una característica del puesto de trabajo como estar sumergido en agua, contacto con superficies o la manipulación de herramientas, incluso el tipo de tarea que se realiza por la cantidad de calor que el cuerpo del trabajador pueda producir. Por lo tanto, las temperaturas moderadamente frías en compañía de uno o varios factores también pueden provocar un desequilibrio térmico que genera un estrés en el cuerpo y aumenta la mortalidad en los trabajadores. Otros factores asociados a los efectos del frío en el trabajador están presentes en el tipo de tarea que realiza así como en el estrés acumulado por años (Altuntaş, 2020; Farbu et al., 2021).

Seguidamente se considera que el frío ambiental ocupacional puede afectar al cuerpo dependiendo de si es por enfriamiento general, que ocurre al exponer todo el cuerpo a un ambiente frío, o local que es cuando existe contacto directo con objetos fríos. Ambas formas ejercen efectos diferenciados y ambos tienen un efecto dependiente de la temperatura; pero en el caso del enfriamiento global incluso un frío relativamente suave con la presencia de viento y humedad pueden condicionar un efecto de enfriamiento general significativo (Stjernbrandt et al., 2023) (Stjernbrandt & Hoftun Farbu, 2022).

La exposición al frío en los sectores económicos

Cada sector económico tiene una variedad de actividades que incorporan al frío como algo rutinario sea en la pesca, la guardia costera, las fuerzas armadas, la

industria forestal, entre otros (MacDonald et al., 2020). Algunos de estos sectores son:

a) Minería

- En las minas ubicadas en los territorios nórdicos (parte norte de Suecia y Noruega) se laboran a temperaturas promedio de -14°C y -9°C . donde se realizan los trabajos de conducción de vehículos, tareas de mecánico y electricista principalmente (Burström et al., 2017).

b) Construcción

- En Suecia los trabajadores de construcción laboran a temperaturas anuales en promedio de $4,7$, $7,4$ y $8,0^{\circ}\text{C}$ donde existen los puestos de trabajo en oficina, capataces y trabajadores de construcción manual con posibilidad de que sus trabajos sean al aire libre (Burström et al., 2013).

c) Industria alimentaria

- En una planta avícola de Turquía existen procesos operativos de corte, triturado, empaquetado, ensacado y transporte, la mayoría de los trabajadores están en un ambiente a 5 o menos $^{\circ}\text{C}$, y una parte a 9°C (Altuntaş, 2020).
- En un matadero de Dinamarca donde se ejecutan operaciones de sacrificio y procesamiento de carne, se mantienen actividades que implican acciones repetitivas y de esfuerzo (cortado de carne, empaquetado de carne y matadero). Las temperaturas suelen ser bajas (Sundstrup et al., 2015).

- En una instalación de almacenamiento de alimentos en Pakistán están presentes temperaturas que oscilan entre los -20 y -30 °C donde además trabajan 8 horas al día seis días a la semana (durante el día existe un periodo de descanso de una hora por cada hora de trabajo), también se maneja una indumentaria de protección térmica que consta de guantes, calcetines gruesos, botas para el frío y un mono de trabajo, cabe destacar que las indumentarias no cumplían con normas en específico (Ghani et al., 2020).
- Trabajadores de dos fábricas de alimentos congelados de Tailandia trabajan 6 días a la semana con una jornada laboral de 8 horas al día (el 61,4% estaba expuesto más de 3 horas al día a ambientes fríos) en las categorías de trabajo clasificación, pelado, disección y almacén, con una temperatura que oscila entre los 17,2 °C y 19,22 °C en la mayoría de las secciones y -18,0 °C en el almacén. Expuestos al riesgo de enfriamiento proveniente del entorno laboral, el agua de procesos y los productos procesados (Thetkathuek et al., 2015).
- En Estados Unidos las cámaras frigoríficas se utilizan comúnmente para el almacenamiento y la preparación de alimentos, y suelen mantenerse a una temperatura de alrededor de 4 °C, en una empresa de 500 empleados que proporcionaba servicio de catering para 16 vuelos internacionales y entre 220 y 260 vuelos nacionales al día, preparan alimentos durante periodos que pueden pasar las 8 horas o más dentro de cámaras frigoríficas, de esa población 130 preparan

la comida en dos cámaras frigoríficas. Los empleados solían trabajar turnos de 8 horas con una pausa para comer de 30 minutos y otra de 20 minutos. La empresa operaba con dos turnos y los empleados realizaban horas extras voluntarias, además los empleados de las cámaras frigoríficas trabajaban de 3 a 8 horas por turno preparando comida en bandejas (algunas de las comidas ensambladas requerían una destreza manual fina como decorar con pequeñas guarniciones, recoger camarones con palillos de dientes, cortar rebanadas muy finas de pescado) o cargando las bandejas terminadas en carros. Ambas cámaras frigoríficas estaban climatizadas a aproximadamente 4 °C mediante unidades de refrigeración con recirculación de aire en el techo (bombas de calor) (Ceballos et al., 2015).

- En una industria avícola de Tailandia, donde la temperatura media observada es de 3,8 °C y la velocidad del viento es 0,38 m/s, existen puestos de oficina y de fabricación o almacenamiento en frío o conductores de montacargas, donde se realiza trabajo físico pesado, trabajo físico ligero y trabajo sedentario. La media de la jornada laboral diaria era de 8,7 h (8,9 h/día para hombres y 8,4 h/día para mujeres), con un 54 % trabajando más de 8 h/día, por otra parte, el aislamiento térmico medio de la ropa era de 1,15 clo y fue menor en mujeres (1,08 clo) que en hombres (1,20 clo). Los trabajadores se desplazaban diariamente entre zonas frías y cálidas al menos cuatro veces al día (Laohaudomchok et al., 2023).

d) Hidrocarburos

- En el Mar de Barents en territorio noruego se llevan a cabo actividades en una plataforma petrolera con trabajadores offshore (trabajadores de plantas marítimas) a temperaturas ambientales continuas de 0 °C pudiendo llegar a -30 °C (donde predomina el trabajo al aire libre que puede llegar a 2 horas continuas y se mueven con frecuencia entre los espacios interiores y exteriores), además existe la presencia de fuertes vientos, nieve y hielo. Para hacer frente al clima hacen uso de ropa de protección personal con la que realizan las tareas frecuentes de operación y mantenimiento de equipos de perforación, revestimiento y tubos, descarga de suministros y su traslado a almacén, operaciones con grúas y reparación de equipos. Gran parte del trabajo implicaba una amplia gama de movimientos corporales, como arrodillarse, agacharse, apoyarse en superficies frías y duras, trepar entre equipos, en espacios estrechos, por escaleras y en la torre de la grúa, a menudo con arnés de escalada y trabajando con los brazos por encima de los hombros (Naesgaard et al., 2017).

e) Exposición al aire libre

- En la ciudad de Tromsø, Noruega, la temperatura al aire libre suele ser inferior a 10 °C y rara vez está por debajo de los -10 °C. En base a una encuesta se vio que 779 personas trabajaban expuestas al ambiente frío más del 25% del tiempo de su jornada laboral, la

mayoría de estas personas eran hombres jóvenes que además estaban expuestos a trabajos físicamente exigentes (Farbu et al., 2019).

- Según estadísticas del gobierno sueco aproximadamente el 22% de los hombres y el 13% de las mujeres están expuestos al frío ocupacional durante al menos el 25% de su jornada laboral. En una población de estudio de 8740 sujetos que laboran se vio las siguientes actividades, 4098 (46,9%) realizaron trabajo manual (44,4% tenían un trabajo ambulatorio y el 55,6% tenían que levantar objetos pesados o trepar), mientras que 4642 (53,1%) tuvieron principalmente trabajos de oficina. Entre los hombres con alta exposición ocupacional al frío, las tres ocupaciones más comunes fueron conductores de equipo pesado (15,5 %), trabajadores de la construcción (13,0 %) y técnicos (9,1 %). Las categorías correspondientes para las mujeres fueron maestras (p. ej., en preescolar; 30,0 %), cuidadoras (27,0 %) y trabajadoras agrícolas (4,9 %). Otras ocupaciones incluyeron integrantes de las fuerzas armadas, trabajadores cualificados agrícolas, forestales y pesqueros, trabajadores de artesanías y oficios relacionados, operadores de plantas y máquinas y ensamblajes, ocupaciones elementales y trabajadores autónomos; también estuvieron los trabajos de oficina en las categorías de gerentes, trabajadores de apoyo administrativo y trabajadores de servicios y ventas (Stjernbrandt & Hoftun Farbu, 2022).

- Otra encuesta realizada en Suecia a 2089 trabajadores con una edad media de 56 años reveló que el 28,4% eran profesionales, el 16,0% trabajadores de servicios y ventas, 15,5% técnicos y profesionales asociados, 12,4% trabajadores de apoyo administrativo, 7,5% operadores de plantas máquinas, 6,7% gerentes, 6,2% artesanos, 2,6% trabajadores autónomos, 2,6% trabajadores manuales, 1,7% trabajadores del sector agrícola y pesquero, por último, el 0,5% eran militares. Donde además los trabajadores están expuestos a refrigeración por contacto, refrigeración ambiental, enfriamiento ambiental severo, manipulación manual pesada y trabajo con herramientas vibratorias (Stjernbrandt et al., 2023).

4.2. PROCESOS DEL FRÍO OCUPACIONAL EN EL SISTEMA MUSCULOESQUELÉTICO DE LOS TRABAJADORES.

El pasar del tiempo no ha sido suficiente para generar un cambio fisiológico en el humano a fin de lograr adaptaciones a los ambientes fríos, debió a esto el hombre debe valerse de instrumentos e indumentarias que le permitan habitar en esos climas adoptando así una termorregulación conductual; esto le confiere capacidad de exponerse al frío del aire libre o al de ambientes artificiales, pero aun así debe entenderse que el frío tendrá un efecto estresante en el organismo que sobrecarga al cuerpo (Castellani & Young, 2016; Farbu et al., 2019). Además, se debe tomar en cuenta que los trabajadores que usan ropa de protección térmica para impedir la pérdida de calor acelerada también están

expuestos a una mayor demanda muscular y por ende un mayor gasto metabólico por los kilos de ropa y dificultad de movimiento (Oksa et al., 2012).

La percepción térmica

Cuando un estímulo llega a la piel está la recibe mediante un termorreceptor que está compuesto por canales iónicos entre ellos el trpm8 que capta el estímulo frío y envía un impulso nervioso hacia el axón de una neurona sensorial monopolar (también llamada pseudounipolar), esta señal viaja por todo el axón pasando por los ganglios espinales y dirigiéndose principalmente a las láminas I, II y III del asta dorsal de la médula espinal, seguidamente el impulso se dirige al sistema nervioso central donde finaliza con la sensación de frío y se emite una respuesta adecuada para el estímulo. Las neuronas sensoriales periféricas tienen sus cuerpos neuronales en las raíces dorsales, específicamente en los ganglios espinales y los ganglios trigéminos (ganglio de Gasser), cada neurona tiene un tipo característico de fibra y de receptor, un receptor puede ser de umbral bajo (se estimula por frío leve, y tiene una frecuencia de activación que aumenta) o de umbral alto (nociceptor de frío, se estimula con frío extremo y tiene una activación retardada y de frecuencia lenta y prolongada) dependiendo de la conformación de canales que tenga en su membrana. Se sabe que los termorreceptores de umbral bajo comúnmente son unimodales (sensibles a un solo tipo de estímulo) mientras que los de umbral alto son polimodales por lo que esta última no solo transmite frío nociceptivo sino también otros tipos de estímulos como el dolor por calor o dolor mecánico, pero cabe destacar que a temperaturas de 0 °C todos los nociceptores incluidos los de frío se activan (MacDonald et al., 2020).

En el cuerpo humano una variación de 1 a 2 °C es suficiente para que el cuerpo perciba enfriamiento, mientras que a una temperatura dérmica por debajo de los 20 °C se puede experimentar dolor por frío, inmiscuidos en este fenómeno los receptores juegan un papel importante de acuerdo a sus características, estos pueden ser: los receptores de bajo umbral localizados comúnmente en las neuronas sensoriales de pequeño diámetro que responden a un enfriamiento leve y en la percepción del estímulo compromete al canal *trpm8* considerado el más importante detector de enfriamiento leve considerado además como un termostato termorregulador, es un canal que se activa por la disminución de la temperatura y las neuronas que poseen este canal, las neuronas *trpm8*, son altamente selectivas a los estímulos de enfriamiento. Por otra parte, los receptores de alto umbral poseen un canal *trpa1* que se activa a temperaturas por debajo de los 10 °C a diferencia de *trpm8* este canal es multimodal. Existen más canales que podrían estar participando en la percepción del frío, debido a que incluso bloqueando a *trpm8* y *trpa1* la sensación de frío nocivo disminuye pero no desaparece (MacDonald et al., 2020).

Aunque en la actualidad no se conoce con certeza los mecanismos implicados en la nocicepción por frío el conocimiento reunido hasta la actualidad marca a los receptores *Trpm8* y *Trpa1* como principales implicados en la detección del frío, y a los canales de sodio dependientes de voltaje para la conducción. Estos mecanismos son relevantes porque permiten detectar temperaturas nocivas para el cuerpo, pero estos receptores no serían los únicos implicados en la detección del frío o el dolor por frío (Resch et al., 2025).

Existen 3 tipos de fibras nerviosas están las de tipo A, B y C. Las fibras tipo C son amielínicas lentas (0.5-2 m/s) de pequeño diámetro y principalmente nociceptivas para estímulos mecánicos y térmicos (calor principalmente), además percibe información táctil (fibras táctiles mecanoaférentes); también están dentro de ellas las aferencias silenciosas que se activan en presencia de inflamación. Las fibras tipo A son mielinizadas rápidas (12-30 m/s) que transmiten información de tipo térmica (frío) y nociceptiva, por otro lado las fibras C presentan una mayor densidad de inervación que las fibras tipo Aδ (Arcilla & Tadi, 2023; Burström et al., 2017; Olausson et al., 2024).

El confort térmico es una evaluación subjetiva de la satisfacción psicológica que una persona tiene de su entorno con relación a la temperatura. En este tipo de confort intervienen la fisiología humana, la psicología y la psicofísica personal las cuales crean variaciones en las respuestas subjetivas, por ello al someter a varios sujetos a un mismo ambiente se obtienen distintas respuestas de confort térmico. Bajo la estimulación del entorno externo, el cuerpo humano se esfuerza por mantener la homeostasis y cuando se expone a un entorno frío, la actividad del nervio simpático del hipotálamo causa vasoconstricción, el flujo sanguíneo de la piel se reduce y la disipación de calor de la piel disminuye. Además, la actividad del nervio simpático inducida por un entorno frío también puede aumentar la producción de calor, manteniendo aún más el equilibrio térmico corporal. Pero en un entorno neutro, el nervio parasimpático está activo y el nervio simpático se inhibe, por lo tanto, el confort térmico humano puede estar regulado esencialmente por el sistema nervioso autónomo compuesto por nervios simpáticos y parasimpáticos (Wu et al., 2021).

El sistema musculoesquelético

El sistema musculoesquelético representa alrededor del 40% del peso corporal total y está constituido por tejido conectivo y muscular, su función radica principalmente en permitir la locomoción, mantener la postura y el equilibrio, así el ser humano puede llevar a cabo las actividades de la vida cotidiana, aunque también cumple otras funciones como en la mecánica respiratoria o contribuir en el retorno venoso. Por otra parte, el músculo es una estructura con la capacidad de poder contraerse o acortarse mediante un estímulo nervioso mediado por calcio y está conformada por múltiples fascículos cada uno de estos a su vez contiene fibras musculares que están compuestas por miofibrillas (estructurada a base de varios miofilamentos compuestos de proteínas actina y miosina). Existen 2 tipos de fibras musculares, las de tipo I o también llamadas fibras rojas (por su alto contenido de mioglobina) son de contracción lenta, estas fibras poseen más resistencia a la fatiga y generalmente participan en el control postural; las de tipo II son llamadas de contracción rápida y tienen mayor capacidad de generar fuerza y tensión, aunque por períodos más cortos. La distribución de estas fibras en cada músculo dependerá de la función que este realice además del entrenamiento, la edad y la herencia genética (Constantin-Teodosiu & Constantin, 2021).

Factores orgánicos influyentes en la percepción térmica

La información sensorial percibida puede sufrir variaciones por factores fisiológicos (condiciones hormonales) y morfológicos (mayor densidad de termorreceptores en las mujeres). Se estimó que la temperatura corporal (CPT,

medida en la articulación de la muñeca) de los hombres era 4,8 °C menor (es decir, menor sensibilidad al dolor por frío) que la de las mujeres (IC del 95 %, -3,3 a -6,3; $p = 0,001$) (Waller et al., 2019). Por otra parte, se sabe que el frío, la vibración y el estrés mecánico también afectan la sensibilidad, se observó que en 251 trabajadores de una mina (-9 °C y -14 °C) había un deterioro de la sensibilidad en sujetos mayores a 40 años y en aquellos trabajadores que sí habían sufrido daño localizado por congelamiento (Burström et al., 2017; Farbu et al., 2021). Otro estudio concluyó en que los síntomas faciales y cutáneos estaban vinculados con el sexo, la edad y el lugar donde se laboraba, las mujeres con mayor edad que estaban a temperaturas de entre -10 °C y -18 °C resultaron tener un mayor riesgo de presentar dolor facial, por otra parte, la edad también se vio vinculada a un mayor riesgo de presentar escalofríos y frío en todo el cuerpo (Thetkathuek et al., 2015). Contrario a eso se observó que los adultos mayores eran menos sensibles al dolor por presión, aunque esta diferencia no llegaba a ser significativa en otras investigaciones, se pudo observar que habían otros factores inmiscuidos en la sensibilidad al frío, como el genético o el factor ambiental que podían causar variaciones en la sensibilidad al frío (Waller et al., 2024).

Se ha observado que para experimentar los efectos del frío en el sistema musculoesquelético no basta con estar expuestos a un ambiente frío, también influye la respuesta autoinformada de la persona si su percepción, aunque subjetiva, realmente es la de sentir frío (Farbu et al., 2019). Esto se planteó luego de que se evaluará la sensación de frío en 1173 trabajadores de procesamiento de alimentos donde se relaciona parámetros de la temperatura

ambiental como velocidad del aire, temperatura a la altura de los pies y a 1,1 metros del suelo con la sensación de frío de los trabajadores, se concluyó que no había una relación significativa entre un ambiente frío de trabajo y la sensación de frío, incluso habían trabajadores sintiendo frío en áreas calefaccionadas con una temperatura que se podría decirse era satisfactoria (Bang et al., 2005).

Existe un mecanismo conocido como sensibilización central cuyo comportamiento se basa en facilitar los impulsos excitatorios y dificultar la respuesta inhibitoria de esta forma estímulos tanto nocivos como inocuos se ven amplificados. Se sabe que la sensibilización central se encuentra arraigada al dolor crónico musculoesquelético, por lo que las personas que presentan dolor crónico tendrían una percepción alterada de los estímulos dolorosos, así como de otras sensaciones. Se observó que la sensibilización central puede afectar la entrada de información sensorial percibida (hiperacusia, hipersensibilidad al frío) incluso en estructuras ajenas a la lesión, por lo que podría existir un proceso central (Sundstrup et al., 2015). Además, cabe destacar que el dolor crónico afecta a una quinta parte de todas las personas del mundo (MacDonald et al., 2020).

En una persona con sensibilización central el umbral de dolor es bajo en comparación con una persona sana, por ende, tanto la percepción nociceptiva como la sensación de frío podrían verse alteradas lo que lleva a tener un mayor reporte de sensación de frío en el trabajo e incluso aumentar el reporte de molestias musculoesqueléticas. Cabe destacar que una de las pruebas que se usa para la evaluación del dolor (la prueba de presión fría) en las personas es

sumergiendo las manos en agua helada (Farbu et al., 2019). Por otra parte, los trabajadores con dolor crónico experimentan el frío de forma distinta por lo que, existe una variación interindividual en la percepción del frío de los trabajadores por efecto del dolor musculoesquelético crónico. Un estudio hecho en 82 trabajadores de un matadero mediante el cuestionario de clima interior MM y con él usó un algómetro en el infraespinoso, extensor radial corto del carpo y un músculo no doloroso (tibial anterior) reveló que aquellas personas con presencia de dolor crónico tuvieron más reportes de molestias sobre el ruido y las corrientes de aire, tomando en cuenta que el grupo control estaba expuesto a las mismas condiciones ambientales (Sundstrup et al., 2015).

Se ha estudiado de forma amplia la aclimatación al frío y si bien muchas funciones como la vasoconstricción y el aumento de la tasa metabólica pueden presentarse se ha observado que la percepción del frío podría no variar en personas que habitan en ambientes fríos, un estudio realizado en Noruega y Suecia con 251 trabajadores de una mina (-9 °C y -14 °C) mostró que no existía deterioro de los umbrales de percepción térmica (Burström et al., 2017; Farbu et al., 2019). Sin embargo, se plantea que el receptor tprm8, relacionado con la sensación de frío, por medio de regulaciones del SNP puede expresar distintas termosensaciones por lo que durante la aclimatación con el tiempo diferentes temperaturas serían percibidas por el cuerpo como diferentes termosensaciones (MacDonald et al., 2020). Se observó que un entrenamiento militar de 14 meses de permanencia en climas gélidos (temperatura más baja registrada -30 °C) redujo la sensibilidad térmica en las manos sin llegar al daño local por congelamiento (Burström et al., 2017).

En un estudio realizado en India con 37 personas (31 completaron la prueba) entre 18 y 25 años a quienes se les aplicó la prueba de presión en frío durante 7 días consecutivos con agua a una temperatura mantenida entre 3 y 5 °C. Demostraron que las exposiciones repetidas al dolor por frío aumentaron el umbral y la tolerancia al dolor (p menor a 0,0024), lo que llamaron habituación, mostrando una correlación positiva, el umbral y la tolerancia al dolor se correlacionaron desde el primer día. Sin embargo se vio que la respuesta subjetiva de los participantes de la percepción del dolor no tuvieron un cambio significativo en los días de exposición (la habituación no tiene un efecto en el componente afectivo de la sensación de incomodidad relacionado al dolor), además cuando se aplicó la prueba de presión en frío en la mano no expuesta se observó que esta por el contrario había disminuido su umbral de dolor haciéndose más sensible, lo cual mostraría un efecto sistémico pero con una respuesta diferente (Savitha et al., 2022). Aunque otro estudio menciona que los efectos agudos de la exposición al frío no suelen ser relevantes (inicialmente incluso podrían parecer beneficios) la exposición crónica si da como resultado múltiples afecciones negativas al cuerpo (presencia de dolor, mayor sensibilidad al frío, afecciones musculoesqueléticas) (Farbu et al., 2022; Thetkathuek et al., 2015; Wakabayashi et al., 2015).

Un estudio realizado en Australia analizó las asociaciones entre la experiencia del dolor musculoesquelético (en columna lumbar, tibial anterior, trapecio superior y muñeca) y las medidas de sensibilidad al dolor por presión y frío en 917 adultos jóvenes mediante protocolos estandarizados. Donde además se consideraron factores de confusión como el sexo, edad, etnia, índice cintura-

cadera, síntomas psicológicos, calidad del sueño, actividad física, comportamiento sedentario, tabaquismo e ingresos. Finalmente concluyeron que no existían asociaciones entre la experiencia de dolor y la sensibilidad al dolor por presión incluso al hacer ajustes por factores de confusión (cabe recalcar que este estudio fue realizado en un lugar de clima templado). Sin embargo, los grupos que manifestaron un nivel alto y medio de dolor si mostraron una mayor sensibilidad al dolor por frío en comparación con el grupo que no presentaba dolor ($p = 0,023$). Esto podría deberse a una alteración del procesamiento nociceptivo, este concepto está respaldado por una amplia literatura que describe cómo los cambios en el procesamiento nociceptivo de diversos estímulos se ven alterados en personas con condiciones clínicas musculoesqueléticas existentes, por ejemplo en la osteoartritis de rodilla, fibromialgia, dolor en codo o lumbalgia donde se ve incrementada la sensibilidad nociceptiva (Waller et al., 2019).

Al percibir un estímulo de frío este también puede verse alterado por factores internos propios del organismo como la anemia, un estudio realizado en 73 mujeres comprobó mediante el uso de la prueba de presión en frío que la reactividad cardiovascular así como la termosensibilidad al frío podrían verse incrementadas en sujetos anémicos, por lo que es probable que los niveles de hemoglobina en las personas también pudiesen jugar un papel en la sensibilidad al frío (Saxena et al., 2024).

Un estudio que incluyó 13092 hombres y mujeres de 4 fábricas de carne de pollo en Tailandia mostró que existe una amplia variación en cuanto a la percepción del frío, abarcando temperaturas que van de -4°C a 27°C .

Extrapolando los datos a la norma ISO que hace referencia al frío como temperaturas que estén por debajo de los 10 °C, se vio que en el lugar de trabajo el 83% de los participantes consideró a esta temperatura como fría; en el plano internacional se considera frío o fresco una temperatura de 18 °C en Taiwán, 18 °C en el Reino Unido , 17 °C en China y 14 °C en Irán. Por otra parte, se encontró que el reporte de temperatura fría autoevaluada en los trabajadores de oficina era notablemente alto, siendo mayor en los trabajadores sedentarios que en los no sedentarios, es posible que esto haya sido influenciado por el sesgo de clima cálido, donde temperaturas de 24–26 °C se consideran principalmente neutras en climas cálidos, pero 15–20 °C en climas más fríos, esto a su vez refleja la adaptación al clima donde se habita. Además, se vio que el límite crítico en el que se inicia la producción de calor para mantener el equilibrio del calor corporal en un individuo vestido de manera ligera es de aproximadamente 22-29 °C, en base a esto se sugirió que para el caso de Tailandia 26 °C podría ser considerado como la temperatura interior neutral recomendada, y si esta temperatura llegase a disminuir es posible que dentro del organismo se inicien procesos fisiológicos incluso a temperaturas de 18 °C, lo que provocaría un aumento de la producción de calor, la frecuencia cardíaca y la presión arterial (Laohaudomchok et al., 2023; Saxena et al., 2024).

4.3. EFECTOS DEL FRÍO OCUPACIONAL EN LA FUNCIÓN MUSCULOESQUELÉTICA DE LOS TRABAJADORES

En un estudio que incluyó a 12,627 personas se observó que 2225 sujetos (17,9 %) reportaron dolor cervical, 2031 (16,4 %) dolor lumbar y 873 (7,0 %) radiculopatía lumbar (Stjernbrandt & Hoftun Farbu, 2022). Un porcentaje de los reportes de molestias musculoesqueléticas (y otros problemas de salud) podrían estar asociados a un ambiente frío en el lugar de trabajo, numerosos estudios demostraron que trabajar en un ambiente frío o sentir frío estaba asociado con una mayor presencia de dolor en trabajadores de construcción, industrias pesqueras y almacenes, así como en la población general (Farbu et al., 2021). Aunque la primera manifestación aguda percibida por el trabajador, como efecto del frío ocupacional, suele ser la fatiga el proceso como tal conducirá a una serie de alteraciones como consecuencia de la presencia del frío ocupacional (Altuntaş, 2020).

Función musculoesquelética

La presencia del frío interfiere con la función muscular lo que provoca dolor y en otros casos lesiones musculares, aunque la manifestación inicial es la fatiga el proceso conduce a una serie de alteraciones como consecuencia de la presencia del frío ocupacional, al reducir la temperatura intramuscular la resistencia, la potencia, la velocidad y la coordinación se verán afectadas (Altuntaş, 2020; Farbu et al., 2019).

Los ambientes fríos suelen causar deficiencias en la fuerza, potencia y destreza manual, pero también se han presentado otros efectos como el preenfriamiento antes del ejercicio para la mejora de la resistencia física, además se probó en ratas Sprague-Dawley que la exposición intermitente al frío acompañado de una

hipoxia hipobárica intermitente desencadenaba una vasodilatación en los vasos sanguíneos que irrigan al tejido muscular, de esta forma elementos de crecimiento así como oxígeno y metabolitos llegaban en mayor cantidad al músculo lesionado y aceleraban su recuperación. Esta misma respuesta de vasodilatación también se ve en humanos y es inducida por el frío para de esta forma también evitar lesiones por congelamiento (Sánchez Nuño et al., 2024; Santocildes et al., 2024; Wakabayashi et al., 2015). En el deporte el frío se suele usar antes y después del entrenamiento, después del entrenamiento se aplica con el objetivo de reducir el flujo sanguíneo y así poder limitar la extensión del daño secundario causado por el ejercicio (Jones et al., 2024).

En un estudio que incluyó a 10 hombres (corredores de competición) analizó el efecto del frío en el consumo de oxígeno muscular por medio de espectroscopia de infrarrojo cercana (usado para ver los cambios hemodinámicos del músculo así como su oxigenación), donde se demostró que la inmersión en agua fría influyó en el consumo muscular de oxígeno y que además, el consumo de oxígeno disminuyó a temperaturas de 10 °C y 15 °C después de 20 minutos de exposición al frío mediante inmersión, esto indicaría que las temperaturas de inmersión más bajas conllevarían a una mayor disminución de la actividad metabólica muscular. En los procesos posteriores a la actividad muscular se debe establecer los objetivos buscados antes de planear la aplicación, por ese mismo hecho es que el tema aún sigue presentando ciertas discrepancias, aun así algunos estudios proponen su uso para mejorar los cambios inducidos por el entrenamiento después del entrenamiento de resistencia (Jones et al., 2024).

Dentro de los efectos en el músculo se observó que cuando su temperatura caía por debajo de los 27 °C la contracción voluntaria máxima también lo hacía (se evidenció que a 20 °C hay una disminución del 60% de la contracción voluntaria máxima) mientras que la resistencia sigue un patrón de campana en relación con la temperatura, donde temperaturas por encima o debajo de los 27 o 28 °C conduce a un deterioro de la resistencia, además se sugirió que el músculo se ve más afectado por el frío durante una actividad con contracción isotónica que durante una con contracción isométrica (Wakabayashi et al., 2015). Durante la actividad isométrica probablemente el mecanismo de acoplamiento de la contracción tenga un tiempo más prolongado de relajación durante la contracción en frío (27-28 °C) esto podría permitir una mejora en la resistencia submaxima, lo que disminuye la frecuencia de impulsos nerviosos y el coste energético (Renberg et al., 2020). Sin embargo se vio que durante tareas que requerían manipulación manual pesada diaria en ambientes fríos durante más de la mitad de la jornada laboral era suficiente para generar dificultades en la función motora de la mano por compresión del nervio a nivel de la muñeca (OR 7,25 con un IC 95%: 3,88-13,53) (Stjernbrandt et al., 2022).

La fatiga muscular se expresa en la incapacidad temporal del músculo de poder realizar un esfuerzo a causa de una actividad física intensa que acumula residuos del metabolismo como lactato, seguidamente el músculo puede recuperarse en un periodo de 3 – 5 días (Constantin-Teodosiu & Constantin, 2021). Es posible que durante la presencia del frío las fibras externas del músculo experimenten un enfriamiento con la consiguiente reducción de la velocidad de conducción nerviosa, esto provoca que las fibras internas sean las principales efectoras de

la contracción muscular, se suman a este efecto las fibras de contracción lenta que presentaron una mayor disminución de la velocidad de contracción por ser más sensibles al frío, por lo que inicialmente no son reclutadas. Cuando las fibras internas del músculo tienen que generar más potencia para cubrir las necesidades requeridas y compensar el bajo nivel de reclutamiento de fibras musculares, las demandas con altos requerimientos conducen a que el músculo presente una fatiga prematura; se observó que la fuerza del músculo disminuye con relación a la dosis de enfriamiento de 2 a 3 % de pérdida de fuerza por cada °C de caída de la temperatura muscular (Wakabayashi et al., 2015). Otro factor contribuyente a la fatiga reportado en condiciones de congelación es el aumento del nivel de viscosidad del líquido sinovial lo que rigidiza las articulaciones y hace que los músculos tengan que ejercer mayor fuerza (Ghani et al., 2020).

En una electromiografía se identifican principalmente la amplitud y la frecuencia de la señal, la amplitud se refiere al nivel de activación o al porcentaje de activación del músculo (se obtiene la referencia del 100% con la contracción voluntaria isométrica máxima, donde se espera que gran parte de las fibras sean reclutadas), por otra parte la frecuencia se relaciona con la fatiga, una disminución progresiva de la frecuencia indicaría menos potenciales de acción (Guzmán-Muñoz et al., 2018). Se ha visto que en un músculo hipotérmico existe disminución en la amplitud en la electromiografía (esto dependiendo del tipo de actividad y temperatura pues con agua a 20 °C circulando en el brazo la amplitud puede aumentar, pero con agua a 0 °C la amplitud puede disminuir), aunque algunos estudios encontraron un incremento de la amplitud esto podría ser explicado por un aumento en el reclutamiento,

tomando en cuenta que en la presencia de frío inicialmente el reclutamiento es principalmente de fibras de contracción rápida se podría esperarse un aumento de la amplitud en la electromiografía. En cuanto a la frecuencia, la reducción de la velocidad de conducción causada por el frío se ha observado en el músculo fatigado, esta reducción de la frecuencia puede ser explicada con la hipótesis de la “sabiduría muscular” (reducción de los impulsos nerviosos durante la contracción continua para optimizar en la frecuencia de descargas y reducir el riesgo de fatiga) (Wakabayashi et al., 2015).

Mediante la simulación con 14 trabajadores entrenados (con traje de protección térmica) en un entorno laboral de trabajo dinámico por encima y debajo de los hombros en ambientes fríos (-15 °C) y en ambientes moderadamente fríos (5 °C) se demostró que el nivel de activación muscular del antebrazo fue mayor (incremento de la demanda muscular) en el grupo expuesto que en el grupo control en las actividades dinámicas que se realizaron, lo que incrementó la tensión física del trabajador. Por otra parte, se vio que incluso cuando se tenía la ropa de protección térmica existía disminución de la temperatura cutánea en las zonas distales del cuerpo y por lo tanto con el tiempo podría haber una reducción de la temperatura muscular lo que aumentaría el nivel de activación muscular, tanto del agonista como del antagonista, conduciendo a una fatiga en los músculos del antebrazo y la mano, algo que no ocurriría en condiciones termoneutrales. También se observó que cuando la temperatura cutánea tuvo una caída inferior a 20°C en solo 10 minutos la presencia de esta temperatura podría afectar la destreza manual en ese rango. Por último se determinó que la

actividad estática dependía menos de la temperatura que la actividad dinámica (Renberg et al., 2020).

Por otra parte, existe el llamado “efecto frenado” que refiere que durante una contracción muscular el agonista experimenta una inhibición mientras que el antagonista aumenta su actividad electromiográfica (se suman el temblor involuntario y el aumento del tono muscular, este último a 10 °C puede conducir a un aumento de la actividad electromiográfica de 140% a 260%) este efecto puede contribuir al deterioro del rendimiento (Wakabayashi et al., 2015). Además, se vio que trabajar en condiciones de frío moderado (4° C a 10° C) aumentaba la activación muscular y reducía la eficiencia neuromuscular durante el trabajo repetitivo. Incluso mientras se hacía uso de la indumentaria de protección térmica algunas estructuras corporales mostraban aumento de la activación muscular (se reportó aumento de la tensión física en el antebrazo de los trabajadores) (Renberg et al., 2020).

En cuanto al temblor involuntario de los músculos en ambientes fríos se ha visto que este es capaz de dificultar las actividades de precisión al interferir con el control motor en un ambiente. Sin embargo se probó que el efecto de la intensidad del ejercicio en el temblor de los músculos del cuello que no estaban involucrados en el ejercicio, era capaz de reducir la actividad electromiográfica de los músculos del cuello cuando se incrementaba la intensidad del ejercicio (Wakabayashi et al., 2015). En concordancia con Wakabashi, otro estudio planteó que el deterioro de la función neuromuscular inducido por el frío puede restaurarse mediante el aumento intermitente de la carga de trabajo. Cuando se expuso a trabajadores a 21 °C (normotérmica) y 4 °C con una contracción

voluntaria máxima del 10%, se observaron lagunas electromiográficas y una baja eficiencia neuromuscular, mientras que en el otro escenario donde a una temperatura de 4 °C se aumentó la contracción voluntaria máxima cada 4 minutos hasta alcanzar el 50% de la contracción voluntaria máxima se obtuvo un resultado diferente, donde se demostró que al aumentar intermitentemente la carga de trabajo del 10 al 50% se puede lograr restaurar parcialmente la función neuromuscular (Oksa et al., 2012).

El dolor musculoesquelético

El dolor musculoesquelético crónico (dolor que dura 3 meses o más) inicialmente se origina con una manifestación aguda que activa los nociceptores periféricos por una afección fisiológica y la contribución de factores biológicos, psicológicos y sociales (asociados al riesgo del dolor); dado el caso que un dolor agudo no continúe un tratamiento satisfactorio que permita finalizar el proceso, dicho dolor permanecerá más allá del tiempo de recuperación hasta llegar a una etapa crónica (Farbu et al., 2019). El dolor en hombros, cuello, rodillas, espalda baja, calambres y parestesias son algunas de las molestias musculoesqueléticas reportadas en trabajos con entornos fríos (Ghani et al., 2020). En un estudio realizado en Suecia con trabajadores varones (N = 134.754), demostró que trabajar en un clima frío se asoció con dolor de cuello que dificulta el trabajo (OR 1,48; IC del 95 % 1,24-1,76) y dolor lumbar (OR 1,19; IC del 95 % 1,06-1,35), después de ajustar por edad, IMC y consumo de tabaco, siendo los trabajadores manuales de construcción la población más afectada (Burström et al., 2013).

En la sexta encuesta del estudio Tromso realizado en noruega a 6533 hombres y mujeres de distintos sectores laborales entre las edades de 30 y 67 años, de los cuales solo 779 trabajaban mayor o igual al 25% de la jornada laboral, se demostró en base a datos ajustados por edad, sexo, educación, índice de masa corporal, insomnio, tabaquismo y actividad física que trabajar mayor o igual al 25% del tiempo de una jornada laboral en ambientes fríos estaba asociado con el dolor crónico en mayor o igual a 3 sitios en función a la sensación de frío ocasional (OR 1,58; IC del 95%: 1,22 a 2,07) y frecuente (OR 3,90; IC del 95%: 2,04 a 7,45) siendo el hombro cuello y la pierna las zonas más afectadas (Farbu et al., 2019). Sin embargo, otro estudio no encontró asociación entre la alta exposición al frío ambiental ocupacional y el dolor de cuello (OR 1,14; IC del 95 %: 0,99-1,31) hasta hacer los ajustes por estrés y sexo donde se obtuvieron resultados estadísticamente significativos, OR 3.42 (3.02–3.87) y 2.19 (1,92–2,50) respectivamente, con un índice de confianza del 95%. Aunque este último resultado no se repitió al estratificar por sexo en donde no se encontró una asociación significativa (OR 1.16; IC 95% 0.91-1.37) (Stjernbrandt & Hoftun Farbu, 2022).

De igual forma en un estudio realizado en Pakistán que incluyó aleatoriamente a 200 trabajadores (grupo expuesto y grupo no expuesto al frío) de instalaciones frías para almacenamiento de alimentos con temperaturas que rondaban entre los -20 y -30 °C, se evidenció que el grupo de trabajadores expuestos al frío presentó un mayor número de molestias musculoesqueléticas con una prevalencia de 75% para el dolor de cuello o los hombros, 68% dolor de espalda o cadera y el 73% dolor de las extremidades inferiores. El riesgo relativo (RR)

que obtuvieron para muñecas/manos fue de 23,3 (IC 95% 7.59-71.64) y dolor en cadera/muslos (IC 95% 111,00 (6,95-1772,51) los resultados mostraron que las zonas más afectadas incluyen a los hombros, cuello, muñeca/manos y espalda baja. Además, se halló un riesgo relativo (RR) de p menor a 0,001 entre los grupos expuestos y no expuestos al frío en relación a fuerza y función musculoesquelética (RR de 151,00 con un IC 95% 9,48-2403,28) (Ghani et al., 2020).

En base a una encuesta hecha en estados unidos en el año 2010 el dolor lumbar tuvo una prevalencia del 25,5% siendo la inseguridad laboral la que arrojó un mayor nivel de significancia (OR 1,27; IC 1,15-1,41), también se reveló que las trabajadoras y las personas mayores tenían un mayor riesgo de padecer dolor lumbar (Yang et al., 2016). Un estudio realizado en el norte de Suecia encontró asociaciones estadísticamente significativas entre la exposición a ambientes fríos y la presencia de dolor usando escalas de calificación numérica de números enteros (NRS) con puntajes del 1 al 10. Los resultados con un IC del 95% arrojaron un resultado significativo para el dolor de cuello (OR 1,59; IC del 95% 1,08-2,33 y NRS 5-7), dolor de hombros (OR 1,50; IC del 95% 1,03-2,19 y NRS 8-10) y dolor lumbar (OR 1,61; IC del 95 % 1,13-2,29 y NRS 8-10). Al analizar por sexo y hacer ajustes por posibles factores de confusión encontraron una asociación significativa entre la exposición al frío y el dolor de cuello y hombros para los hombres (OR 1,97; IC del 95 % 1,07-3,61 y OR 1,97; IC del 95 % 1,06-3,67, respectivamente) y dolor lumbar para las mujeres (OR 1,82; IC del 95 %: 1,14-2,91) (Lewis et al., 2023). En concordancia otro estudio realizado en Suecia con una población de estudio compuesta por 8740 hombres

y mujeres con una edad media de 54 años, mostro que existía un fenómeno de dosis-efecto, donde una mayor exposición al frío resulto en un mayor reporte de dolor musculoesquelético, tras ajustar por edad, sexo, IMC, carga física de trabajo, tabaquismo diario y estrés se obtuvo un resultado significativo para el dolor de cuello (OR: 1,36; IC del 95 %: 1,16-1,59) y dolor lumbar (OR: 1,38; IC del 95 %: 1,17-1,63) (Stjernbrandt & Hoftun Farbu, 2022).

Un estudio realizado en Tailandia con 752 (trabajadores de oficina grupo no expuesto de 255 sujetos, trabajadores de la sección de clasificación, peladura, disección y almacén conforman en grupo expuesto con 497 sujetos) trabajadores participantes reveló que los factores que influyen en el dolor recurrente en el sistema musculoesquelético son el sexo y el sector laboral (las trabajadoras tuvieron más síntomas anormales que los hombres). Las mujeres que trabajan en las secciones de clasificación, pelado, disección y almacén tenían un mayor riesgo de padecer dolor de espalda y muscular, con un OR para oficina de 1,816 (IC del 95 %: 1,186-2,781), clasificación OR de 5,966 (IC del 95 %: 3,045-11,691), pelado OR de 1,433 (IC del 95 %: 0,866-2,371), disección OR de 3,436 (IC del 95 %: 2,097-5,629) y almacén OR de 11,962 (IC del 95 %: 6,123-23,445). En general los trabajadores de clasificación, pelado, disección y almacén reportaron más síntomas que los controles (OR clasificación = 5,966, IC del 95 %: 3,045–11,691; OR pelado = 1,1816, IC del 95 %: 1,186–2,781; OR disección = 3,436, IC del 95 %: 2,097–5,629; OR almacén = 11,962, IC del 95 %: 6,123–23,445). Diferentes secciones tuvieron diferentes niveles de frío pero los trabajadores que estaban a temperaturas extremadamente bajas (-18°C en la sección del almacén) experimentaron un incremento pronunciado del

malestar, mas no los del grupo control, independientemente del equipo de protección personal proporcionado (Thetkathuek et al., 2015).

En cuanto a miembros superiores un estudio realizado en Suecia determinó, en base a una encuesta digital a una muestra poblacional de 3843 mujeres y hombres de entre 24 y 76 años, que la exposición ocupacional al frío, la manipulación manual intensiva, el trabajo con herramientas vibratorias condicionaban a la presencia de dolor en las extremidades superiores en diferentes zonas, inicialmente 196 sujetos (5,2%) reportaron dolor en la mano, 144 (3,8%) en el antebrazo y 451 (11,9%) en la parte superior del brazo) seguidamente en los resultados de asociación después de ajustar por sexo, edad, índice de masa corporal, tabaquismo diario actual, manipulación manual intensa y trabajo con herramientas vibratorias se observó que el enfriamiento ambiental severo durante más de la mitad del tiempo de trabajo se asoció de forma estadísticamente significativa con dolor en la mano (OR: 2,30; IC del 95%: 1,23-4,29) y dolor en la parte superior del brazo (OR: 1,57; IC del 95%: 1,00-2,47), pero no con dolor en la parte inferior del brazo (OR: 1,87; IC del 95%: 0,96-3,65) (Stjernbrandt et al., 2023).

En Finlandia un estudio que contó con una muestra aleatoria de 6591 personas de 25 a 74 años, por medio de un cuestionario determinó que 1892 (30%) sujetos experimentaron dolor musculoesquelético asociado con el frío en al menos un sitio del cuerpo. El 10% de los participantes que reportaron dolor musculoesquelético estuvieron expuestos a -2 °C, el 50% a -14 °C y el 90% a -23 °C. Las personas que habitaban en la zona sur (más fría) elevaron su temperatura umbral en 1 y 6 grados en comparación con las personas de la zona

norte por lo que podían sentir dolor y frío a temperaturas suaves. Además, los trastornos articulares y musculares (trastornos de espalda, artritis reumatoide) aumentaron la temperatura umbral a temperaturas más suaves, siendo este el motivo que llevó a un incremento en la posibilidad de manifestar dolor musculoesquelético asociado al frío, por otra parte el sobrepeso se asoció con una temperatura umbral de 2 °C más baja, y la inactividad física con una temperatura umbral de 1 °C más alta, y por último la temperatura umbral aumentó en 1 °C por cada aumento de 10 años en la edad (Pienimäki et al., 2014).

Los trastornos musculoesqueléticos

Manifestar dolor en la zona lumbar o en cuello pueden considerarse como trastornos musculoesqueléticos (TME) que son cotidianos en el ámbito ocupacional siendo causa de discapacidad y ausentismo laboral por enfermedad. Anteriormente, los TME se definían como aquellas molestias que afectaban a las estructuras musculoesqueléticas (músculos, tendones, huesos, articulaciones y ligamentos). Continuando con lo dicho es posible que el frío pueda contribuir a un proceso patológico (en la población trabajadora de las industrias alimentarias que deben sostener los productos cárnicos fríos, lo que contribuye aún más a la caída de temperatura), además cuando ya se tiene una patología establecida existe dos veces más riesgo de reportar síntomas que cuando una persona está en condiciones saludables (Stjernbrandt & Hoftun Farbu, 2022).

Los trastornos de tipo musculoesquelético son los más comunes en el campo laboral. Se ha encontrado que el frío ocupacional interactúa con el desarrollo de algunos síndromes entre ellos en el síndrome del túnel carpiano (STC) este en específico se cataloga como uno de los más frecuentes abarcando el 90% de todas las patologías de compresión nerviosa y constituye más del 60% de los trastornos musculoesqueléticos de las extremidades superiores, sus síntomas incluyen dolor, parestesia debilidad siendo su riesgo más alto en el personal que realiza tareas de procesamiento de carne y pescado (Altuntaş, 2020; Stjernbrandt et al., 2022).

En un estudio realizado en Turquía a 568 personas que trabajan a temperaturas menores a 9 °C en una planta avícola evidenció una diferencia significativa entre la cantidad de años de trabajo y la frecuencia de molestias en la cadera, codo y hombro, mostrando que la cantidad de años de trabajos (exposición acumulada) en condiciones de frío podía estar vinculado con la severidad de los síntomas y con la pérdida de funcionalidad. Además, se reportó interrupción del trabajo laboral debido a la presencia de dolor en el codo, se vio que la incidencia de mujeres con epicondilitis era del 11,3% a una temperatura de -20 °C, y del 7% entre 8 y 10 °C, y para los hombres una incidencia de 6,4% en la tarea de cortado de carne; aunque lo último podría estar asociado con el frío o el aumento de la carga laboral. También se evidenció en base a los cuestionarios Nórdico la complicación de los síntomas del túnel carpiano por trabajar en ambientes fríos y que además tenía relación con los años de trabajo (Altuntaş, 2020).

Otro en estudio realizado en base a la respuesta autoinformada y a la presencia de bajas temperaturas en hombres y mujeres de 18 y 70 años de Suecia,

concluyo que de 5017 sujetos 453 presentaron síntomas de síndrome del túnel carpiano (causado por la compresión del nervio mediano que pasa por el canal del carpo a nivel de la muñeca lo que reduce la función sensorial y motora), además tras ajustar por edad, sexo, índice de masa corporal, enfermedad articular, vibración mano-brazo, tabaquismo, diabetes mellitus, se vio que la alta exposición al frío por contacto directo se asoció con la presencia de estos síntomas (OR: 3,20 con un IC del 95%: 1,62-6,33), de igual forma el enfriamiento del ambiente contribuyo a la aparición de síntomas del síndrome del túnel carpiano (OR: 2,00 con un IC del 95%: 1,03-3,88), el enfriamiento ambiental severo incremento las estimaciones (Stjernbrandt et al., 2022).

4.4. RECOMENDACIONES PARA MINIMIZAR LOS EFECTOS DEL FRÍO OCUPACIONAL EN EL SISTEMA MUSCULOESQUELÉTICO DE LOS TRABAJADORES.

Existe registro sobre la importancia de manejar climas adecuados en el caso de ambientes controlados para preservar la salud y seguridad de los trabajadores, por medio de evaluaciones y monitoreos en el lugar de trabajo para identificar los factores de riesgo presentes.

En la evaluación de frío ocupacional es importante identificar a los trabajadores que presentan una alta frecuencia de quejas sobre el clima interior y otros factores específicos, centrándonos en los síntomas atribuidos al ambiente de trabajo así como en sus puestos, en otras palabras usar la prevalencia

autoinformada de sensación de frío es una buena forma de evaluar la exposición a ambientes fríos (Sundstrup et al., 2015).

En el ámbito de la salud laboral, la exposición al frío debe reconocerse como un posible factor de riesgo para los trastornos musculoesqueléticos (Stjernbrandt & Hoftun Farbu, 2022). Por lo tanto, se recomienda vigilar la salud de los trabajadores, especialmente el dolor de espalda y muscular, los síntomas respiratorios, el oscurecimiento de los dedos de las manos y los pies, y las afecciones cardíacas. Como factores contribuyentes a las enfermedades vinculadas con el frío, quienes trabajan en ambientes fríos deben evitar fumar y beber (bebidas alcohólicas) para reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Thetkathuek et al., 2015).

Los métodos convencionales para monitorear el estrés por frío en el cuerpo humano carecen de cierta viabilidad al momento de aplicarlas en el campo de trabajo, debido a esto y por medio de la tecnología surgen herramientas que permiten realizar este tipo de evaluaciones, las tecnologías vestibles son una de ellas y consisten en dispositivos electrónicos que se usan en contacto con el cuerpo lo que le permite recopilar datos constantemente y no únicamente del cuerpo sino también ambientales (Saidi & Gauvin, 2023). Haciendo uso de una chaqueta inteligente con sensores para la frecuencia cardíaca (cinturón de pulso fabricado por SINTEF), humedad relativa y temperatura (hechos por SINTEF, y otros como Omega Engineering y MICRORHTEMP), temperatura de la piel (sensor infrarrojo SINTEF, Termistores USI-400, este último ubicado en mejilla, cuello, pecho, abdomen, espalda, dedo, mano, antebrazo, parte superior del brazo, parte delantera del muslo, parte trasera del muslo, espinilla,

pantorrilla), actividad (acelerómetro, giroscopio, magnetómetro fabricados por SINTEF) y volumen de oxigenación (Oxycon Pro, Jaeger, Hoechber). Tomar en cuenta que el análisis subjetivo de la percepción del frío no coincidió con los resultados obtenidos por los sensores (había distintas tolerancias al frío); además los dedos (principalmente) al igual que los muslos tuvieron caídas de temperaturas más bruscas por lo que se aconseja hacer las mediciones en estas zonas. Para las recomendación se debe tomar en cuenta la gran variabilidad de condiciones individuales a diferencia de las normativas nacionales o internacionales que toman el promedio (Austad et al., 2018).

Un estudio buscó determinar si la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) podía usarse como un indicador de confort térmico, basándose en que la variabilidad de la frecuencia cardíaca describe los cambios entre latidos cardíacos sucesivos y que esta puede utilizarse para evaluar la tensión y el equilibrio del nervio simpático miocárdico entre nervios accesorios de forma indirecta y cuantitativa. Obtuvieron como resultado que estos índices pueden usarse como biomarcadores predictivos del confort térmico (solo de calor) de los trabajadores mineros (Wu et al., 2021). Si bien existen numerosos índices de confort térmico, cada uno está diseñado para una determinada condición ambiental, por ejemplo, en Estados Unidos, Reino Unido y Alemania, la temperatura efectiva (ET) se ha utilizado para evaluar el entorno subterráneo, también esta WBGT (temperatura de bulbo húmedo y globo) que tiene una mayor precisión que DI (índice de discomfort). Sin embargo el modelo PHS (modelo predictivo de estrés térmico) es un modelo universal de estrés térmico

que se centra únicamente en el estrés térmico humano, no en la psicología (Wu et al., 2021).

Se demostró que el diseño de trajes de protección térmica hechos en base a las tareas realizadas (centrado en el usuario) tenía un mayor nivel de protección térmica y por ende un mayor grado de satisfacción por parte del trabajador. Apoyándose en un equipo multidisciplinario que incluye a especialistas en fisiología, personas experimentadas en diseño e investigación junto con socios industriales se puede llevar a cabo el proceso, que incluye una serie de pasos que preceden a la entrega del producto (Naesgaard et al., 2017):

- a) Determinar las necesidades del usuario y el contexto de uso.
- b) Especificar los objetivos del diseño.
- c) Diseñar nuevas soluciones.
- d) Evaluación.

Para la obtención de los datos esenciales se requiere la continua participación de los trabajadores y de esa forma poder obtener la definición de las necesidades del usuario mediante entrevistas observación presenciales en la plataforma, en el desarrollo del concepto mediante diseño participativo y en la evaluación del diseño mediante pruebas de campo. Seguidamente una vez construido el prototipo se evalúa con las primeras pruebas de campo, inicialmente en cámaras de frío y luego en situaciones reales para comprobar la validez de los trajes de esta forma se hacen las correcciones hasta obtener un producto final. Este proceso arrojó un mayor nivel de satisfacción por parte de los usuarios donde los aspectos más valorados fueron la mayor protección contra el viento,

protección contra la humedad externa, mayor confort térmico y una reducción de la necesidad de ropa intermedia por lo que la vestimenta interna era más ligera (Naesgaard et al., 2017).

Incluir la perspectiva de los trabajadores sobre su ambiente laboral es algo que puede estar presente, las preocupaciones sobre el confort térmico percibidas por los empleados de las cámaras frigoríficas, se sugiere, podría ser por las corrientes de aire en sus puestos de trabajo, al uso insuficiente de equipo de protección personal, a las prácticas laborales y a la falta de conocimientos sobre buenas prácticas de salud y seguridad en cámaras frigoríficas. Mejorar esto implica un control de ingeniería que incluya el rediseño de los deflectores de aire y la instalación de deflectores suspendidos. Por otra parte, los controles administrativos incluyen el cambio de ropa mojada, la provisión de calentadores de manos fuera de las cámaras frigoríficas y la formación de los empleados sobre el estrés por frío (Ceballos et al., 2015).

Se necesitan directrices y materiales educativos adaptados a los empleados en entornos moderadamente fríos para mejorar el confort térmico y minimizar los problemas de salud y seguridad. Un estudio realizado por el NIOSH (solicitud de evaluación) dirigido a la exposición de trabajadores al frío ocupacional de las cámaras frigoríficas observó que los colaboradores de una empresa que realizaban tareas en cámaras frigoríficas declararon que eligieron usar guantes de plástico delgados porque los guantes más gruesos limitaban la destreza, en este caso La conferencia Americana de Higienistas Industriales recomienda que si se han de realizar trabajos finos con las manos descubiertas durante más de

10 a 20 minutos en un ambiente por debajo de 16 °C, se establezcan medidas especiales para mantener las manos calientes (Ceballos et al., 2015).

La sensibilidad al dolor medida mediante pruebas sensoriales cuantitativas puede sufrir múltiples variaciones, en la actualidad se cuenta con factores como la edad, el sexo, factores psicológicos, el sueño, la antropometría, la actividad física y el sedentarismo, la etnia, el nivel socioeconómico, la antropometría, la etnia y el nivel socioeconómico (Waller et al., 2019).

Se ha evidenciado que los trabajadores con mayor riesgo de padecer problemas de salud por laborar en ambientes fríos son: los trabajadores mayores, aquellos con bajo nivel educativo, los consumidores de alcohol, los fumadores, las personas obesas, quienes realizan trabajos pesados, quienes cursan por episodios de estrés o presentan un dolor crónico; por lo mismo necesitan atención especial, y su protección contra el frío debe ser evaluada de forma personalizada. Algunas de las recomendaciones incluyen adaptar las condiciones físicas del lugar de trabajo mediante la configuración adecuada del aire acondicionado, ajustar la ropa de trabajo y los periodos de enfriamiento, instar a los trabajadores a mantenerse hidratados consumiendo bebidas calientes y coordinar revisiones médicas para los trabajadores sensibles al frío. Tomando en cuenta estos puntos preventivos se busca reducir significativamente los efectos atribuidos al frío (Phanprasit et al., 2024).

4.5. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

A razón del estudio realizado se presentaron limitaciones en cuanto a encontrar literatura científica actualizada (del 2014 al 2024) y accesible (presencia de costos para el acceso completo al artículo), además, durante la lectura de los artículos el idioma jugó un papel importante en la comprensión completa de los términos, lo que dificultó entender los conceptos analizados. Por otra parte, hubo inconvenientes al momento de seleccionar las palabras clave para la búsqueda en las respectivas bases de datos por lo que se recurrió al uso de términos comunes en los títulos de interés.

V. CONCLUSIONES

- a) El frío ambiental ocupacional presente en los trabajadores no se limita únicamente a la sensación de frío, existen múltiples efectos a nivel musculoesquelético que afectan a su estructura, funcionabilidad y recuperación, pudiendo así ser considerado como un importante contribuyente en los reportes de molestias y trastornos musculoesqueléticos en trabajadores expuestos a ambientes fríos.
- b) El frío es considerado como temperaturas que se encuentren por debajo de los 10 °C y en algunas ocasiones como la sensación de frío manifestada por la persona. Los trabajos que se realizan con las temperaturas más bajas incluyen a las instalaciones de la industria alimentaria donde las temperaturas artificiales que se mantienen pueden llegar a -30 °C, además que las poblaciones localizadas cerca de las zonas árticas tienen una exposición casi permanente al frío ambiental (las temperaturas durante el año casi siempre están por debajo de 10 °C en algunas zonas), en otras poblaciones independientemente de la temperatura la exposición al frío puede ser significativa por la presencia de factores como: la humedad, la velocidad del viento, el tipo de tarea que se realiza, las herramientas y el tipo de ropa que se usa.
- c) La presencia de molestias musculoesqueléticas crónicas influye en la percepción del frío ambiental, por lo tanto, el umbral de percepción del frío, así como el de otras sensaciones de los trabajadores puede experimentar variaciones y aumentar la probabilidad de reportes sobre el ambiente laboral (por mencionar algunas, corrientes de aire y ruido) y molestias

musculoesqueléticas al presentar antecedentes de dolor crónico. Por otra parte, se vio que factores internos como la hemoglobina, la presencia de tejido adiposo, el estrés, el insomnio y la genética podrían tener influencia en la termosensación.

- d) El frío ambiental ocupacional es considerado como un factor de riesgo en la manifestación de molestias musculoesqueléticas (principalmente en la zona lumbar, hombros y cuello), así como para los trastornos musculoesqueléticos. Por lo mismo también puede tener un efecto significativo en la función musculoesquelética reduciendo la resistencia y causando fatiga prematura, especialmente en aquellas tareas que incluyan actividades dinámicas (movimientos repetitivos), aunque algunos autores manifiestan efectos beneficiosos del frío, pero estos dependen de las dosis de exposición.
- e) Los monitoreos de estrés por frío podrían estar sesgados al no incluir la respuesta autoinformada de los trabajadores sobre la percepción de la temperatura, así como la presencia de dolor crónico; por lo observado es conveniente que las implementaciones de medidas de control térmico sean en parte personalizadas. Por otra parte, se sugirió que las normas internacionales, así como las nacionales sirven para establecer una base y en muchos casos no resuelven satisfactoriamente las necesidades de trabajos específicos.

VI. RECOMENDACIONES

- a) Se sugiere reconocer al frío como un factor de riesgo para los trabajadores, debiendo tomar medidas preventivas en base a los factores internos y externos identificados para el control de sus efectos en el sistema musculoesquelético de los trabajadores expuestos ocupacionalmente al frío.
- b) Se recomienda que en lo posible se tengan controlados los factores contribuyentes al frío ambiental (velocidad del aire, humedad) o en todo caso haciendo el uso correcto de ropa de protección térmica tomando en cuenta que se debe buscar que en lo mínimo la ropa comprometa la movilidad del trabajador. Además, se debe considerar que los factores organizacionales y condiciones de trabajo deben estar orientados a proteger la salud del trabajador no llegando a niveles de exposición peligrosa.
- c) En los monitoreos de estrés por frío (factor físico que impacta en el confort del trabajador en el campo de la ergonomía), tomar en cuenta la respuesta autoinformada de los trabajadores sobre la percepción térmica de su ambiente de trabajo, así como la presencia de dolores crónicos juntamente con las medidas cuantitativas. Por otra parte, se sugiere priorizar la intervención en aquellos trabajadores con bajo umbral de percepción térmica (sensibles al frío).
- d) Las tareas que se realizan en ambientes fríos deben tomar en cuenta el déficit progresivo de las habilidades del trabajador por lo que hacer una buena gestión en los tiempos de trabajo reevaluando las capacidades del trabajador en relación a las demandas de la tarea y sus factores de riesgo (en especial durante tareas que incluyen movimientos repetitivos y manipulación manual

de cargas) reducirá la probabilidad de manifestar molestias musculoesqueléticas y/o el riesgo de desarrollar trastornos musculoesqueléticos.

- e) La ropa de protección térmica debe ser adecuada a la tarea que se realiza por lo que en ocasiones requerirá de un rediseño más personalizado que incluya la participación continua de los trabajadores, usando de base las normas nacionales e internacionales. Puede que en algunos casos ameriten procesos de reingeniería más complejos o simplemente la implementación de estrategias que mitiguen los efectos del frío, cómo mantener calientes las manos de los trabajadores o hacer un aumento intermitente de la intensidad de la tarea (romper la monotonía), en cualquier caso, los procesos deben incluir la participación del trabajador.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altuntaş, Y. D. (2020). Effect Of Working Years In Cold Environment On Musculoskeletal System And Carpal Tunnel Symptoms. *Ağrı - The Journal of The Turkish Society of Algology*.
<https://doi.org/10.14744/agri.2020.35651>
- Arcilla, C. K., & Tadi, P. (2023). Neuroanatomy, Unmyelinated Nerve Fibers. En *StatPearls [Internet]*. StatPearls Publishing.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554461/>
- Austad, H., Wiggen, Ø., Faerivik, H., & Seeberg, T. M. (2018). Towards a wearable sensor system for continuous occupational cold stress assessment. *Industrial Health*, 56(3), 228-240.
<https://doi.org/10.2486/indhealth.2017-0162>
- Bang, B. E., Aasmoe, L., Aardal, L., Andorsen, G. S., Bjørnbakk, A. K., Egeness, C., Espejord, I., & Kramvik, E. (2005). Feeling cold at work increases the risk of symptoms from muscles, skin, and airways in seafood industry workers. *American Journal of Industrial Medicine*, 47(1), 65-71.
<https://doi.org/10.1002/ajim.20109>
- Burström, L., Björ, B., Nilsson, T., Pettersson, H., Rödin, I., & Wahlström, J. (2017). Thermal perception thresholds among workers in a cold climate. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 90(7), 645-652. <https://doi.org/10.1007/s00420-017-1227-x>
- Burström, L., Järvholm, B., Nilsson, T., & Wahlström, J. (2013). Back and neck pain due to working in a cold environment: A cross-sectional study of male construction workers. *International Archives of Occupational and*

Environmental Health, 86(7), 809-813. <https://doi.org/10.1007/s00420-012-0818-9>

Castellani, J. W., & Young, A. J. (2016). Human physiological responses to cold exposure: Acute responses and acclimatization to prolonged exposure. *Autonomic Neuroscience*, 196, 63-74. <https://doi.org/10.1016/j.autneu.2016.02.009>

Ceballos, D., Mead, K., & Ramsey, J. (2015). Recommendations to Improve Employee Thermal Comfort When Working in 40°F Refrigerated Cold Rooms. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 12(9), D216-D221. <https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1047023>

Constantin-Teodosiu, D., & Constantin, D. (2021). Molecular Mechanisms of Muscle Fatigue. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(21), 11587. <https://doi.org/10.3390/ijms222111587>

Farbu, E. H., Höper, A. C., Brenn, T., & Skandfer, M. (2021). Is working in a cold environment associated with musculoskeletal complaints 7-8 years later? A longitudinal analysis from the Tromsø Study. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 94(4), 611-619. <https://doi.org/10.1007/s00420-020-01606-6>

Farbu, E. H., Höper, A. C., Reiherth, E., Nilsson, T., & Skandfer, M. (2022). Cold exposure and musculoskeletal conditions; A scoping review. *Frontiers in Physiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.934163>

Farbu, E. H., Skandfer, M., Nielsen, C., Brenn, T., Stubhaug, A., & Höper, A. C. (2019). Working in a cold environment, feeling cold at work and chronic

- pain: A cross-sectional analysis of the Tromsø Study. *BMJ Open*, 9(11), e031248. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-031248>
- Ghani, N., Tariq, F., Javed, H., Nisar, N., & Tahir, A. (2020). Low-temperature health hazards among workers of cold storage facilities in Lahore, Pakistan. *Medycyna Pracy*, 71(1), 1-7. <https://doi.org/10.13075/mp.5893.00857>
- Guzmán-Muñoz, E., Méndez-Rebolledo, G., Guzmán-Muñoz, E., & Méndez-Rebolledo, G. (2018). Electromiografía en las Ciencias de la Rehabilitación. *Revista Salud Uninorte*, 34(3), 753-765.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2018, junio 8). *NTP 462: Estrés por frío: evaluación de las exposiciones laborales*. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/13-serie-ntp-numeros-436-a-470-ano-1998/ntp-462-estres-por-frio-evaluacion-de-las-exposiciones-laborales>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2024a, septiembre 25). *NTP-I.037: Estrés por frío (II)*. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/30-serie-ntp-numeros-1031-a-1065-ano-2015/ntp-1.037-estres-por-frio-ii->
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2024b, septiembre 27). *NTP 323: Determinación del metabolismo energético*. <https://www.insst.es/documentacion/colecciones-tecnicas/ntp-notas-tecnicas-de-prevencion/9-serie-ntp-numeros-296-a-330-ano-1994/ntp-323-determinacion-del-metabolismo-energetico>

- James, S. L., Abate, D., Abate, K. H., Abay, S. M., Abbafati, C., Abbasi, N., Abbastabar, H., Abd-Allah, F., Abdela, J., Abdelalim, A., Abdollahpour, I., Abdulkader, R. S., Abebe, Z., Abera, S. F., Abil, O. Z., Abraha, H. N., Abu-Raddad, L. J., Abu-Rmeileh, N. M. E., Accrombessi, M. M. K., ... Murray, C. J. L. (2018). Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 354 diseases and injuries for 195 countries and territories, 1990–2017: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, 392(10159), 1789-1858. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32279-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32279-7)
- Jones, B., Waterworth, S., Tallent, J., Rogerson, M., Morton, C., Moran, J., Southall-Edwards, R., Cooper, C. E., & McManus, C. (2024). Cold-Water Immersion and Lower Limb Muscle Oxygen Consumption as Measured by Near-Infrared Spectroscopy in Trained Endurance Athletes. *Journal of Athletic Training*, 59(3), 317-324. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-0532.22>
- Laohaudomchok, W., Phanprasit, W., Konthonbut, P., Tangtong, C., Sripaiboonkij, P., Ikäheimo, T. M., Jaakkola, J. J. K., & Näyhä, S. (2023). Self-Assessed Threshold Temperature for Cold among Poultry Industry Workers in Thailand. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 2067. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032067>
- Lewis, C., Stjernbrandt, A., & Wahlström, J. (2023). The association between cold exposure and musculoskeletal disorders: A prospective population-based study. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 96(4), 565-575. <https://doi.org/10.1007/s00420-022-01949-2>

- MacDonald, D. I., Wood, J. N., & Emery, E. C. (2020). Molecular mechanisms of cold pain. *Neurobiology of Pain*, 7, 100044.
<https://doi.org/10.1016/j.ynpai.2020.100044>
- Ministerio de Energía y Minas. (2024, junio 4). *Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Ed. 2024*.
<https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/5631689-reglamento-de-seguridad-y-salud-ocupacional-en-mineria-ed-2024>
- Naesgaard, O. P., Storholmen, T. C. B., Wiggen, Ø. N., & Reitan, J. (2017). A user-centred design process of new cold-protective clothing for offshore petroleum workers operating in the Barents Sea. *Industrial Health*, 55(6), 564-574. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2017-0127>
- Oksa, J., Paasovaara, S., & Ollila, T. (2012). Intermittently Increased Repetitive Work Intensity and Neuromuscular Function in the Cold. *Industrial Health*, 50(4), 307-315. <https://doi.org/10.2486/indhealth.MS1262>
- Olausson, H., Marshall, A., Nagi, S. S., & Cole, J. (2024). Slow touch and ultrafast pain fibres: Revisiting peripheral nerve classification. *Clinical Neurophysiology*, 163, 255-262.
<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2024.04.008>
- Phanprasit, W., Laohaudomchok, W., Konthonbut, P., Noomnual, S., Rissanen, S., Jussila, K., Ikäheimo, T. M., Jaakkola, J. J. K., & Näyhä, S. (2024). Self-assessed threshold for cold temperatures and thermal insulation of clothing among poultry workers. *Scientific Reports*, 14, 20406.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-71393-4>

- Pienimäki, T., Karppinen, J., Rintamäki, H., Borodulin, K., Laatikainen, T., Jousilahti, P., Hassi, J., & Näyhä, S. (2014). Prevalence of cold-related musculoskeletal pain according to self-reported threshold temperature among the Finnish adult population. *European Journal of Pain*, 18(2), 288-298. <https://doi.org/10.1002/j.1532-2149.2013.00368.x>
- Renberg, J., Nordrum Wiggen, Ø., Stranna Tvetene, P. Ø., Færevik, H., Van Beekvelt, M., & Roeleveld, K. (2020). Effect of working position and cold environment on muscle activation level and fatigue in the upper limb during manual work tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 80, 103035. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2020.103035>
- Resch, F. J., Heber, S., Shahi, F., Zauner, M., Ciotu, C. I., Gleiss, A., Sator, S., & Fischer, M. J. M. (2025). Human cold pain: A randomized crossover trial. *Pain*, 166(6), 1406-1417. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000003503>
- Safiri, S., Kolahi, A.-A., Hoy, D., Buchbinder, R., Mansournia, M. A., Bettampadi, D., Ashrafi-Asgarabad, A., Almasi-Hashiani, A., Smith, E., Sepidarkish, M., Cross, M., Qorbani, M., Moradi-Lakeh, M., Woolf, A. D., March, L., Collins, G., & Ferreira, M. L. (2020). Cc. *BMJ*, 368, m791. <https://doi.org/10.1136/bmj.m791>
- Saidi, A., & Gauvin, C. (2023). Towards real-time thermal stress prediction systems for workers. *Journal of Thermal Biology*, 113, 103405. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2022.103405>
- Sánchez Nuño, S., Santocildes, G., Rebull, J., Bardallo, R. G., Girabent-Farrés, M., Viscor, G., Carbonell, T., & Torrella, J. R. (2024). Effects of

intermittent exposure to hypobaric hypoxia and cold on skeletal muscle regeneration: Mitochondrial dynamics, protein oxidation and turnover.

Free Radical Biology and Medicine, 225, 286-295.

<https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2024.09.032>

Santocildes, G., Viscor, G., Pagès, T., & Torrella, J. R. (2024). Simulated altitude is medicine: Intermittent exposure to hypobaric hypoxia and cold accelerates injured skeletal muscle recovery. *The Journal of Physiology*, 602(21), 5855-5878. <https://doi.org/10.1113/JP285398>

Savitha, D., Anto, T., & Thomas, T. (2022). Effects of repeated exposures to experimental cold pain stimulus on pain perception in healthy young Indian men. *Medical Journal Armed Forces India*, 78, S238-S245. <https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2021.08.002>

Saxena, I., Kumar, M., Srivastava, N., Srivastava, S., Sen, A., Arvind, A., & Kaur, A. P. (2024). The Experimental Pain Experienced in a Cold Pressor Task Is Influenced by Hemoglobin Levels in Young Adult Females. *Cureus*, 16(7), e65518. <https://doi.org/10.7759/cureus.65518>

Stjernbrandt, A., & Hoftun Farbu, E. (2022). Occupational cold exposure is associated with neck pain, low back pain, and lumbar radiculopathy. *Ergonomics*, 65(9), 1276-1285. <https://doi.org/10.1080/00140139.2022.2027030>

Stjernbrandt, A., Pettersson, H., Wahlström, V., Wahlström, J., & Lewis, C. (2023). Occupational cold exposure is associated with upper extremity pain. *Frontiers in Pain Research (Lausanne, Switzerland)*, 4, 1063599. <https://doi.org/10.3389/fpain.2023.1063599>

- Stjernbrandt, A., Vihlborg, P., Wahlström, V., Wahlström, J., & Lewis, C. (2022). Occupational cold exposure and symptoms of carpal tunnel syndrome – a population-based study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 23(1), 596. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05555-8>
- Sundstrup, E., Jakobsen, M. D., Brandt, M., Jay, K., Persson, R., & Andersen, L. L. (2015). Central Sensitization and Perceived Indoor Climate among Workers with Chronic Upper-Limb Pain: Cross-Sectional Study. *Pain Research and Treatment*, 2015, 793750. <https://doi.org/10.1155/2015/793750>
- Thetkathuek, A., Yingratanasuk, T., Jaidee, W., & Ekburanawat, W. (2015). Cold exposure and health effects among frozen food processing workers in eastern Thailand. *Safety and Health at Work*, 6(1), 56-61. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2014.10.004>
- Wakabayashi, H., Oksa, J., & Tipton, M. J. (2015). Exercise performance in acute and chronic cold exposure. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 4(2), 177-185. <https://doi.org/10.7600/jpfs.4.177>
- Waller, R., Brown, E., Lim, J., Nadarajah, R., Reardon, E., Mikhailov, A., Straker, L., & Beales, D. (2024). Pressure and cold pain threshold reference values in a pain-free older adult population. *British Journal of Pain*, 20494637241276104. <https://doi.org/10.1177/20494637241276104>
- Waller, R., Smith, A. J., O'Sullivan, P. B., Slater, H., Sterling, M., & Straker, L. M. (2019). Associations Between Musculoskeletal Pain Experience and Pressure and Cold Pain Sensitivity: A Community-based Cross-sectional

Study of Young Adults in the Raine Study. *The Clinical Journal of Pain*, 35(1), 56. <https://doi.org/10.1097/AJP.0000000000000650>

Wu, G., Liu, H., Wu, S., Liu, G., & Liang, C. (2021). Can Heart Rate Variability (HRV) Be Used as a Biomarker of Thermal Comfort for Mine Workers? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(14), 7615. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147615>

Yang, H., Haldeman, S., Lu, M.-L., & Baker, D. (2016). Low Back Pain Prevalence and Related Workplace Psychosocial Risk Factors: A Study Using Data From the 2010 National Health Interview Survey. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*, 39(7), 459-472. <https://doi.org/10.1016/j.jmpt.2016.07.004>