



UNIVERSIDAD PERUANA  
**CAYETANO HEREDIA**

EXPOSICIÓN A ESTRÉS TÉRMICO POR  
CALOR Y SU IMPACTO EN LA SALUD  
REPRODUCTIVA EN TRABAJADORES  
EXPUESTOS

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR  
EL GRADO DE MAESTRO EN MEDICINA  
OCUPACIONAL Y DEL MEDIO AMBIENTE

JEFFERSON JOEL AQUIJE JAUREGUI

LIMA – PERÚ

2025



**ASESOR**

**MG. HENRY ALEXANDER CUEVA VASQUEZ**

**JURADO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

MG. JONH MAXIMILIANO ASTETE CORNEJO

PRESIDENTE

MG. CINTHIA KARINA CRUZ MEZA

VOCAL

MG. WILLIAM MICHAEL AVILA BASTIDAS

SECRETARIO (A)

### **DEDICATORIA.**

A mi madre, a quien le debo todo lo que soy.

A mi abuela, quien desde el cielo me acompaña.

A mis tíos, por enseñarme lo que es la unión familiar.

### **AGRADECIMIENTOS.**

A mi asesor y colegas.

### **FUENTES DE FINANCIAMIENTO.**

Trabajo de investigación Autofinanciado.

## DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los egresados:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES
1.	AQUIJE JAUREGUI JEFFERSON JOEL

Pertencientes al programa de la **MAESTRÍA EN MEDICINA OCUPACIONAL Y DEL MEDIO AMBIENTE**, autores del trabajo titulado: **EXPOSICIÓN A ESTRÉS TÉRMICO POR CALOR Y SU IMPACTO EN LA SALUD REPRODUCTIVA EN TRABAJADORES EXPUESTOS**, el cual ha sido elaborado, sustentado y aprobado, según corresponda, para optar por el grado de **MAESTRO EN MEDICINA OCUPACIONAL Y DEL MEDIO AMBIENTE** bajo la modalidad de **TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**.

En calidad de docentes asesores de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE	FACULTAD	NIVEL DE ASESORÍA
1.	CUEVA VASQUEZ HENRY ALEXANDER	FAMED	MAESTRÍA

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de **12%**, según el reporte emitido por el software **Turnitin®** (identificador de entrega: **2870167455**; fecha de entrega: **02-02-2026**).
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: **Lima, 05 de febrero de 2026**



Firma del asesor  
N° DNI: 43112815

ORCID: 0000-0003-2256-3536

## ÍNDICE

RESUMEN  
ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	3
III.	DESARROLLO DEL ESTUDIO	4
	CAPÍTULO I: CONFORT Y ESTRÉS TÉRMICO POR CALOR EN EL ÁMBITO LABORAL Y SUS PATOLOGÍAS ASOCIADAS	4
	1.1 Evaluación del estrés térmico	8
	1.2 Factores que afectan el confort térmico	12
	1.3 Estrés térmico y sus patologías asociadas	14
	CAPÍTULO II: SALUD REPRODUCTIVA HUMANA Y SU EXPOSICIÓN LABORAL EN EL MARCO DEL ESTRÉS TÉRMICO POR CALOR	24
	2.1 Fisiología general frente al estrés térmico por calor	24
	2.2 Instrumentos de medición de exposición térmica ocupacional aplicables a salud reproductiva	34
	2.3 Salud reproductiva masculina frente a diversos condicionantes	34
	2.4 Salud reproductiva masculina frente al estrés térmico por calor	39
	2.5 Salud reproductiva femenina frente a diversos condicionantes	42
	2.6 Salud reproductiva femenina frente al estrés térmico por calor	49
	2.7 Interacción del estrés térmico con otros factores	52
	2.8 Poblaciones trabajadoras específicas del Perú	53
	CAPÍTULO III: ACCIONES PREVENTIVO PROMOCIONALES	58
IV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
V.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

## **RESUMEN**

El presente portafolio de trabajos tiene como objetivo analizar el impacto del estrés térmico por calor en la salud reproductiva de trabajadores expuestos, especialmente en sectores como la industria, agricultura y construcción. Aunque se han logrado avances en salud ocupacional y reproductiva, el efecto específico del calor sobre la fertilidad y el bienestar reproductivo sigue siendo poco explorado.

El estudio se realizó bajo un enfoque cualitativo, mediante una revisión narrativa de literatura científica nacional e internacional, abarcando artículos, normativas y estudios de caso. Se abordaron tres ejes: el confort y estrés térmico laboral y sus patologías asociadas; la relación entre salud reproductiva humana y exposición ocupacional al calor; y las estrategias preventivo-promocionales para mitigar los riesgos.

Los hallazgos muestran que el estrés térmico puede provocar alteraciones hormonales, daño espermático, infertilidad masculina y complicaciones gestacionales como parto prematuro y bajo peso al nacer. Las olas de calor, el uso de ropa inadecuada y la falta de hidratación agravan estos efectos. Además, se identificaron factores ocupacionales y ambientales que intensifican los riesgos, como la exposición a plaguicidas y metales pesados.

Se concluye que es urgente implementar medidas preventivas como la adecuación del entorno laboral, el acceso a hidratación, pausas frecuentes, indumentaria adecuada y vigilancia médica especializada mediante controles periódicos. Esta evidencia puede guiar el diseño de políticas públicas que promuevan entornos laborales seguros y protejan la salud reproductiva de los trabajadores frente a las condiciones extremas de calor.

**PALABRAS CLAVE**

SALUD REPRODUCTIVA, ESTRÉS TÉRMICO POR CALOR, EXPOSICIÓN  
LABORAL, PREVENCIÓN Y PROMOCIÓN.

## **ABSTRACT**

This portfolio of studies seeks to analyze the impact of heat-related thermal stress on the reproductive health of exposed workers, particularly in sectors such as industry, agriculture, and construction. Although there have been advancements in occupational and reproductive health, the specific effects of heat on fertility and reproductive well-being remain underexplored.

The study employed a qualitative approach through a narrative review of national and international scientific literature, including articles, regulations, and case studies. Three key areas were addressed: thermal comfort and heat stress in the workplace and associated pathologies; the relationship between human reproductive health and occupational heat exposure; and preventive-promotional strategies to mitigate these risks.

Findings indicate that thermal stress can lead to hormonal imbalances, sperm damage, male infertility, and gestational complications such as preterm birth and low birth weight. Heatwaves, inadequate clothing, and insufficient hydration further exacerbate these effects. Additionally, occupational and environmental factors, including exposure to pesticides and heavy metals, were found to intensify reproductive risks.

The study concludes that there is an urgent need to implement preventive measures, including workplace adaptation, access to hydration, regular breaks, appropriate clothing, and specialized medical surveillance through periodic checkups. This evidence can inform public policies aimed at promoting safe work environments and protecting workers' reproductive health under extreme heat conditions.

**KEYWORDS**

REPRODUCTIVE HEALTH, HEAT STRESS, OCCUPATIONAL EXPOSURE  
PREVENTION AND PROMOTION.

## **I. INTRODUCCIÓN**

A pesar de los avances en la investigación de la salud reproductiva, el impacto específico del estrés térmico por calor sobre la fertilidad sigue siendo un área poco explorada. Muchos trabajadores laboran en entornos donde el estrés térmico es una preocupación constante (industria, agricultura, construcción). Estudiar los efectos del calor en su salud reproductiva permite generar evidencia específica que puede aplicarse en políticas de salud pública y prácticas laborales seguras, como rotaciones en ambientes calurosos, uso de indumentaria adecuada, periodos de descanso y medidas de hidratación adecuadas.

Desde un enfoque metodológico, investigar el impacto del estrés térmico permite justificar la implementación de intervenciones preventivas y estrategias de salud pública para la preservación de la fertilidad y el bienestar sexual. Por ejemplo, estudios observacionales y ensayos clínicos pueden establecer asociaciones y fortalecer las recomendaciones preventivas en poblaciones vulnerables o en trabajadores en ambientes de alto calor.

Por lo expuesto, al comprender los efectos antes mencionados, se podrían implementar medidas preventivas para, por ejemplo, prevenir la infertilidad temporal o permanente, evitar alteraciones hormonales o preservar la integridad de los propios órganos sexuales. Con un conocimiento claro sobre el impacto del calor en la salud reproductiva, se pueden desarrollar estrategias preventivas para mitigar estos efectos. Esto puede incluir ropa de trabajo adecuada, programas de rotación para reducir la exposición al calor y otros métodos que protejan la salud reproductiva.

Es por ello que, conocer el impacto del estrés térmico por calor en la salud reproductiva en trabajadores expuestos permitirá prevenir problemas de salud, mejorar la calidad de vida de los trabajadores y proteger sus derechos en el contexto de condiciones laborales desafiantes.

El presente portafolio aborda el impacto del estrés térmico por calor en la salud reproductiva de los trabajadores expuestos a ambientes calurosos, como en la industria, agricultura y construcción. Aunque se han avanzado en la investigación de la salud reproductiva, este aspecto específico sigue siendo poco explorado. El objetivo es generar evidencia para desarrollar políticas públicas y prácticas laborales seguras, como el uso de vestimenta adecuada, rotaciones laborales y medidas de hidratación, entre otros, de tal manera que se consiga identificar asociaciones y fortalecer recomendaciones preventivas.

El estudio busca conocer cómo el estrés térmico afecta la salud reproductiva y proteger a los trabajadores de problemas como infertilidad temporal, alteraciones hormonales o daños en los órganos sexuales mediante la elaboración de 3 capítulos donde se abordarán temas como el confort y el estrés térmico por calor y sus patologías asociadas, la salud reproductiva humana frente a la exposición laboral y las acciones preventivo promocionales concernientes al tema. Para ello, se propone un enfoque metodológico cualitativo a través de una revisión narrativa de la literatura científica. El procedimiento incluye la búsqueda y selección de fuentes confiables, con un análisis temático para sintetizar los datos y formular conclusiones que puedan guiar futuras investigaciones y estrategias preventivas en el ámbito laboral.

## **II. OBJETIVOS**

### **General:**

Conocer el impacto del estrés térmico por calor en la salud reproductiva en trabajadores expuestos.

### **Específicos:**

Identificar las patologías reproductivas asociadas a la exposición prolongada al estrés térmico por calor en los trabajadores expuestos.

Proponer estrategias preventivas y recomendaciones basadas en la literatura científica para mitigar los efectos negativos del estrés térmico por calor sobre la salud reproductiva de los trabajadores expuestos.

### **III. DESARROLLO DEL ESTUDIO**

#### **CAPÍTULO I**

##### **CONFORT Y ESTRÉS TÉRMICO POR CALOR EN EL ÁMBITO LABORAL Y SUS PATOLOGÍAS ASOCIADAS**

El confort térmico y el estrés térmico han adquirido gran relevancia debido a su impacto en la salud y el rendimiento laboral. Mondelo (2021) señala que un ambiente térmico inadecuado puede afectar tanto el rendimiento físico como el mental de los trabajadores, lo que disminuye su productividad y genera alteraciones como irritabilidad y fatiga. Es esencial abordar adecuadamente el confort térmico en el trabajo para asegurar un entorno seguro y promover el bienestar laboral ya que depende de un equilibrio entre el calor generado por el metabolismo y las formas en que el cuerpo disipa este calor. Según Mondelo (1995), el cuerpo humano genera entre 65 y 80 vatios de calor, lo que requiere un ambiente con condiciones adecuadas de temperatura, generalmente entre 20° y 24°C, para lograr confort térmico (1).

Del Cabo (2023) destaca que, en América Latina, debido a las diversas condiciones climáticas, el estrés térmico en el ámbito laboral requiere un análisis detallado. La región experimenta variaciones extremas de temperatura, desde calor intenso hasta frío extremo, lo que demanda un estudio exhaustivo de las condiciones climáticas locales para implementar medidas que mitiguen los efectos negativos del estrés térmico en la salud y productividad de los trabajadores. En Ecuador, debido a su ubicación geográfica única, se presentan climas diversos que incluyen altas temperaturas, humedad significativa y precipitaciones abundantes, lo cual

representa desafíos para los trabajadores "de campo", como los electricistas de la Empresa Eléctrica Regional Centrosur (1).

Estos trabajadores enfrentan condiciones climáticas adversas y la carga adicional de transportar equipos de protección y herramientas pesadas, lo que agrava su exposición al estrés térmico. Además, deben atravesar terrenos difíciles, como la densa vegetación en algunas áreas, lo que hace necesario estudiar cómo estas condiciones afectan su desempeño y confort para proponer soluciones que mitiguen su impacto. Es decir, un ambiente térmicamente adecuado en el lugar de trabajo es fundamental para mantener la salud y productividad de los empleados. Las condiciones de temperatura y humedad deben ser controladas para prevenir la fatiga, el estrés térmico y otros problemas de salud asociados con el calor o frío extremos (1).

La humedad relativa también juega un papel crucial en el bienestar de los trabajadores, especialmente aquellos al aire libre. Cuando la humedad es baja, el aire seco puede causar sequedad en la piel y problemas respiratorios, además de aumentar el riesgo de deshidratación. Por otro lado, una alta humedad dificulta la evaporación del sudor, lo que reduce la capacidad de enfriamiento natural del cuerpo y aumenta la sensación de incomodidad, fatiga y riesgos de enfermedades respiratorias debido al crecimiento de moho y bacterias (1).

Ahora bien, el concepto de calor se define como la energía cinética total de los átomos o moléculas de una sustancia y su transferencia ocurre debido a las diferencias de temperatura, mientras que la sensación térmica, que es la temperatura percibida por la piel de cada persona, varía según las condiciones climáticas, la

velocidad del viento y la humedad. Así mismo, la radiación ultravioleta (UV), medida mediante el Índice Ultravioleta (IUV), se clasifica en UVA, UVB y UVC, siendo los rayos UVC absorbidos por la atmósfera y los UVA llegando casi completamente a la superficie terrestre (6).

Entendiendo estos conceptos, mantener la temperatura corporal entre 36°C y 38°C es fundamental para el bienestar y rendimiento laboral, según la OIT. Para 2030, se estima que el calor podría reducir hasta un 2% las horas de trabajo a nivel mundial. En Colombia, el IDEAM ha registrado un aumento de temperatura de 0,2 a 0,3°C por década entre 1971 y 1990, y se espera un incremento de hasta 4°C para 2070, afectando especialmente las zonas costeras, la alta montaña y sectores clave como salud, agricultura y energía (2).

Profundizando en el segundo ítem del presente capítulo, el estrés térmico viene a ser la carga de calor a la que están expuestos los trabajadores, resultado de la combinación de condiciones ambientales, actividades laborales, y el tipo de ropa utilizada. Este estrés puede ser por calor o frío, y afecta la temperatura corporal. El estrés por calor ocurre cuando el cuerpo supera los 36-38°C debido a la dificultad para expulsar el calor en ambientes calurosos o húmedos. Este concepto se refiere a su vez, a las molestias que experimentan los trabajadores cuando realizan sus actividades en entornos calurosos, resultante de la acumulación de calor en el cuerpo debido a la actividad física, las condiciones del entorno y factores personales (3)

La exposición prolongada a altas temperaturas en el trabajo puede tener efectos perjudiciales para la salud, lo que hace necesario realizar evaluaciones y

seguimientos para identificar los riesgos y patologías asociadas, con el fin de desarrollar planes de intervención eficaces para proteger a los trabajadores (3). Este estrés térmico causado por el calor resulta en una incomodidad derivada de un esfuerzo biológico excesivo para mantener la temperatura interna del cuerpo en 37°C (Yelson, Picon, Orozco y Molina, 2020). El riesgo de sufrir estrés térmico en una persona expuesta a un entorno caluroso está determinado por la cantidad de calor que su cuerpo genera debido a su actividad física, así como por las condiciones del ambiente circundante, que influyen en el intercambio de calor entre el cuerpo y el entorno (Wesley Alonzo, 2018) (4).

En resumen, podríamos afirmar que, el estrés térmico por calor se refiere a la acumulación de calor en el cuerpo debido a la interacción entre las condiciones ambientales, la actividad física y la ropa. Si el calor no se disipa adecuadamente, puede producirse un aumento de la temperatura corporal, con efectos patológicos graves. El cuerpo humano regula su temperatura mediante la circulación sanguínea y la sudoración, pero en ambientes extremadamente calurosos, estos mecanismos pueden fallar (6).

Dicho estrés representa una amenaza creciente para la salud de las poblaciones vulnerables, incluyendo a personas de bajos ingresos, grupos minoritarios, mujeres embarazadas, adultos mayores, personas con enfermedades crónicas y discapacidades. Estos grupos son especialmente susceptibles a los efectos adversos del calor extremo, que pueden provocar desde deshidratación y agotamiento por calor hasta golpes de calor potencialmente mortales. Por ejemplo, el cambio climático ha incrementado la frecuencia y la intensidad de las olas de calor, exacerbando el estrés térmico en las personas (12).

Se ha identificado que una temperatura de bulbo húmedo superior a 35°C representa el límite en el cual el cuerpo humano puede enfriarse adecuadamente. Se proyecta que, con un aumento de 3°C en la temperatura global, grandes áreas de Asia, África y América del Sur podrían superar este umbral, afectando gravemente la habitabilidad de estas regiones. Además, las zonas urbanas suelen experimentar temperaturas más altas que las rurales debido al efecto isla de calor urbana, causado por la abundancia de superficies que retienen calor, como el asfalto y la falta de vegetación. Esto aumenta la exposición de las poblaciones vulnerables al calor extremo, elevando el riesgo de enfermedades relacionadas con el calor (12).

Por otro lado, la exposición simultánea al calor y a agentes químicos, como solventes y pesticidas, puede intensificar los riesgos para la salud. Estudios han demostrado que los jornaleros agrícolas que enfrentan altas temperaturas y están expuestos a pesticidas presentan riesgos significativos para su bienestar y seguridad. Además, la combinación de estrés térmico y exposición a pesticidas ha sido asociada con problemas renales en regiones de Mesoamérica, sugiriendo que el calor extremo y los agroquímicos pueden contribuir al deterioro de la función renal. Estos hallazgos resaltan la necesidad de implementar medidas de protección laboral que aborden tanto el estrés térmico como la exposición a agentes químicos, con el fin de salvaguardar la salud de los trabajadores en entornos agrícolas y otros sectores expuestos (13).

### **1.1 Evaluación del estrés térmico:**

La evaluación del confort y el estrés térmico está cobrando cada vez más relevancia, como lo demuestran diversas publicaciones sobre el tema. Un entorno

térmico inapropiado puede resultar en un bajo rendimiento físico y mental, lo que a su vez provoca una disminución en la productividad (Villacis Flores, 2021). El nerviosismo, la agresividad, las distracciones, los errores, la incomodidad, y las alteraciones en el ritmo cardíaco, junto con otros efectos fisiológicos, pueden afectar la salud y, en situaciones extremas, incluso resultar fatales (Mondelo, Torada, Castejon, Comas y Lacambra, 2004). La evaluación del estrés térmico es cada vez más crucial, ya que muchos procesos industriales crean ambientes térmicos inapropiados para los trabajadores (Villacis Oñate, 2013). Por ello, es fundamental contar con un estudio, conocimiento y tratamiento adecuado en el ámbito de la Salud y Seguridad Ocupacional, debido a los impactos que este fenómeno puede tener en la salud del individuo y en su desempeño laboral (Ararat, Cavadia y Tapia, 2014) (4).

En el Perú, existen normativas que abordan la evaluación del estrés térmico por calor en ambientes laborales. A continuación, se destacan algunas de ellas (14):

- Resolución Ministerial N.º 375-2008-TR: Establece la "Norma Básica de Ergonomía y de Procedimiento de Evaluación de Riesgo Disergonómico". Esta norma proporciona lineamientos para identificar, evaluar y controlar los riesgos ergonómicos, incluyendo el estrés térmico, en el entorno laboral.
- Decreto Supremo N.º 055-2010-EM: Conocido como el "Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional y otras medidas complementarias en minería", incluye directrices específicas para la evaluación y control del estrés térmico en actividades mineras.

- Guía N.º 2 del DS 055-2010-EM: Esta guía complementaria ofrece detalles sobre la estimación del consumo metabólico y factores de corrección relacionados con el estrés térmico en minería, facilitando la evaluación de riesgos térmicos en este sector.
- Norma ISO 7243:1989 y su actualización la Norma ISO 7243:2017 — Ergonomics of the thermal environment — Assessment of heat stress using the WBGT index: Aunque no es una normativa peruana, es reconocida internacionalmente y adoptada en el país. Establece métodos para estimar el estrés térmico en el trabajo basándose en el índice WBGT (Temperatura de Globo y Bulbo Húmedo).

La edición 2017 (que canceló y sustituyó la de 1989) contiene estas actualizaciones clave:

En el Anexo A se agregan límites adicionales de exposición y ecuaciones de referencia.

La evaluación del estrés térmico ahora considera los efectos de la ropa de trabajo (ajuste por vestimenta).

Se describen posibles errores y ajustes relacionados con sensores de temperatura de globo no estándares.

Se incluye un método para predecir la temperatura húmeda natural (wet bulb natural temperature).

En un estudio realizado por Revueltas et al. (2015) en Cuba, se evaluaron las condiciones térmicas laborales de 81 trabajadores expuestos a altas temperaturas.

Se utilizó el índice WBGT para medir el estrés térmico, y se encontró que el 85,2% de los trabajadores reportaron molestias relacionadas con el calor, lo que afectó su bienestar, aunque no impidió su trabajo. Además, el 40,7% experimentó estrés térmico, y se observó una relación entre el aumento del índice WBGT y la aparición de afecciones sistémicas. Por su parte, Gutiérrez et al. (2018) evaluó el riesgo de estrés térmico en trabajadores de la empresa Arboriente S.A. y, a diferencia de los estudios previos, no encontró riesgos higiénicos en los puestos evaluados, debido a la aclimatación de los trabajadores y su baja carga térmica metabólica. Sin embargo, al comparar los resultados con otros estudios, se observó que, en ciertas áreas como Tiwintza, los trabajadores presentaban índices WBGT superiores al límite, lo que sugiere un riesgo potencial de estrés térmico debido a las altas temperaturas (1).

El calor excesivo en el lugar de trabajo es un riesgo significativo para la salud y la productividad de los trabajadores. Según Kjellstrom et al. (2019), la productividad disminuye cuando la temperatura supera los 24-26 °C, y a los 33-34 °C, los trabajadores pueden perder hasta un 50% de su capacidad de trabajo. La exposición prolongada a estas altas temperaturas puede provocar hipertermia y, en casos extremos, ser fatal. Este problema afecta especialmente a aquellos que realizan trabajos físicamente demandantes o trabajan al aire libre, como en la agricultura, construcción y transporte, pero también impacta a los trabajadores en interiores si la temperatura no se regula adecuadamente, causando fatiga psíquica (1).

En un estudio de Cújar y Espitia (2016), se encontró que la exposición al calor en el lugar de trabajo superaba los límites permisibles, con un índice WBGT de 30.69°C, lo que genera un riesgo para la salud. El estudio también destacó que los

trabajadores estaban aclimatados a las condiciones. En otro estudio realizado por Ararat et al. (2015) en una empresa de alimentos en Córdoba, Colombia, se identificó un alto nivel de estrés térmico entre los trabajadores, debido a la incorrecta instalación de la planta y a normas deficientes para abordar los riesgos térmicos. Estos estudios subrayan la necesidad de analizar y mejorar las condiciones laborales para reducir los riesgos térmicos (3).

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) ha proporcionado directrices para mejorar la seguridad y salud ocupacional, aunque estas no sustituyen las leyes locales. Según la OIT, el aumento del estrés térmico podría reducir la productividad laboral en un 2,2% para el año 2030, lo que equivale a la pérdida de aproximadamente 76 millones de empleos. El estrés térmico, generado por calor excesivo, puede elevar la temperatura corporal por encima de los 35°C, afectando la capacidad y rendimiento de los trabajadores. En Latinoamérica, un trabajador muere cada 15 segundos debido a accidentes o enfermedades laborales. El estrés térmico por calor es un factor que causa efectos patológicos cuando el cuerpo no puede regular adecuadamente su temperatura interna. La magnitud de este riesgo depende de la actividad física realizada y las condiciones ambientales del lugar de trabajo (3).

## **1.2 Factores que afectan el confort térmico:**

Diversos factores como el grado de aclimatación, el género, la aptitud física, entre otros, influyen en los riesgos térmicos. Aunque existen estudios que identifican estos factores, aún no se tiene claridad sobre los efectos exactos de la exposición al calor. En el ámbito laboral, la seguridad y salud ocupacional a

menudo se ve como un gasto, sin reconocer su impacto en el bienestar y productividad del trabajador. Es crucial involucrar a todas las instituciones en la prevención de riesgos térmicos para mejorar las condiciones laborales y garantizar el bienestar de los trabajadores, educando sobre la importancia de la seguridad en el trabajo (3).

Además, los factores personales, como la edad, obesidad y la ropa de trabajo, contribuyen al riesgo. Los trabajadores mayores tienen mayor dificultad para mantenerse hidratados, mientras que las personas con obesidad generan más calor durante sus actividades. La ropa de trabajo debe ser adecuada para evitar que la temperatura corporal aumente y dificultar la evaporación del sudor (5). Como ejemplo, el artículo de Castro Nuñez, et al (2017) describe los factores personales que afectan la tolerancia al estrés térmico por calor, que incluyen (8):

- Edad: Aunque el riesgo no depende de la edad, las personas mayores pueden tener mayor vulnerabilidad al estrés térmico debido a problemas en la circulación y la hidratación.
- Obesidad: Las personas con sobrepeso enfrentan dificultades para lidiar con el calor debido al aumento del aislamiento térmico, problemas cardiovasculares y menor condición física.
- Hidratación: La pérdida de agua por sudoración requiere rehidratación, pero la sensación de sed no siempre es proporcional a la pérdida de agua.

- Medicamentos y alcohol: Algunos medicamentos, especialmente los anticolinérgicos, y el alcohol, pueden afectar la sudoración, la sensación de sed y la respuesta térmica del cuerpo.
- Género: Las diferencias en la respuesta al calor entre hombres y mujeres son difíciles de demostrar debido a factores como la condición física y la aclimatación.
- Grado de aclimatación: Este proceso gradual de adaptación al calor mejora la eficiencia del sistema termorregulador y reduce el riesgo de sobrecarga térmica, pero debe ser específico para las condiciones de trabajo y ropa (8).

Una encuesta realizada a los operarios de la cabina de flujo laminar en la Lavandería Super Blanca Ngp Sas en Colombia, revela que no están conscientes del riesgo de estrés térmico por calor, un tema que debería haberse abordado durante la inducción laboral y reflejado en la matriz de identificación y valoración de peligros y riesgos. Por ello, es fundamental identificar este riesgo desde el inicio de la actividad para implementar barreras y controles que eviten consecuencias a largo plazo, como enfermedades laborales (5).

### **1.3 Estrés térmico y sus patologías asociadas:**

A nivel mundial, las condiciones laborales en algunas empresas han generado serias amenazas para la salud y seguridad de los trabajadores, provocando enfermedades y accidentes. Esto ha llevado a muchas organizaciones a enfocarse en la prevención de riesgos laborales. La exposición al calor puede causar problemas como síncope, deshidratación, agotamiento y golpe de calor, además de incrementar el estrés térmico, lo que puede derivar en accidentes (3). Como se ha

observado, la exposición al calor puede causar varios efectos sobre la salud, y el aumento del estrés térmico por calor puede generar accidentes como caídas o atrapamientos debido a mareos o desvanecimientos, además de afecciones más complicadas como (8):

- Síncope por calor: Se produce cuando se está de pie o inmóvil por mucho tiempo en un ambiente caluroso, lo que provoca una bajada de presión arterial y disminución del flujo sanguíneo al cerebro, especialmente en personas no aclimatadas.
- Deshidratación y pérdida de electrolitos: La sudoración excesiva en condiciones de calor provoca pérdida de agua y electrolitos, lo que puede causar problemas gastrointestinales y calambres musculares.
- Agotamiento por calor: Ocurre principalmente por deshidratación severa, y sus síntomas incluyen fatiga, náuseas, pérdida de capacidad laboral y disminución de habilidades psicomotoras. Con rehidratación y descanso, la recuperación suele ser posible.
- Golpe de calor: Se da cuando el cuerpo ya no puede regular su temperatura interna, superando los 40,5°C. La piel se vuelve caliente y seca, y no se produce sudoración. Es una situación grave que requiere hospitalización, ya que las consecuencias pueden durar varios días (8).
- La erupción cutánea o miliaria: Afección común relacionada con la exposición al calor, provocada por la obstrucción de los conductos sudoríparos. Los síntomas incluyen una erupción roja y picazón intensa.

Para aliviarla, se recomienda limpiar y secar la piel, además de cambiar la ropa mojada. Las afecciones cutáneas pueden agravarse por la humedad o la ropa impermeable que impide la evaporación del sudor, provocando dermatitis.

- Los calambres por calor: Se originan por la intensa sudoración y la pérdida excesiva de sales. Los síntomas son espasmos y dolores musculares. Se recomienda descansar en un lugar fresco, beber agua con sales y realizar estiramientos suaves. Los calambres son generalmente inofensivos, pero requieren atención si no desaparecen.
- El síncope de calor: Desmayo causado por la acumulación de sangre en las extremidades inferiores. Suele presentarse en trabajadores inmóviles en climas calurosos, con síntomas como mareos y visión borrosa. Para tratarlo, se debe acostar a la persona en un lugar fresco, con las piernas elevadas, y evitar la inmovilidad prolongada. Si ocurre, es necesario evaluar el estrés térmico en el lugar de trabajo y aplicar medidas preventivas (9).

El artículo de Espinoza Guano (2017) analiza la información sobre las afecciones reportadas por el médico en la ficha médica inicial, lo que revela que el 28% de la población presenta deshidratación por calor, causada por las altas temperaturas en el área de producción, principalmente generadas por los equipos de leudado y horneado, que aumentan la sudoración en los trabajadores. El 18% de la población experimenta dermatitis por calor, afecciones en las manos y mareos. La dermatitis por calor se debe a la acumulación de sudor en la piel, lo que impide la evaporación adecuada, especialmente por la alta humedad del ambiente (9).

Las afecciones en las manos, como la parestesia (adormecimiento) y daño en la piel, son causadas por el contacto con superficies calientes, lo que daña las terminaciones nerviosas de los dedos. El 9% de los trabajadores sufre mareos debido a la deshidratación, várices de grado I que se agravan por el calor, lo que provoca una vasodilatación intensa y prolongada, y lipotimia (síncope) debido a que permanecen de pie durante varias horas en un entorno caluroso. La deshidratación es la afección más común, presentándose en su forma aguda (leve o moderada), y si no se trata adecuadamente, puede dar lugar a problemas crónicos como afecciones cardiovasculares y renales, entre otras (9).

En el artículo de Aguilar Barragán (2023) aproximadamente el 20% del personal ha experimentado síntomas como sarpullido, desmayos y deshidratación, debido a su constante exposición a altas temperaturas por el uso de maquinaria en su trabajo. La deshidratación no tratada puede llevar a afecciones crónicas, como problemas cardiovasculares y renales, y los desmayos pueden ocasionar accidentes laborales. Este 20% de trabajadores también ha presentado ausentismo debido a enfermedades como dermatitis atópica, deshidratación moderada y desmayos (5).

El artículo de Hurtado Herrera (2016) aborda los efectos en la salud de los agricultores debido a la exposición solar. Las manifestaciones clínicas más comunes incluyen lesiones en la piel y mucosas (41.5%), siendo las más destacadas lesiones generales en la piel (34.1%), cáncer de piel (9.8%) e insolación (4.9%). Los calambres fueron reportados en el 26.8% de los casos, seguidos por síntomas cardiovasculares, sinusitis, dolor de cabeza y espalda, entre otros, con un 24.4%. Los cambios neurológicos, como el síncope (17.1%), afectaron al 22.0% de los

agricultores, y el 19.5% reportó fatiga, sin especificar su origen. Otros problemas incluyen deshidratación (17.1%) y enfermedad renal crónica (12.2%) (6).

El 70.7% de los estudios analizados identificaron algún síntoma relacionado con la exposición solar, siendo los más comunes las lesiones en la piel, calambres y cambios neurológicos. El cáncer de piel, aunque no siempre especificado en su tipo, se mencionó en el 9.8% de los casos, destacando la importancia de estudiar la exposición a rayos UV y la medición de temperaturas. La deshidratación es vista como un factor desencadenante de otros síntomas graves, como náuseas, golpe de calor y problemas renales (6).

El artículo de Martín Moreno (2023) aborda los efectos del estrés por calor en el lugar de trabajo, destacando que cuando la temperatura ambiente supera los 35 °C, aumenta la probabilidad de fatiga y agotamiento físico entre los trabajadores. Los principales riesgos para la salud incluyen calambres por calor, insolación, dificultad respiratoria, aumento de la frecuencia cardíaca y la temperatura corporal, y deterioro del rendimiento físico y mental. Esto puede afectar la seguridad laboral, ya que el estrés por calor genera fatiga, irritabilidad, disminución de la concentración y coordinación. Además, el calor y la deshidratación están asociados con efectos negativos en el comportamiento, como la pérdida de juicio y alerta (7).

En términos de salud mental, los agricultores, especialmente en zonas afectadas por la sequía, tienen un mayor riesgo de depresión y ansiedad. El artículo también menciona el aumento de la enfermedad renal crónica, particularmente en trabajadores de la caña de azúcar en América Central, a menudo sin factores de riesgo convencionales. Se asocia con la exposición a altas temperaturas,

deshidratación y agroquímicos. Finalmente, se reportan problemas de salud materno-infantil derivados de la exposición al calor extremo, como bajo peso al nacer, anomalías congénitas, partos prematuros y otros trastornos (7).

Adicionalmente, se describen los factores de riesgo y la exposición al calor en trabajadores al aire libre, destacando que la exposición al calor extremo tiene un impacto especialmente fuerte en aquellos que trabajan en entornos al aire libre, como agricultores, trabajadores de la construcción, minería, y bomberos. Las "islas de calor urbano" (UHI) son áreas urbanas con temperaturas más altas que afectan tanto a la población general como a los trabajadores, impidiendo la recuperación nocturna del calor experimentado durante el día. En el caso de los agricultores, los factores que aumentan el riesgo incluyen la exposición prolongada a temperaturas extremas, la falta de medidas de seguridad y la baja mecanización en la agricultura, lo que aumenta la probabilidad de enfermedades relacionadas con el calor, especialmente en países de bajos y medianos ingresos (7).

Los trabajadores de la construcción también enfrentan un alto riesgo debido a la exposición directa al sol, el uso de herramientas eléctricas y el trabajo en condiciones difíciles. En las minas, el calor extremo es especialmente pronunciado en las minas subterráneas debido a la profundidad y la alta humedad. Los bomberos y otros trabajadores industriales, que usan equipos de protección, también están en riesgo, ya que este equipo reduce la disipación de calor. Además, se destaca la alta incidencia de enfermedades como la enfermedad renal aguda en trabajadores agrícolas migrantes en diversos países. Las subpoblaciones vulnerables al calor incluyen a trabajadoras embarazadas y jóvenes entre 15 y 24 años, quienes enfrentan riesgos adicionales para su salud, especialmente las mujeres embarazadas

expuestas al calor extremo, que pueden sufrir complicaciones en el embarazo y el parto (7).

En el estudio de Midence y Blas (2024), el estrés térmico en los ambientes laborales afecta seriamente la salud de los trabajadores, especialmente en sectores como la producción, el trabajo en espacios confinados y la agricultura. Este estrés se genera por la acumulación de calor en el cuerpo debido a factores como las condiciones ambientales, la actividad física, la ropa laboral y la hidratación insuficiente. A largo plazo, el estrés térmico puede provocar enfermedades renales, como la enfermedad renal crónica (ERC), que se caracteriza por la alteración progresiva de la función renal (10).

En Nicaragua, los trabajadores del campo y la industria de producción enfrentan jornadas laborales largas debido a la alta demanda de trabajo, lo que aumenta su exposición al calor. La deshidratación y la falta de protección adecuada, como el uso de ropa adecuada o la ingesta insuficiente de agua, son factores de riesgo para la aparición de enfermedades renales. Además, la flexibilidad laboral propia de la producción agroindustrial y la falta de conciencia sobre los riesgos hacen que muchos trabajadores no estén informados sobre las medidas preventivas (10).

El estrés térmico por calor afecta la capacidad del cuerpo para regular su temperatura, lo que puede provocar desde malestares leves hasta enfermedades graves, como el golpe de calor. La deshidratación y la pérdida excesiva de sales debido al calor ponen una carga adicional sobre los riñones, lo que puede llevar a daño renal permanente si no se toman medidas preventivas. Es esencial que los trabajadores expuestos al sol durante largos periodos, como los agricultores,

albañiles y trabajadores en hornos, adopten medidas de protección, como hidratación adecuada y descansos regulares en sombra (10).

El calor extremo también puede ser un contaminante físico que, cuando no se controla, puede tener un impacto negativo en la salud de los trabajadores, llevando a enfermedades graves como la ERC. La detección temprana de la enfermedad es crucial para evitar complicaciones, y el tratamiento puede incluir cambios en la dieta, medicamentos y, en casos graves, diálisis o trasplante renal. La investigación sobre la enfermedad renal crónica (ERC) asociada al estrés térmico ha sido abordada desde diversas perspectivas. En varios estudios, se ha observado que un alto porcentaje de los pacientes afectados son hombres, especialmente en sectores laborales como el agrícola, donde el estrés térmico y la exposición prolongada al calor son comunes. El uso de analgésicos, la deshidratación, y la falta de medidas de protección adecuadas durante las jornadas laborales son factores clave que contribuyen al desarrollo de esta patología (10).

El estudio de los factores de riesgo para la ERC también revela que el consumo de medicamentos de venta libre, la falta de pausas durante las jornadas laborales y la mala calidad de vida son factores determinantes en el desarrollo de esta enfermedad. La enfermedad renal crónica puede causar una incapacidad laboral significativa, especialmente cuando los pacientes necesitan tratamiento de diálisis. Sin embargo, la falta de recursos para un tratamiento adecuado y la dificultad para acceder a diálisis peritoneal domiciliaria debido a la falta de higiene y cuidado adecuado agravan la situación. En general, la exposición prolongada al calor y la falta de medidas de protección laboral son factores determinantes en el desarrollo de la enfermedad renal crónica en los trabajadores, especialmente en sectores

rurales. Se requieren cambios en la capacitación, las políticas laborales y la conciencia sobre los riesgos de la exposición al calor para prevenir y tratar esta patología de manera efectiva (10).

Finalmente, es importante también detallar el comportamiento del cáncer frente al estrés térmico por calor. Por ejemplo, el cáncer de mama es uno de los cánceres más comunes y mortales en el mundo, con un aumento en la incidencia a medida que se avanza en edad. En América Latina y el Caribe, se estima que para 2030 habrá más de 596,000 casos nuevos de cáncer de mama. En México, es una de las principales causas de muerte entre mujeres de 20 a 65 años, y ha aumentado significativamente desde 1990. Aunque es raro en hombres, también puede ocurrir, especialmente en varones de 60 a 70 años y en aquellos con factores como exposición a radiación o antecedentes familiares de mutaciones en el gen BRCA2 (11).

Los factores de riesgo incluyen la edad, cambios genéticos (mutaciones en genes como BRCA1, BRCA2, y P53), historia familiar, raza, y hábitos de vida, como el consumo de alcohol, tabaquismo, obesidad, entre otros. Aunque no todos los casos de cáncer de mama son prevenibles, algunos estudios sugieren que hasta un 30% de los casos podrían evitarse mediante modificaciones en el estilo de vida. El proceso de progresión del cáncer involucra proteínas conocidas como proteínas de choque térmico (Hsp), que ayudan a mantener la homeostasis celular y protegen a las células de varios tipos de estrés. Estas proteínas, que se sobreexpresan en respuesta a situaciones de estrés, juegan un papel crucial en la oncogénesis y la resistencia a tratamientos como la quimioterapia. La Hsp27, Hsp60, Hsp70 y Hsp90

están asociadas con la proliferación tumoral, la inhibición de la apoptosis y la resistencia a medicamentos (11).

En el cáncer de mama, la sobreexpresión de estas proteínas se asocia a un mal pronóstico, especialmente en la progresión del tumor. Además, la proteína p53, que regula la muerte celular programada (apoptosis), también juega un rol importante en el cáncer mamario, y su mutación se asocia con un mal pronóstico. Por ejemplo, el estudio de Hernandez Rodriguez, et al. (2017) tuvo como objetivo determinar la expresión y asociación de las proteínas de choque térmico Hsp70, Hsp90 y p53 en cáncer de mama y alteraciones mamarias. Los resultados mostraron la presencia de estas proteínas en todas las muestras, tanto cancerosas como no cancerosas (11).

Se encontró que la Hsp70 tenía la mayor expresión en tejido canceroso, seguida por la p53 y luego la Hsp90. La Hsp70 juega un papel clave en la proliferación celular, la invasión y la metástasis, y su inhibición se considera una estrategia para tratar el cáncer. La p53 regula el ciclo celular y la apoptosis, y su mutación está presente en más del 50% de los tumores humanos, con una acumulación en niveles elevados de la proteína mutante. La Hsp90, por su parte, participa en la transformación de células cancerosas y en la evasión de la apoptosis, favoreciendo la progresión tumoral (11).

## **CAPÍTULO II**

### **SALUD REPRODUCTIVA HUMANA Y LA EXPOSICIÓN LABORAL EN EL MARCO DEL ESTRÉS TÉRMICO POR CALOR**

La salud reproductiva humana se refiere al bienestar físico, mental y social relacionado con el sistema reproductivo de una persona, tanto en su capacidad para tener hijos como en la prevención y tratamiento de enfermedades y trastornos reproductivos. El Programa de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente (UNEP) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) han documentado la influencia de los compuestos ambientales, como los disruptores endocrinos, sobre la salud humana. Estos compuestos, que incluyen contaminantes del aire, metales pesados y plaguicidas e incluso el estrés térmico alteran los sistemas hormonales y metabólicos, y se han vinculado con desórdenes en la salud reproductiva, afectando tanto a hombres como mujeres (15).

#### **2.1 Fisiología general frente al estrés térmico por calor:**

Frente al estrés por calor, el cuerpo activa mecanismos fisiológicos para mantener la homeostasis térmica, es decir, conservar la temperatura corporal dentro de límites normales (36,5 - 37,5 °C).

Desde el punto de vista fisiológico, el estrés térmico por calor activa una respuesta coordinada entre los sistemas nervioso, cardiovascular, endocrino y sudomotor(46).

#### **Sistema nervioso central (hipotálamo)**

El centro termorregulador anterior del hipotálamo detecta el aumento de la temperatura corporal central.

En respuesta, envía señales simpáticas inhibitorias para provocar vasodilatación cutánea y activación de las glándulas sudoríparas ecrinas(46).

### **Sistema cardiovascular**

Se redistribuye el flujo sanguíneo desde los órganos internos hacia la piel, lo que aumenta la pérdida de calor.

Esto genera una mayor carga cardiovascular, pues el corazón debe bombear más rápido para mantener la presión arterial y la termorregulación simultáneamente(46).

### **Sistema endocrino**

Se libera aldosterona y vasopresina (ADH) para conservar sodio y agua, evitando la deshidratación.

También puede activarse la respuesta al estrés con liberación de cortisol si la exposición es prolongada(46).

### **Sistema sudomotor**

La sudoración es el principal mecanismo de pérdida de calor por evaporación.

Si hay alta humedad o deshidratación, este proceso se vuelve ineficiente y el riesgo de agotamiento o golpe de calor aumenta(46).

#### **2.1.1 Afectación de sistema reproductor masculino por estrés térmico:**

##### **Fisiología normal del epidídimo y la temperatura**

El epidídimo es el conducto donde los espermatozoides maduran y se almacenan después de salir del testículo.

Para que este proceso ocurra correctamente, la temperatura escrotal debe mantenerse entre 2 y 4 °C por debajo de la corporal (34 °C) (47).

Esto es posible gracias a (47):

- El músculo cremáster (que eleva o desciende el testículo para regular la temperatura).
- El plexo pampiniforme, que actúa como un intercambiador de calor entre arterias y venas.

### **Respuesta fisiológica del epidídimo al estrés térmico**

Cuando el cuerpo o el ambiente están sometidos a altas temperaturas, y los mecanismos de enfriamiento escrotal se saturan, se produce un aumento de la temperatura testicular y epididimaria (47).

Este aumento genera una serie de alteraciones fisiológicas (47):

Daño celular y oxidativo:

- El calor excesivo eleva la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS).
- Estas moléculas provocan estrés oxidativo y daño a las células del epitelio epididimario y a los espermatozoides.

Alteración en la maduración espermática:

- El epitelio del epidídimo pierde su capacidad de secretar proteínas y lípidos necesarios para la maduración espermática.
- Resultado: espermatozoides con menor movilidad y viabilidad.

Cambios en la barrera hematotesticular y epididimaria:

- El calor puede alterar la permeabilidad de esta barrera, facilitando procesos inflamatorios (epididimitis térmica).

Respuestas hormonales compensatorias:

- El hipotálamo detecta el exceso térmico y puede inhibir el eje hipotálamo-hipófiso-gonadal, reduciendo la secreción de testosterona.
- Esto afecta la función del epidídimo y la espermatogénesis.

### **Consecuencia fisiopatológica**

Si el estrés térmico es agudo, el daño puede ser reversible; sin embargo, en exposiciones crónicas (como en trabajadores que laboran en hornos, fundiciones o bajo sol intenso), puede producir (47):

- Disminución de la espermatogénesis.
- Reducción del conteo y movilidad espermática.
- Alteraciones en la morfología espermática.
- Riesgo de infertilidad funcional.

### **2.1.2 Afectación de sistema reproductor femenino por estrés térmico:**

#### **Eje hipotálamo-hipófiso-ovárico (HHO)**

El hipotálamo es muy sensible al aumento de temperatura corporal. El calor excesivo disminuye la liberación pulsátil de GnRH, lo que reduce la secreción de LH y FSH por la hipófisis (48).

Consecuencias (48):

- Alteraciones del ciclo menstrual.
- Anovulación o fallas en la ovulación.
- Reducción en los niveles de estrógenos y progesterona.

### **Ovario**

El calor aumenta la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) con estrés oxidativo. Esto genera (48):

- Apoptosis de las células de la granulosa y teca.
- Degeneración folicular.
- Disminución de la calidad y maduración de los ovocitos.

Además, se altera la esteroidogénesis (producción de estrógenos y progesterona).

### **Útero y endometrio**

El estrés térmico crónico puede reducir el flujo sanguíneo uterino por vasoconstricción compensatoria, lo que afecta la nutrición del endometrio y la implantación.

El microambiente uterino también se vuelve más ácido y oxidativo, interfiriendo con el desarrollo (48).

### **Consecuencias fisiológicas y clínicas**

- Irregularidades menstruales.
- Disminución de la fertilidad (anovulación, fallas en la implantación).
- Aumento del riesgo de aborto temprano.
- Alteraciones en el desarrollo fetal por hipertermia materna.
- En trabajadoras expuestas crónicamente al calor: disminución de la tasa de concepción y mayor fatiga fisiológica (48).

### **2.1.3 La hipercloremia y su implicancia frente al estrés térmico por calor en la salud reproductiva:**

#### **A. Mecanismo fisiológico básico en varones:**

El cloro ( $\text{Cl}^-$ ) es un anión fundamental para el equilibrio hidroelectrolítico y ácido-base. La hipercloremia suele aparecer en casos de (49):

- Deshidratación severa o sudoración excesiva.
- Pérdida de bicarbonato (acidosis metabólica).
- Administración excesiva de soluciones salinas ( $\text{NaCl}$ ).

Este exceso de  $\text{Cl}^-$  reduce el bicarbonato plasmático y genera una acidosis metabólica hiperclorémica (49).

#### **Efectos sistémicos que repercuten en el testículo**

En este contexto, la acidosis metabólica y la hipercloremia producen (49):

- Vasoconstricción renal y tisular: disminuye el flujo sanguíneo a órganos periféricos, incluido el testículo.

- Estrés oxidativo sistémico: por el desequilibrio iónico y la alteración del metabolismo celular.
- Disminución de la oxigenación testicular e hipoxia local.

La hipoxia testicular altera las células de Sertoli y Leydig, afectando (49):

- La espermatogénesis.
- La síntesis de testosterona.
- La maduración epididimaria de los espermatozoides.

### **Daño testicular asociado (base celular)**

En estudios experimentales (principalmente en modelos animales), la hipercloremia o acidosis metabólica inducida ha mostrado (49):

- Degeneración tubular seminífera: por estrés oxidativo e inflamación.
- Apoptosis de células germinales: mediada por alteración del pH intracelular y exceso de iones  $\text{Cl}^-$ .
- Disminución de testosterona sérica: al inhibirse la actividad de las células de Leydig.
- Aumento de radicales libres (ROS): que lesionan lípidos de membrana, proteínas y ADN espermático.

### **Relación con el estrés térmico**

Durante el estrés térmico, la sudoración intensa y la pérdida de agua pueden concentrar el  $\text{Cl}^-$  plasmático, generando hipercloremia relativa.

Esto agrava la deshidratación y la vasoconstricción testicular, lo que potencia el daño oxidativo y térmico en el tejido testicular y epididimario (49).

## **B. Mecanismo fisiológico básico en mujeres**

En condiciones normales, el equilibrio ácido–base y electrolítico ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) es esencial para (49):

- La función del eje hipotálamo–hipófiso–ovárico (HHO).
- La maduración folicular y la ovulación.
- La adecuada perfusión uterina y ovárica.

El  $\text{Cl}^-$  participa en la excitabilidad celular, transporte de líquidos y regulación del pH intracelular (49).

## **La hipercloremia y sus efectos**

La hipercloremia, al provocar acidosis metabólica, genera una serie de cambios sistémicos (49):

- Alteración del equilibrio ácido–base en los tejidos reproductivos:
- El pH ácido puede afectar la función de las células de la granulosa y de la teca, alterando la esteroidogénesis ovárica (producción de estrógenos y progesterona).

Disminución de la perfusión uterina y ovárica (49):

- La acidosis y el exceso de  $\text{Cl}^-$  pueden inducir vasoconstricción y reducir el flujo sanguíneo uterino, lo que afecta la implantación y la función endometrial.

Estrés oxidativo y daño celular (49):

- El desequilibrio electrolítico estimula la producción de radicales libres (ROS).
- Esto daña el ADN ovocitario y puede comprometer la calidad de los ovocitos o la reserva ovárica.

Alteraciones hormonales (49):

- El eje HHO puede responder a la acidosis con una reducción de LH y FSH, afectando el ciclo menstrual y la ovulación.
- En casos severos, se puede observar anovulación o luteinización prematura.

### **Efectos observados en estudios**

En modelos de acidosis metabólica experimental, se ha observado (49):

- Disminución de la fertilidad.
- Cambios en el epitelio endometrial y en la función mitocondrial ovárica.
- Aumento de apoptosis en células foliculares.

### **En relación con el estrés térmico**

Durante exposición al calor o deshidratación, puede ocurrir hipercloremia relativa (por concentración plasmática).

Esto agrava (49):

- La deshidratación celular en el ovario y el útero.

- La hipoxia tisular, reduciendo la capacidad de los ovarios para producir hormonas.
- El riesgo de anomalías menstruales o subfertilidad funcional.

#### **2.1.4 Modelos fisiopatológicos actualizados de termorregulación reproductiva:**

La revisión fisiológica reciente subraya diferencias sexuales en la respuesta al calor. Las mujeres tienden a perder menos calor en relación a su masa, tienen diferente tasa de sudoración y mayor temperatura basal en fases hormonales o embarazo (35):

- **Hormonas y termorregulación:**  
Los niveles de estrógeno y progesterona modulan el set point térmico. Durante la fase lútea o embarazo aumentan la temperatura central y reducen la capacidad de disipación (36).
- **Circuitos neurales adaptativos:**  
Un modelo experimental reciente identifica neuronas en el área preóptica del hipotálamo con receptores de prolactina que median protección térmica durante el embarazo; su bloqueo resultó en hipertermia y pérdida fetal en modelos animales, subrayando el rol neuroendocrino en resiliencia térmica reproductiva (37).
- **Modelos predictivos integrados:**  
Se desarrollan modelos basados en redes neuronales artificiales que combinan variables ambientales, fisiológicas (temperatura, HR), personales (sexo, edad, adaptación), para predecir el strain térmico individual con mayor precisión que modelos lineales (38).

## **2.2 Instrumentos de medición de exposición térmica ocupacional aplicables a salud reproductiva:**

El índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) sigue siendo el estándar para evaluar el estrés térmico en el ámbito laboral, combinando temperatura seca, húmeda, radiación y flujo de aire. Según ACGIH/NIOSH, los límites son WBGT  $\approx 27$  °C para trabajo moderado y  $\approx 25$  °C para trabajo pesado (39).

Sin embargo, estos valores no consideran vulnerabilidades específicas como el embarazo. Aunque aún no se han establecido umbrales reproductivos validados, varias evidencias epidemiológicas sugieren que exposiciones repetidas con WBGT cerca del TLV pueden elevar riesgos de aborto, parto prematuro o bajo peso (38).

Para contextos con mujeres embarazadas o en edad reproductiva, se recomienda reducir los umbrales en al menos 2–3 °C por debajo del TLV general. Además, es importante medir indicadores individuales de strain térmico, como frecuencia cardíaca y su variabilidad, temperatura central o marcadores de deshidratación (por ejemplo densidad urinaria) (40).

Otros índices como el Thermal Work Limit (TWL), que incorpora metabolismo, vestimenta y ventilación, ofrecen una evaluación más individualizada y han mostrado ventajas en sectores expuestos a calor extremo como minería o agroindustria (39).

## **2.3 Salud reproductiva masculina frente a diversos condicionantes:**

La salud reproductiva masculina abarca el estudio del sistema reproductivo masculino, incluyendo la función sexual y el potencial fértil, que pueden verse

afectados por diversos factores como la genética, los hábitos de vida, las exposiciones ambientales y ocupacionales, así como la edad. Problemas como la infertilidad, las infecciones de transmisión sexual y la andropausia también impactan la salud reproductiva masculina. Recientemente, se ha observado que los hombres infértiles tienen un mayor riesgo de trastornos somáticos, como el cáncer, y una esperanza de vida más corta en comparación con los hombres fértiles. Además, varios estudios indican que la infertilidad masculina puede tener efectos negativos en la salud de la descendencia (16).

Otro aspecto relevante es la anticoncepción masculina, que forma parte del panorama de la salud reproductiva. Para evaluarla, se debe realizar un análisis exhaustivo que incluye el examen físico, la historia clínica, pruebas de laboratorio y estudios de imágenes. Entre las pruebas de laboratorio, se encuentran la evaluación del semen, los estudios bioquímicos de los marcadores del plasma seminal y el análisis de otros tipos celulares. También se investiga la presencia de anticuerpos antiespermáticos y posibles infecciones bacterianas o virales. Las tecnologías actuales, en algunos casos, permiten la evaluación del núcleo espermático y parámetros cinemáticos del espermatozoide. A futuro, se espera que se incorporen herramientas de análisis global al diagnóstico y seguimiento de los tratamientos, siguiendo una tendencia similar a la utilizada en otras patologías (16).

La infertilidad masculina puede tratarse mediante procedimientos que buscan restaurar las funciones reproductivas, como la selección espermática y los tratamientos de reproducción médica asistida, que pueden ser de baja o alta complejidad. También se emplean métodos como la criopreservación y la vitrificación espermática. Se están desarrollando tecnologías que no solo mejoran

el rendimiento de los espermatozoides, sino que también exploran su uso alternativo, como el transporte de fármacos. Por ello, mantener una salud reproductiva adecuada es crucial para el bienestar general, en particular para la función sexual y reproductiva, así como los chequeos regulares, un estilo de vida saludable y prácticas sexuales seguras son fundamentales para promover una salud reproductiva masculina óptima a lo largo de la vida (16).

Abordar problemas relacionados con la función sexual o la fertilidad puede ayudar a identificar y tratar problemas de salud subyacentes, mejorando la calidad de vida. Es importante señalar que los hombres son tan responsables de la infertilidad como las mujeres, aunque a menudo el factor masculino no se estudia adecuadamente. Esto ocurre en muchas partes del mundo, sobre todo en Latinoamérica, donde la prevalencia de la infertilidad masculina no ha sido suficientemente investigada (16).

Una de las áreas más preocupantes es el deterioro de la función reproductiva masculina en las últimas décadas, con evidencia de que las exposiciones a sustancias tóxicas y contaminantes, como metales pesados y plaguicidas, han afectado la espermatogénesis. Además, muchas sustancias químicas, como los disruptores endocrinos, alteran la homeostasis hormonal y pueden inducir cáncer. Estos compuestos, que pueden actuar como agonistas o antagonistas hormonales, impactan la salud reproductiva y pueden influir en la salud fetal a través de exposiciones prenatales, afectando los parámetros reproductivos de los individuos expuestos en su vida adulta (15).

El daño a la salud reproductiva masculina también se ha observado a través de malformaciones en los genitales masculinos y alteraciones en los parámetros espermáticos. Plaguicidas organofosforados, como el paratión, y otros productos químicos industriales tienen efectos tóxicos sobre las células germinales y el ADN espermático, reduciendo la fertilidad y aumentando la probabilidad de infertilidad y aborto espontáneo. Las alteraciones en la espermatogénesis, la concentración de espermatozoides y su morfología son indicadores de la exposición a estos compuestos (15).

Estudios epidemiológicos indican que trabajos como soldador, pintor, mecánico e incluso en invernaderos, que implican la exposición a metales, solventes, pesticidas y la combustión de productos químicos, están vinculados con alteraciones en la calidad espermática, problemas en la concepción, abortos espontáneos, defectos congénitos y el desarrollo de cáncer infantil. Se plantea que estos compuestos químicos pueden inducir mutaciones en el genoma de las células germinales, afectando a la descendencia. Además, se subraya que la exposición a radiaciones y a compuestos químicos puede generar mutaciones en la descendencia, pero el daño genético es generalmente bajo. Se plantea que el daño podría tener un componente epigenético, afectando la función del ADN sin alterar su secuencia, lo que podría explicar alteraciones hereditarias (15).

También es importante destacar el impacto de factores externos como el uso de ropa interior ajustada, andar en bicicleta o colocar dispositivos como computadoras portátiles en el regazo, ya que estos aumentan la temperatura escrotal, alterando la función testicular. Es importante hacer hincapié en que las pruebas tradicionales de análisis seminal no siempre reflejan con precisión la salud reproductiva masculina

y se destacan pruebas más especializadas, como la fragmentación del ADN y la evaluación de la integridad de la cromatina y la membrana espermática, como herramientas más efectivas para diagnosticar la infertilidad (15).

La exposición ocupacional, como en el caso de trabajadores agrícolas, a plaguicidas, sustancias químicas y solventes también representa un riesgo significativo para la salud reproductiva. Diversos estudios han demostrado que estos trabajadores presentan alteraciones en la calidad seminal, como la disminución del volumen y movilidad espermática y el aumento de anomalías morfológicas. Además, la exposición a contaminantes orgánicos persistentes, como los bifenilos policlorados (PCB) y los ftalatos, también se ha asociado con una disminución en los parámetros reproductivos masculinos (15).

Resulta sumamente importante resaltar el impacto del calor sobre la función testicular al abordar la salud reproductiva humana, ya que la temperatura es un factor crítico en la espermatogénesis. La exposición prolongada a fuentes de calor, como ocurre con panaderos, soldadores o conductores de vehículos, puede alterar la espermatogénesis y la calidad seminal, así como varios ambientes de trabajo, como hornos de panadería, cocinas y puestos de soldador, representan un riesgo para la salud reproductiva masculina debido a las altas temperaturas a las que se exponen los trabajadores. Estas temperaturas alteran la espermatogénesis, causando daño en las células germinales, lo que puede llevar a una disminución del recuento espermático y alteraciones en la maduración del espermatozoide, afectando la capacidad reproductiva de los hombres (15).

Por otro lado, el uso de dispositivos electrónicos, como ordenadores portátiles, que emiten calor, puede contribuir a la infertilidad masculina debido al aumento de la temperatura testicular. Además, los campos electromagnéticos (CEM) emitidos por dispositivos electrónicos, como teléfonos móviles y redes Wi-Fi, también están siendo estudiados por sus posibles efectos sobre la fertilidad masculina. Aunque los estudios están en curso y los resultados son aún controvertidos, hay evidencia que sugiere que la exposición a CEM puede afectar la calidad seminal, incluida la movilidad y morfología de los espermatozoides, e inducir daño en el ADN espermático (15).

Así mismo, es importante recalcar que en los hombres, la exposición crónica al plomo puede causar disminución del deseo sexual, alteraciones en la producción de esperma, como reducción en la cantidad y movilidad de los espermatozoides, así como un aumento en las formas anormales, daño en el ADN, funcionamiento anormal de la próstata y variaciones en los niveles de testosterona. Aunque aún no se comprenden completamente las anomalías cromosómicas ni el intercambio de cromátidas hermanas, existen estudios que evidencian daños a nivel genético (19).

A modo de resumen, la exposición a contaminantes como disruptores endocrinos, metales pesados y plaguicidas ha demostrado afectar la salud reproductiva masculina, deteriorando la espermatogénesis, la calidad seminal y aumentando los riesgos de infertilidad y aborto espontáneo. La exposición a estas sustancias también se ha vinculado con alteraciones en la estructura genética de las células germinales (15).

#### **2.4 Salud reproductiva masculina frente al estrés térmico por calor:**

En un estudio realizado por Verón G entre 2005 y 2023, se compararon los parámetros seminales de hombres expuestos y no expuestos a olas de calor (OC) durante la espermatogénesis. Se incluyó solo a hombres menores de 40 años, debido a estudios previos que muestran una relación negativa entre la edad y la calidad del semen. Los resultados revelaron que la concentración, recuento y morfología de espermatozoides fueron menores en el grupo expuesto, mientras que la vitalidad y motilidad de los espermatozoides fueron mayores en este grupo, sugiriendo un impacto adverso de las OC en algunos parámetros seminales. El análisis también evaluó cómo las OC afectaron la calidad seminal durante cuatro fases clave previas a la eyaculación: espermatocitogénesis, meiosis, espermiogénesis y maduración/almacenamiento en el epidídimo. Se observó que la concentración, recuento, morfología y recuento de espermatozoides normales eran menores en el grupo expuesto en casi todas las etapas, lo que sugiere que las OC afectan negativamente los parámetros seminales en diversas fases del desarrollo espermático (17).

Además, se estudió el impacto de las condiciones extremas de OC sobre la calidad seminal, encontrándose que los hombres expuestos a las olas de calor más prolongadas (2013 y 2023) mostraron menores volúmenes de semen, concentración de espermatozoides, recuento total y morfología, comparados con los del grupo no expuesto. La exposición durante estas condiciones extremas produjo una disminución significativamente mayor en los espermatozoides móviles, confirmando los efectos adversos de las OC en la calidad seminal. La relación entre las OC y la calidad seminal también fue evaluada en función de la edad, encontrando que los hombres menores de 40 años mostraron una menor

concentración y recuento de espermatozoides móviles en el grupo expuesto. Además, aquellos mayores de 40 años también presentaron menor vitalidad y motilidad de los espermatozoides, lo que sugiere que las OC tienen efectos negativos en todas las edades. Estos resultados refuerzan la idea de que las OC afectan negativamente la calidad seminal independientemente de la edad (17).

La duración de las OC mostró una asociación negativa con varios parámetros seminales, como el volumen del semen, concentración, recuento y motilidad de los espermatozoides. Se observó que el impacto adverso en la calidad seminal era más pronunciado cuando las temperaturas superaban los 30°C. Esto coincide con estudios previos que indicaron que la exposición prolongada a temperaturas elevadas afecta negativamente la calidad del semen, mientras que exposiciones breves, como las de los deportistas, no tienen efectos perjudiciales. Finalmente, se evaluó el impacto de una exposición prolongada a las OC (más de 6 días consecutivos) durante el desarrollo espermático. Los resultados mostraron una correlación negativa significativa entre la exposición temprana durante la espermatogénesis y los parámetros seminales, como el volumen del semen y la motilidad espermática. Este hallazgo sugiere que las alteraciones en la termorregulación testicular debido a las altas temperaturas pueden inducir apoptosis celular y daño en el ADN, afectando negativamente la espermatogénesis (17).

Resumiendo, los trabajos que involucran exposición a sustancias químicas, radiaciones y altas temperaturas, como los de soldadores, mecánicos o agricultores, presentan riesgos significativos para la salud reproductiva masculina, incluidas alteraciones en la calidad espermática y la fertilidad. Así mismo, el aumento de la temperatura escrotal debido al uso de ropa ajustada, la práctica de deportes como el

ciclismo y el uso de dispositivos electrónicos como computadoras portátiles puede afectar la espermatogénesis. Las olas de calor tienen un impacto negativo en la calidad seminal de los hombres, afectando parámetros como la concentración, recuento, morfología, motilidad y vitalidad de los espermatozoides, siendo el impacto más pronunciado en exposiciones prolongadas y cuando las temperaturas superan los 30°C. Los hombres expuestos independientemente de su edad, mostraron una disminución en la calidad del semen, y aquellos menores de 40 años fueron particularmente afectados en términos de concentración y recuento de espermatozoides móviles (17).

## **2.5 Salud reproductiva femenina frente a diversos condicionantes:**

### **Durante la edad fértil**

Es importante notar que la exposición a plaguicidas resulta uno de los más importantes al hablar sobre la salud reproductiva femenina y la exposición laboral frente a diversos condicionantes. Por ello, diversos estudios, como el de Dahiri B (2018), analizaron parámetros bioquímicos, donde se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos de estudio analizados en valores como la glucosa, la urea y la creatinina, siendo estos dos últimos indicadores de posible daño renal. No obstante, a pesar de estas diferencias, los valores promedio en ambos grupos se mantuvieron dentro de los límites considerados normales, lo cual impide afirmar con certeza que dichas variaciones estén relacionadas con la exposición a plaguicidas o con las condiciones del entorno laboral (21).

Por otro lado, sí se detectaron diferencias significativas en los niveles de peróxidos lipídicos, los cuales fueron más altos en las trabajadoras agrícolas en

comparación con las empleadas de fábrica. Esta diferencia podría atribuirse a la exposición directa a plaguicidas durante la jornada laboral, no solo a través de los residuos presentes en frutas y verduras, sino también por la aplicación activa de estos productos en campos cercanos. Por ello, se considera que los peróxidos lipídicos podrían actuar como un biomarcador inespecífico de exposición a diversos plaguicidas, y se sugiere su inclusión en los protocolos de vigilancia sanitaria como posible indicador de exposición laboral. La ausencia de disminución en la actividad de las colinesterasas sugiere que la población evaluada no está expuesta a concentraciones tóxicas de plaguicidas organofosforados o carbamatos. Asimismo, no se evidenció daño hepático o renal, ni alteraciones en los niveles de hormonas tiroideas o gonadotrópicas. En cuanto a los metales detectados en sangre, sus niveles se encontraron dentro de los rangos habituales, siendo atribuibles en su mayoría a la dieta o a la contaminación ambiental (21).

Así mismo, la revisión bibliográfica realizada por Conesa V (2016) revela una relación significativa entre el trabajo por turnos y la salud reproductiva de las mujeres trabajadoras, lo que destaca la actividad laboral como un factor determinante en la aparición de complicaciones durante el embarazo. De los 14 estudios analizados, 11 mostraron evidencia concluyente que vincula el trabajo en turnos con distintos efectos adversos sobre la salud reproductiva, mientras que 3 estudios no ofrecieron resultados definitivos, lo cual sugiere que aún existe cierta controversia en la literatura científica. Entre las alteraciones más frecuentes identificadas en los estudios se encuentran: Parto pretérmino, trastornos en el ciclo menstrual, complicaciones durante el embarazo, bajo peso al nacer, mayor riesgo de desarrollar cáncer de mama (24).

Estos hallazgos refuerzan la necesidad de reconocer e intervenir sobre los riesgos laborales que pueden afectar la salud reproductiva de las mujeres, incluso antes de que una trabajadora quede embarazada. La anticipación en la identificación y prevención de estos riesgos es crucial para garantizar que el embarazo transcurra en un ambiente laboral seguro y saludable, tanto para la madre como para el futuro hijo. Además, el documento señala la urgencia de implementar programas de evaluación que analicen el impacto del trabajo por turnos en los diferentes contextos laborales donde las mujeres están activamente involucradas. Estos programas deben enfocarse no solo en la prevención de riesgos, sino también en la promoción del bienestar general de las trabajadoras, reconociendo su creciente participación en entornos laborales diversos y demandantes (24).

Sintetizando, la revisión de estudios también muestra que el trabajo en turnos rotativos o nocturnos puede influir negativamente en la salud reproductiva de las mujeres. Se han encontrado asociaciones con alteraciones en el ciclo menstrual, complicaciones del embarazo y mayor probabilidad de parto pretérmino o bajo peso neonatal, además de un posible incremento en el riesgo de cáncer de mama. Esto demuestra la importancia de analizar no solo el tipo de exposición química, sino también las condiciones laborales estructurales. La evidencia científica revisada confirma que diversos factores laborales (exposición a plaguicidas, trabajo por turnos y contacto con disolventes orgánicos) pueden comprometer seriamente la salud reproductiva de la mujer en edad fértil. Aunque algunos parámetros bioquímicos analizados se mantuvieron dentro de rangos normales, ciertas alteraciones, como el incremento de peróxidos lipídicos, sugieren

un daño celular derivado de la exposición continua a agentes tóxicos, lo que justifica su uso como biomarcadores en programas de vigilancia sanitaria (21,24).

### **Durante el embarazo**

En la revisión de los artículos analizados sobre exposición laboral en mujeres embarazadas, se indentificó que la exposición más frecuente observada fue a disolventes orgánicos, presentes en 25 de los 35 estudios revisados. Estos compuestos se utilizan ampliamente en diversos sectores laborales como la construcción, serigrafía, laboratorios y peluquería. Los disolventes más comunes fueron benceno, tolueno, xileno, acetona y alcoholes alifáticos y aromáticos. Debido a su alta volatilidad, la inhalación constituye la principal vía de exposición en el entorno laboral. Además, muchos productos como pesticidas, barnices, tintes, detergentes y cosméticos también los contienen, lo que incrementa el riesgo de exposición (20).

Además de los disolventes, se identificaron otras exposiciones como gases anestésicos, pesticidas y herbicidas, metales como plomo, mercurio y níquel, combustibles, pinturas, tintes, propelentes, detergentes, productos cosméticos, medicamentos citostáticos y radiaciones. En algunos casos, no se especificaron las sustancias químicas concretas. Una limitación importante en la mayoría de los estudios fue la falta de control de factores de confusión (como sexo, antigüedad laboral o tipo de contrato) y la poca claridad sobre las interacciones entre distintas sustancias químicas (20).

El efecto más documentado derivado de estas exposiciones fue la presencia de anomalías congénitas, reportadas en 22 artículos. Las malformaciones más

frecuentes fueron las hendiduras oro-faciales (labio leporino y paladar hendido), defectos del tubo neural, malformaciones del tracto urinario, genitales masculinos, tubo digestivo y anomalías cardíacas conotruncuales. Trece estudios encontraron asociaciones significativas entre la exposición y las malformaciones, mientras que nueve no hallaron una relación clara. El segundo efecto más frecuente fue el aborto espontáneo, reportado en 14 artículos, de los cuales ocho identificaron un riesgo aumentado y seis no encontraron asociación. Otros efectos descritos fueron parto pretérmino, bajo peso al nacer, muerte perinatal e hipertensión inducida por el embarazo, aunque con resultados mixtos en cuanto a su asociación con la exposición (20).

Los hallazgos respaldan la hipótesis de que la exposición a sustancias químicas peligrosas durante el embarazo puede generar daños significativos en la salud materno-fetal. Se destaca especialmente el papel de los disolventes orgánicos, cuya relación con efectos teratogénicos ha sido señalada por varios estudios. También se señala que, en sociedades desarrolladas, los contaminantes químicos podrían estar desplazando a los microbios como principales factores de riesgo para la salud pública, lo que estaría modificando el patrón epidemiológico de las enfermedades. Frente a esta situación, se propone mejorar la prevención mediante la creación de criterios homogéneos para valorar el riesgo durante el embarazo, en función del tipo de exposición y la etapa gestacional. También se enfatiza la necesidad de mejorar la información proporcionada por los servicios de prevención a mujeres embarazadas o en edad fértil. Una medida preventiva efectiva sería el uso adecuado de la licencia preventiva, así como la evaluación y adaptación del puesto de trabajo cuando sea necesario (20).

La exposición prolongada al plomo puede provocar efectos negativos en los sistemas reproductivos tanto femeninos como masculinos. En mujeres, la exposición laboral al plomo antes o durante el embarazo se ha vinculado con abortos espontáneos, muerte fetal, partos prematuros y bajo peso al nacer. Así mismo, el plomo puede comprometer la integridad del ADN, dando lugar a efectos genotóxicos. Además, puede interferir en procesos celulares como la inhibición de la bomba Na-K-ATPasa, el aumento del calcio dentro de la célula y una mayor permeabilidad celular, así como alterar la síntesis de ADN, ARN y proteínas (19).

En un estudio de Gomez M (2016), participaron 210 mujeres embarazadas, con edades entre 15 y 42 años (edad promedio de 22.5 años, IC95%: 21-24). La mayoría tenía un bajo nivel educativo: el 77.6% alcanzó como máximo la secundaria, el 19.5% la preparatoria, y solo el 2.9% contaba con estudios universitarios. En cuanto al lugar de residencia, el 60.5% vivía en zonas urbanas y el 39.5% en zonas rurales del municipio. El ingreso económico promedio mensual fue de 4,000 pesos mexicanos (IC95%: 3,600-4,000), superior al salario mínimo vigente en 2016. La edad gestacional promedio fue de 31.8 semanas ( $\pm 9.8$ ). El 39.5% de las participantes eran primigestas, mientras que el 61.5% ya había tenido embarazos previos, siendo lo más frecuente haber tenido 2 o 3 gestaciones (22).

Según la Hoja Verde de Salud Ambiental Reproductiva, el 66.1% de las mujeres embarazadas estuvieron expuestas a plaguicidas. Sin embargo, al comparar a las expuestas con las no expuestas, no se encontraron diferencias significativas en edad, semanas de gestación, número de embarazos, ingresos económicos ni nivel educativo. Un aspecto llamativo del estudio fue que la exposición a plaguicidas ocurrió principalmente en el hogar, incluso en zonas urbanas, lo cual contrasta con

estudios como el de Silva et al. en Chile, donde se observó una exposición más común en áreas rurales, tanto por motivos laborales como residenciales. Esto evidencia que el uso de plaguicidas domésticos también representa un riesgo importante si no se emplean con medidas de seguridad adecuadas. Asimismo, el nivel educativo no mostró relación directa con el uso de plaguicidas, lo que subraya la necesidad de educar a todas las mujeres embarazadas sobre los riesgos de estas sustancias, sin importar su formación académica (22).

Finalmente, en el estudio de Gonzáles K (2022), como parte de un proyecto orientado a mejorar las condiciones laborales de mujeres gestantes, se realizaron distintas acciones de validación y retroalimentación de una propuesta de servicio que incluye mobiliario ergonómico y capacitación integral. El estudio comenzó con dos grupos focales (focus groups), cada uno con tres mujeres embarazadas que trabajan en centros privados. En estos encuentros se presentó un modelo 3D de la propuesta, incluyendo las funcionalidades del servicio y cómo podría implementarse en cada empresa. Las participantes coincidieron, en un 80%, en que los riesgos físicos y ergonómicos eran los que más las afectaban en su entorno laboral. Además, el 100% expresó que el mobiliario propuesto era compatible con sus espacios de trabajo, aunque señalaron algunas modificaciones necesarias. Aportaron sugerencias prácticas sobre medidas, materiales y adaptaciones necesarias desde su experiencia directa (23).

También se destacó un problema estructural: muchas gestantes desconocen sus derechos laborales, no saben cómo actuar ante situaciones de discriminación o rechazo, y carecen de herramientas para desenvolverse adecuadamente en sus áreas de trabajo. Estos aspectos subrayaron la importancia de que la propuesta no se limite

a la gestante, sino que involucre a todo el equipo laboral, promoviendo una cultura de inclusión y protección. Posteriormente, se llevó a cabo un segundo focus group con cuatro jefes de distintas áreas laborales, con el objetivo de presentar el servicio desde una perspectiva empresarial. Tres de los cuatro directivos expresaron interés en la propuesta y afirmaron que estarían dispuestos a invertir en su implementación. El cuarto, aunque no comprometido con la adopción inmediata, ofreció retroalimentación útil para mejorar la presentación y el enfoque comercial del proyecto. Además, se aplicó una encuesta a 10 madres con experiencia laboral durante su embarazo, con el fin de recoger opiniones específicas sobre el mobiliario. El 90% dio respuestas positivas, y las observaciones recibidas permitieron realizar ajustes y mejoras a la propuesta inicial (23).

Resumiendo, las gestantes representan una población altamente vulnerable frente a riesgos laborales. Estudios muestran que sustancias como disolventes, metales pesados (como plomo), pesticidas y otros químicos pueden aumentar el riesgo de malformaciones congénitas, aborto espontáneo, parto pretérmino y bajo peso al nacer. Sin embargo, muchas investigaciones adolecen de falta de control de variables confusoras, lo cual limita la interpretación de algunos resultados. Aun así, la tendencia general apunta a que la exposición a químicos en el entorno laboral debe ser considerada un factor de alto riesgo obstétrico (19).

## **2.6 Salud reproductiva femenina frente al estrés térmico por calor:**

El cambio climático es considerado una de las mayores amenazas para la salud humana a nivel global, debido a que no solo afecta el medio ambiente, sino también a la economía, la biología y la sociedad. El concepto de cambio climático se

remonta a principios del siglo XIX, cuando Svante Arrhenius propuso que la actividad humana podría calentar la atmósfera añadiendo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), el cambio climático implica una alteración de la composición atmosférica que va más allá de las variaciones naturales del clima (18).

El cambio climático no discrimina y afecta a todos, aunque algunas poblaciones son más vulnerables debido a diversos factores. La vulnerabilidad se refiere al equilibrio entre los factores que hacen a un grupo susceptible y los factores que pueden aumentar su resiliencia frente al estrés ambiental. Entre los grupos más vulnerables se encuentran los niños menores de cinco años, los ancianos mayores de 65, personas con enfermedades específicas, y las mujeres embarazadas. En cuanto a las mujeres gestantes, algunos estudios han señalado que son especialmente vulnerables al estrés por calor debido a las alteraciones físicas y metabólicas del embarazo, lo que afecta su capacidad para mantener el equilibrio térmico entre su cuerpo y el ambiente. De hecho, algunas investigaciones sugieren una posible asociación entre el cambio climático, el parto prematuro y el bajo peso al nacer, aunque aún se requiere más investigación (18).

Frente a este panorama, las intervenciones deben ser inmediatas y enfocadas en mejorar la salud de las poblaciones más vulnerables, particularmente en el sector sanitario. Organizaciones internacionales de enfermería, como el Consejo Internacional de Enfermería y Sigma Theta Tau International, han subrayado la importancia de desarrollar prácticas sostenibles que contribuyan a mitigar los efectos del cambio climático. La disciplina enfermera debe avanzar en el desarrollo de conocimientos, habilidades y actitudes relacionadas con la sostenibilidad, lo que

permitirá a los profesionales de la salud contribuir significativamente a reducir los impactos del cambio climático en las poblaciones vulnerables (18).

El objetivo de la revisión que se presenta en el texto es identificar los efectos del cambio climático en el embarazo y, con base en estos, establecer planes de cuidado que tomen en cuenta este importante determinante de salud. Diversos estudios revisados en este trabajo respaldan la idea de que las altas temperaturas ambientales están asociadas con un aumento en los partos prematuros. Según una revisión realizada por Carolan-Olah y Frankowska, la relación entre la temperatura ambiental elevada y los partos prematuros es clara, ya que el aumento de la temperatura corporal materna y el estrés térmico están estrechamente relacionados con el inicio prematuro del trabajo de parto. Por su parte, la revisión de Poursafa et al. encontró una correlación entre las temperaturas extremas y varios problemas durante el embarazo, tales como la eclampsia, la preeclampsia, el bajo peso al nacer, y la hipertensión, entre otros. Curiosamente, se observó que el aumento de la temperatura se asoció con un incremento de los partos prematuros, mientras que, en los meses fríos, se relacionó con una disminución en el peso al nacer (18).

Las revisiones sistemáticas coinciden en que las temperaturas extremas, tanto altas como bajas, tienen efectos negativos sobre el embarazo y el bebé. El calor, por ejemplo, está asociado con un mayor riesgo de parto prematuro y una disminución del peso al nacer. En cuanto a la mortalidad fetal intrauterina, los estudios de Kuehn y McCormick sugieren que las altas temperaturas también están relacionadas con este aumento, aunque se necesita más investigación para confirmarlo. Un factor adicional que afecta negativamente a las mujeres embarazadas es el estrés térmico, que se produce debido a la incapacidad de la mujer para regular su temperatura

corporal de manera eficiente en condiciones de calor extremo. Este estrés térmico puede inducir al parto prematuro, ya que se cree que puede alterar la termorregulación y aumentar la secreción de oxitocina y prostaglandinas, sustancias involucradas en las contracciones uterinas (18).

Otro estudio realizado por Kuehn y McCormick también halló un vínculo entre las temperaturas extremas y un aumento de los partos prematuros, así como una reducción en el peso al nacer y un incremento de la mortalidad fetal intrauterina. Aunque estos resultados son alarmantes, la investigación en este ámbito aún es insuficiente y requiere más estudios. La deshidratación también juega un papel importante en los problemas durante el embarazo. La exposición al calor aumenta la pérdida de líquidos, lo que afecta la producción de líquido amniótico y la circulación de nutrientes esenciales para el desarrollo fetal. Además, aunque la relación entre la contaminación del aire y el parto prematuro aún necesita más investigación, algunos estudios sugieren que la exposición a contaminantes del aire podría aumentar el riesgo de partos prematuros (18).

En síntesis, el cambio climático es una amenaza para la salud humana en general, y especialmente para las mujeres embarazadas. El estrés térmico provocado por el aumento de temperaturas podría aumentar los casos de parto prematuro y disminuir el peso al nacer. Aunque algunos estudios sugieren que las temperaturas extremas y la exposición a contaminantes del aire están vinculados con complicaciones en el embarazo, la investigación sobre estos temas aún es limitada y necesita más estudios (18).

## **2.7 Interacción del estrés térmico con otros factores:**

- **Ruido:**

La exposición laboral prolongada a niveles  $\geq 85$  dB (8 h) puede desencadenar una reacción de estrés materno, asociada con infertilidad, abortos espontáneos o bajo peso al nacer. Cuando se combina con calor, los efectos son superpuestos (41).

- **Trabajo por turnos / rotación / turnicidad:**

El trabajo nocturno o rotatorio altera el ritmo circadiano y la secreción de melatonina, afectando el eje hormonal reproductivo, incrementando riesgos de ciclos menstruales irregulares, infertilidad, abortos espontáneos y partos prematuros (42).

- **Carga mental / fatiga:**

La exigencia cognitiva intensa aumenta demanda metabólica y estrés psicológico, elevando la temperatura corporal y dificultando la termorregulación. Además se incrementan errores, fatiga y riesgo de incidentes relacionados con calor.

En mujeres trabajadoras, especialmente embarazadas, la combinación simultánea de calor, ruido, turnos y estrés mental puede actuar como un multiplicador del riesgo reproductivo frente al calor ambiental por sí solo (38).

## **2.8 Poblaciones trabajadoras específicas del Perú:**

En Perú, los estudios enfocándose en salud reproductiva y estrés térmico son escasos, pero existen investigaciones sobre exposición térmica en sectores como la agroindustria:

Un estudio reciente en trabajadores de caña de azúcar en el norte peruano reportó que los cortadores de caña (trabajo físico intenso al sol) presentaron signos frecuentes de deshidratación, calambres y extenuación, así como menor función renal (FGe menor), lo que refleja exposición prolongada a calor laboral intenso. Estos hallazgos indican condiciones térmicas severas en campo que alcanzarían WBGT superiores a 27 °C (43).

Además, la agroexportación intensiva en regiones costeras como La Libertad ha sido foco de proyectos de salud ocupacional de OIT y Canadá, pero aún no integra indicadores reproductivos específicos (44). En el sector minero, aunque no hay datos directos de temperaturas, sí se reconocen múltiples factores de riesgo reproductivo (calor, ruido, vibración, turnicidad) según revisión de riesgos laborales en minería peruana (45).

En definitiva, aunque no se han publicado estudios peruanos sobre reproducción versus calor laboral, los datos sobre daño renal, deshidratación y carga térmica en agroindustria sugieren un contexto en el que la exposición térmica podría afectar indirectamente la salud reproductiva.

Luego de todo lo revisado, se presenta en la siguiente tabla un resumen sobre la exposición laboral general y sus efectos en la salud reproductiva humana (15-24):

<b>Categoría</b>	<b>Grupo Afectado</b>	<b>Tipo de Exposición</b>	<b>Efectos sobre la Salud Reproductiva</b>	<b>Observaciones/Estudios Relevantes</b>
Estrés térmico por calor	Hombres	Temperaturas >30°C en ocupaciones como	Disminución en concentración, recuento y	Verón G (2005–2023): impacto negativo de olas de calor en

		soldadores, panaderos, conductores, ciclistas, uso de laptops en regazo	morfología espermática Aumento de apoptosis celular y daño en ADN espermático Disminución en volumen seminal y movilidad espermática	espermatogénesis en todas sus fases
Sustancias químicas y calor	Hombres	Plaguicidas, metales pesados, disolventes, CEM, radiaciones	Alteración hormonal y genética Fragmentación de ADN espermático Infertilidad, aborto espontáneo, malformaciones congénitas	Efectos epigenéticos; mayor riesgo en ocupaciones como mecánicos, pintores, soldadores
Trabajo por turnos/nocturno	Mujeres en edad fértil	Cambios en ritmo circadiano y hormonal	Alteraciones menstruales Complicaciones en embarazo Parto pretérmino, bajo peso neonatal Riesgo aumentado de cáncer de mama	Conesa V (2016): revisión de 14 estudios; 11 mostraron asociación clara
Plaguicidas agrícolas	Mujeres en edad fértil	Contacto ocupacional y ambiental	Aumento de peróxidos lipídicos Riesgo de daño celular Sin daño hepático/renal evidente	Dahiri B (2018): diferencia bioquímica entre trabajadoras agrícolas y de fábrica

Disolventes orgánicos	Mujeres embarazadas	Tolueno, xileno, benceno, acetona, etc.	Malformaciones congénitas (labio leporino, defectos cardíacos) Aborto espontáneo Bajo peso al nacer	Presente en 25 de 35 estudios revisados; efecto teratogénico potencialmente alto
Metales pesados (plomo)	Mujeres embarazadas y hombres	Ocupacional y doméstico	Abortos espontáneos, muerte fetal Alteración en producción de esperma Daño en ADN y síntesis proteica	Genotoxicidad comprobada; efectos celulares múltiples
Calor ambiental por cambio climático	Mujeres embarazadas	Estrés térmico por altas temperaturas	Parto pretérmino Bajo peso al nacer Aumento de secreción de oxitocina y prostaglandinas Mortalidad fetal intrauterina	Estudios de Carolan-Olah, Frankowska, Poursafa, Kuehn y McCormick
Condiciones laborales generales (ergonomía)	Mujeres embarazadas	Posturas, cargas físicas, desconocimiento de derechos	Afectación física y emocional Riesgo estructural por falta de adecuación del entorno	González K (2022): Propuesta de mobiliario ergonómico validada por gestantes y directivos

Finalmente, se presenta a modo a resumen una tabla enfocada en la exposición laboral por estrés térmico por calor y sus efectos en la salud reproductiva humana (15-24):

<b>Grupo Afectado</b>	<b>Fuente de Estrés Térmico</b>	<b>Mecanismo de Afectación</b>	<b>Efectos sobre la Salud Reproductiva</b>	<b>Referencias Relevantes</b>
Hombres	Olas de calor (>30°C), exposición laboral (soldadores, panaderos, conductores), laptops sobre regazo	Aumento de la temperatura escrotal Alteración en espermatogénesis Apoptosis celular	Disminución en volumen, concentración, morfología y movilidad espermática Daño en ADN espermático Infertilidad	Verón G (2005–2023)
Hombres	Uso prolongado de ropa ajustada, ciclismo, dispositivos electrónicos portátiles	Incremento sostenido de temperatura testicular	Reducción en recuento espermático Alteración en maduración del esperma	Estudios de revisión ambiental y laboral
Mujeres embarazadas	Calor ambiental extremo por cambio climático Ambientes laborales calurosos	Termorregulación alterada Aumento de oxitocina y prostaglandinas	Parto prematuro Bajo peso al nacer Mayor riesgo de mortalidad fetal intrauterina	Carolan-Olah y Frankowska ; Kuehn y McCormick
Mujeres embarazadas	Deshidratación por calor extremo	Reducción de líquido amniótico y nutrientes	Complicaciones en el desarrollo fetal Riesgo obstétrico aumentado	Poursafa et al.
General	Ambientes laborales con temperaturas elevadas (hornos, cocinas, invernaderos)	Exposición continua a calor sin medidas preventivas	Riesgos en fertilidad y salud fetal (dependiente del sexo y etapa de vida)	OMS, UNEP, IPCC

## CAPÍTULO III

### ACCIONES PREVENTIVO PROMOCIONALES

La exposición prolongada a altas temperaturas en entornos laborales puede generar un riesgo significativo de estrés térmico, una condición que, además de provocar agotamiento, deshidratación e insolación, también ha sido relacionada con alteraciones en la salud reproductiva, especialmente en trabajadores que desarrollan sus actividades en ambientes calurosos de manera constante. Como hemos visto, diversos estudios han señalado que el calor excesivo puede influir negativamente en la función hormonal, la calidad espermática y, en general, en el equilibrio fisiológico del sistema reproductor. Frente a este escenario, las acciones preventivo-promocionales resultan fundamentales ya que el objetivo es generar entornos laborales más seguros y saludables, donde se proteja tanto la capacidad productiva como el bienestar reproductivo de los empleados (25).

Por ejemplo, el artículo de Briones J, aborda una serie de acciones preventivo-promocionales implementadas para reducir los riesgos físicos por exposición a temperaturas extremas en una empresa de producción del cantón Montecristi, Ecuador. La iniciativa parte del reconocimiento de los efectos nocivos que genera la exposición prolongada al calor o al frío, tales como insolación, golpe de calor, deshidratación e hipotermia, y plantea soluciones a partir del diagnóstico técnico y la intervención organizacional. En la fase de diagnóstico, se utilizó instrumentación especializada para medir temperatura, humedad y estrés térmico. El Mastech MS6508 se empleó para registrar la temperatura ambiental y la humedad relativa en distintos puntos de la empresa, mientras que el medidor WBGT (Wet Bulb Globe

Temperature) permitió calcular el índice de estrés térmico. Estas mediciones identificaron zonas críticas, como áreas de producción y mantenimiento, donde los trabajadores están expuestos directa o indirectamente a condiciones de temperatura desfavorables (25).

A partir del análisis de datos, se propusieron múltiples acciones preventivas de carácter técnico y organizacional. Una de las primeras medidas fue la mejora de la ventilación en las áreas de mayor acumulación de calor, con el fin de reducir la temperatura ambiente. También se recomendó la instalación de sistemas de climatización o ventilación mecánica, cuando fuera viable, y la reorganización del espacio de trabajo para minimizar la exposición directa a fuentes de calor. Desde el punto de vista organizativo, se establecieron ajustes en los horarios laborales, priorizando actividades intensas en los momentos del día con temperaturas más moderadas. Igualmente, se promovió la implementación de pausas regulares y el acceso a zonas de descanso frescas, así como el suministro constante de agua potable para mantener una adecuada hidratación. Otra acción preventiva esencial fue la dotación de Equipos de Protección Personal (EPP) adaptados a los riesgos térmicos. Estos incluyen prendas de manga larga, guantes, gafas, botas, y en algunos casos, mascarillas. Se estableció la obligación de su uso y se supervisó su correcta aplicación en los turnos de trabajo, especialmente en producción y mantenimiento (25).

Las acciones de tipo promocional se centraron en el fortalecimiento de la educación y sensibilización del personal. Se realizaron capacitaciones sobre los riesgos del estrés térmico, identificación de síntomas, y medidas de actuación en casos de emergencia. Se desarrollaron también sesiones informativas sobre el

correcto uso de los EPP y la lectura de las Fichas de Datos de Seguridad. Adicionalmente, se diseñaron protocolos de actuación ante emergencias relacionadas con el calor, incluyendo la atención inmediata de síntomas y la derivación médica en casos graves. Estas acciones se integraron dentro de un plan estructurado de seguridad laboral, con el fin de reducir accidentes y enfermedades relacionadas con el clima. La empresa también trabajó en fomentar una cultura preventiva, promoviendo la comunicación abierta entre empleados y supervisores, para facilitar la detección temprana de riesgos y garantizar una respuesta eficaz. Se reforzó el compromiso de la gerencia con la seguridad mediante el seguimiento continuo de estas acciones y el involucramiento en procesos de mejora (25).

Por otro lado, el trabajo de Alonzo F, expone una serie de medidas diseñadas para prevenir y mitigar los riesgos asociados al estrés térmico por calor en trabajadores que laboran, principalmente, en exteriores bajo condiciones ambientales exigentes. Estas acciones están fundamentadas en diagnósticos técnicos, evaluación del entorno de trabajo y observación de síntomas en los trabajadores, y están organizadas en diferentes niveles de intervención: técnicos, organizativos, administrativos y educativos. Entre las acciones preventivas más destacadas está el control del estrés térmico mediante controles de ingeniería y administrativos. En cuanto a los controles de ingeniería, se incluyen medidas como la provisión de zonas de sombra, ventilación adecuada, aislamiento de fuentes de calor y el uso de equipos con temperatura controlada. En lo administrativo, se implementan ajustes de horarios laborales, priorizando las actividades físicas intensas en horas con menor carga térmica, así como la rotación de tareas y pausas frecuentes para descanso e hidratación. Se promueve además el uso correcto de

equipo de protección personal (EPP) diseñado para minimizar el impacto del calor, como ropa resistente al calor radiante, prendas de color claro, materiales ligeros y transpirables. También se consideran gafas, guantes dieléctricos, mangas largas y calzado adecuado. Se plantea como fundamental que el EPP no interfiera con los mecanismos de regulación térmica del cuerpo humano, como la sudoración (26).

Desde el enfoque promocional, se enfatiza la capacitación del personal sobre el reconocimiento temprano de signos y síntomas del estrés térmico (como taquicardia, mareos, sudoración excesiva y pérdida de la conciencia). Se incluyen sesiones de formación para la identificación de los factores de riesgo, estrategias de prevención y aplicación de primeros auxilios. El objetivo es empoderar a los trabajadores para que sean capaces de actuar ante posibles emergencias y, al mismo tiempo, prevenir la ocurrencia de complicaciones derivadas de la exposición prolongada al calor. Se implementan evaluaciones periódicas del ambiente térmico laboral, utilizando índices como el WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) para cuantificar el nivel de riesgo térmico. Los resultados de estas mediciones permiten establecer umbrales de exposición seguros según el tipo de actividad física realizada y la vestimenta utilizada, y ajustar las medidas preventivas de forma dinámica (26).

En cuanto al seguimiento, se desarrollan auditorías internas, bitácoras de incidentes térmicos, y se elaboran reportes de evaluación de riesgos para cada unidad de trabajo, lo que permite identificar áreas críticas y tomar decisiones informadas. Se sugiere también la integración de estas medidas dentro de un sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional, que garantice su sostenibilidad a largo plazo. Finalmente, se destaca la importancia del compromiso institucional,

reflejado en la asignación de recursos, monitoreo continuo y promoción de una cultura de seguridad centrada en el bienestar térmico de los trabajadores (26).

El trabajo de Chica G, identifica diversas acciones preventivo-promocionales para enfrentar el riesgo de estrés térmico en trabajadores de la Planta de Utilidades de la Refinería de Esmeraldas, especialmente aquellos que operan en áreas con altas temperaturas como calderas, turbogeneradores y zonas de adición de químicos. Estas medidas están estructuradas en tres niveles: intervención en la fuente, en el medio de transmisión y en el receptor. En cuanto al control en la fuente, se implementaron medidas de repotenciación de equipos que generan calor para reducir la emisión térmica. Se consideraron modificaciones en los procesos y estructuras físicas, como el aislamiento térmico de superficies calientes y rediseño de sistemas de ventilación industrial. Estas acciones buscan disminuir directamente el calor producido en el entorno de trabajo (27).

Para el medio de transmisión, se instaló una cabina de aclimatación térmica, donde los trabajadores pueden ajustar su temperatura corporal gradualmente antes y después de exponerse a ambientes calurosos. Esta medida es crucial para reducir el impacto fisiológico de los cambios bruscos de temperatura. También se establecieron puntos estratégicos de hidratación distribuidos en distintas zonas de la planta, asegurando el acceso permanente a agua potable para prevenir la deshidratación. En el nivel del receptor (trabajador), se diseñaron estrategias dirigidas al fortalecimiento del conocimiento y la autorregulación. Se implementó un régimen trabajo-descanso ajustado al tipo de labor y al índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature), con descansos programados en ambientes controlados, permitiendo a los operarios reducir la acumulación de calor corporal. Además, se

estableció un protocolo de medición de densidad urinaria, utilizado como indicador de hidratación, mediante el cual se monitoriza de forma continua el estado fisiológico de los trabajadores expuestos. Estas evaluaciones mostraron una disminución de la densidad urinaria desde valores de 1.025 g/L hasta niveles normales de 1.017 g/L luego de las intervenciones (27).

En cuanto a la capacitación y promoción, se realizaron campañas de concientización sobre los riesgos del estrés térmico, mecanismos de termorregulación y signos de alerta. Se ofrecieron talleres para el personal sobre el correcto uso de los equipos de protección personal (EPP), la importancia de una adecuada hidratación, y la forma de actuar ante emergencias derivadas del calor. Se aplicaron encuestas de conocimiento antes y después de las capacitaciones para medir el impacto formativo, y se integraron estos contenidos al plan de formación continua. El proyecto también contempló la evaluación de la eficacia de las medidas implementadas, mediante el monitoreo de los niveles de WBGT en distintas áreas operativas, los resultados de las pruebas de densidad urinaria y el seguimiento de incidentes relacionados con el calor. Estas acciones preventivo-promocionales permitieron una intervención integral basada en evidencias y con enfoque en la salud ocupacional (27).

El artículo de Hidalgo L y Angulo R, presenta una serie de medidas preventivas y de control para mitigar el estrés térmico en los trabajadores de la planta asfáltica ECODEP, ubicada en la provincia de Esmeraldas, Ecuador. El estrés térmico es identificado como un riesgo significativo debido a las altas temperaturas a las que están expuestos los empleados en su entorno de trabajo, lo que puede afectar su salud y desempeño laboral. Primero, se destaca la importancia de identificar los

peligros asociados al calor y los riesgos relacionados con la exposición a altas temperaturas. A través de un diagnóstico de la situación, se identificaron múltiples peligros como accidentes laborales por desconcentración, quemaduras por la falta de equipos de protección personal (EPP), deshidratación, insolación, problemas renales, daños oculares, e incluso la posibilidad de muerte en situaciones graves debido al desconocimiento de primeros auxilios (28).

Para abordar estos peligros, se implementaron diversas acciones preventivas. Una de las principales estrategias fue la capacitación de los trabajadores en la identificación de riesgos térmicos, el uso adecuado de los EPP, y la importancia de una hidratación constante. Se establecieron pautas para que los empleados realicen pausas activas en intervalos regulares, especialmente cuando la exposición al calor es intensa, y se promovió la importancia de evitar cambios bruscos de temperatura. Además, se implementaron puntos de hidratación dentro de la planta, asegurando que los trabajadores tengan acceso continuo a agua potable, algo crucial para prevenir la deshidratación, uno de los principales riesgos asociados con el estrés térmico. El artículo también sugiere la modificación de los horarios de trabajo, ajustando las tareas más exigentes a momentos del día con temperaturas más bajas, y estableciendo descansos programados para permitir que los trabajadores se aclimaten y recuperen de la exposición al calor (28).

Se utilizó el método INSHT para evaluar los riesgos laborales, lo que permitió identificar con precisión los niveles de exposición térmica y las probabilidades de que los peligros se materializaran. Las mediciones de temperatura realizadas en diferentes áreas de la planta confirmaron que los empleados estaban expuestos a temperaturas que superan los límites recomendados para la seguridad laboral, lo

que hizo que las medidas preventivas se volvieran aún más urgentes. Se estableció un sistema de monitoreo continuo, que incluye la medición periódica de la temperatura en diversas zonas críticas y la evaluación del índice de estrés térmico (WBGT). Además, se sugirieron mejoras en la infraestructura de la planta, como la implementación de sistemas de ventilación adecuados para reducir la acumulación de calor y la instalación de áreas de descanso con temperatura controlada. Las acciones promocionales incluyen la concienciación sobre la importancia del autocuidado, la integración de prácticas de bienestar y la creación de un ambiente de trabajo en el que la seguridad térmica sea una prioridad. También se propuso un plan de emergencias para gestionar posibles incidentes relacionados con el estrés térmico, como insolaciones o golpes de calor, lo cual es vital para prevenir consecuencias graves para la salud de los trabajadores (28).

Así mismo, en la tesis de Saavedra F, se proponen varias acciones para mitigar los efectos del estrés térmico en los trabajadores de la planta asfáltica de la empresa ECODEP. Estas acciones buscan reducir los riesgos asociados a la exposición a altas temperaturas y mejorar la salud y el bienestar de los trabajadores, a la vez que optimizan la seguridad en el lugar de trabajo (29):

- **Capacitación y Concienciación:** Se recomienda realizar inducciones sobre los efectos del estrés térmico y capacitar a los trabajadores sobre cómo prevenirlo. Esto incluye formación sobre primeros auxilios y la importancia de la hidratación. Además, se proponen talleres prácticos para que los trabajadores adquieran habilidades para reconocer síntomas de estrés térmico y sepan cómo actuar ante situaciones de emergencia.

- **Hidratación Adecuada:** Es fundamental establecer puntos de hidratación en lugares estratégicos de la planta. Los trabajadores deben ser informados sobre la necesidad de consumir líquidos con frecuencia, especialmente en períodos de calor intenso, para evitar la deshidratación, que es uno de los principales factores de riesgo asociados con el estrés térmico.
- **Uso de Equipos de Protección Personal (EPP):** Es imprescindible que los trabajadores utilicen equipos de protección adecuados. Esto incluye ropa especial que proteja contra los efectos del calor y equipos que ayuden a reducir la exposición directa a altas temperaturas.
- **Pausas y Descanso:** Se sugiere implementar descansos programados para reducir la exposición continua a altas temperaturas. Estas pausas deben ser lo suficientemente largas para que los trabajadores puedan recuperarse del calor y evitar efectos negativos como golpes de calor.
- **Supervisión y Mantenimiento:** Las autoridades de la empresa deben realizar inspecciones periódicas para asegurar que se sigan las medidas de seguridad y que las condiciones laborales sean seguras. Esto incluye la revisión de los equipos y la planta para garantizar que no haya fallas que contribuyan a un aumento del riesgo térmico.
- **Monitoreo de la Salud:** Se recomienda establecer protocolos para el monitoreo de la salud de los trabajadores expuestos a altas temperaturas, realizando evaluaciones periódicas para detectar cualquier signo de problemas relacionados con el estrés térmico. De igual forma, es importante contar con un botiquín de primeros auxilios completamente equipado en el lugar de trabajo.

Estas acciones buscan no solo mitigar los efectos del estrés térmico en los trabajadores, sino también crear un entorno laboral más seguro, reducir el ausentismo por problemas de salud, y mejorar la productividad y bienestar general de los empleados (29).

También, en el trabajo de Gómez J y Ruíz E, de acuerdo al contexto de la empresa Prodeplásticos S.A.S., se identifica y describe un conjunto de acciones orientadas a prevenir y controlar el riesgo de estrés térmico al que están expuestos los operarios de la máquina sopladora en el área de producción. Estas acciones se agrupan en controles generales y especiales, y se enfocan en la fuente, el ambiente y el trabajador. Las acciones de control general incluyen la capacitación del personal sobre los efectos del estrés térmico, el reconocimiento de los síntomas iniciales (como mareos, fatiga o desorientación), y la promoción de hábitos saludables como la hidratación constante y el uso adecuado de equipos de protección personal (EPP). Se enfatiza en la educación como herramienta para generar conciencia en los trabajadores, haciéndolos partícipes activos en su propia protección (30).

Se señala la necesidad de establecer programas de aclimatación, especialmente para los trabajadores nuevos o aquellos que han estado ausentes por períodos prolongados. Estos programas permiten una adaptación progresiva a las condiciones térmicas del entorno, reduciendo el riesgo de afectaciones graves por exposición súbita al calor. También se recomienda redistribuir las tareas para evitar que los operarios trabajen durante largos periodos en zonas de alta carga térmica sin pausas. En el plano técnico, se plantean acciones de control especial, especialmente dirigidas a la fuente de calor. Una medida destacada es la instalación

de barreras térmicas (chaquetas) alrededor de las superficies calientes de la máquina sopladora. Estas barreras están diseñadas con materiales como fibra de vidrio siliconada, capaces de reducir significativamente la radiación térmica hacia el ambiente de trabajo. Se complementa esta acción con la mejora de la ventilación industrial, mediante sistemas de extracción localizada de aire caliente. Para el control del ambiente, se propone el rediseño del espacio de trabajo, con el objetivo de minimizar la acumulación de calor en las zonas operativas. Se incorporan áreas de descanso con condiciones térmicas controladas, permitiendo a los trabajadores recuperar su temperatura corporal durante las pausas (30).

Adicionalmente, se realiza una evaluación detallada del entorno térmico utilizando equipos como el medidor QuesTemp 36, que permite calcular el índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature). Los resultados de estas mediciones sirven para clasificar el nivel de exposición térmica y definir los tiempos máximos de exposición segura. También se evalúa el índice de sobrecarga calórica (ISC), útil para estimar el esfuerzo físico del trabajador en relación con la carga térmica ambiental. Otra acción importante es el desarrollo de un protocolo de pausas activas y rotación de puestos, especialmente en horarios de mayor temperatura. Esto permite distribuir el riesgo térmico entre varios operarios y evita la acumulación excesiva de calor en un solo individuo. Finalmente, se sugiere la implementación de ropa de trabajo transpirable, preferentemente con alto contenido de fibras naturales, para favorecer la evaporación del sudor y mantener el confort térmico (30).

En el estudio realizado por Reino L, en la empresa Pespesca S.A., se abordó el riesgo de estrés térmico en las áreas de cocción de pescado y compresión de

amoníaco, donde las altas temperaturas afectan directamente la salud y productividad de los trabajadores. Las acciones preventivo-promocionales implementadas abarcan medidas técnicas, organizativas y formativas para reducir el índice WBGT y mejorar el confort térmico laboral. Entre las medidas técnicas destaca la implementación de extractores eólicos en el área de cocción, que permitieron disminuir la temperatura del ambiente al mejorar la circulación del aire caliente y eliminar el vapor generado por el proceso de cocción. Estas unidades no requieren energía eléctrica, funcionan mediante la presión del aire exterior y fueron seleccionadas por su eficiencia, bajo costo operativo y fácil instalación. Esta intervención logró reducir el índice WBGT de 31,4°C a 26,2°C en dicha área (31).

En el área de compresión de amoníaco, donde las máquinas generan calor constante, se optó por la instalación de un sistema de aire acondicionado tipo Split, combinado con una cabina de climatización. Esta estrategia proporcionó un ambiente controlado para los operadores expuestos, disminuyendo el índice WBGT de 29,3°C a 22°C. Se diseñó un sistema con ventilación forzada y un plan de aislamiento térmico, incluyendo el uso de paneles y deflectores de aire para mantener temperaturas estables y confortables. En cuanto a las acciones organizativas, se plantearon regímenes de trabajo-descanso, adaptados a la carga térmica y tipo de labor. Se establecieron pausas programadas en áreas con temperaturas más bajas para permitir la recuperación fisiológica del trabajador, siguiendo los criterios de fracción de tiempo recomendados por el método WBGT. Estas pausas reducen la acumulación de calor en el cuerpo y evitan efectos como agotamiento, calambres o deshidratación (31).

En el plano promocional y educativo, se realizaron capacitaciones sobre el estrés térmico y su prevención, incluyendo primeros auxilios ante síntomas como síncope, erupciones cutáneas o golpe de calor. Se promovió la hidratarse constantemente, con acceso a agua fresca durante toda la jornada laboral, así como el uso adecuado de ropa de trabajo liviana y transpirable. Además, se difundieron materiales informativos, charlas de concienciación y talleres prácticos para sensibilizar al personal sobre la importancia de los hábitos preventivos. También se ejecutaron acciones de monitoreo y evaluación continua, mediante el uso de medidores ambientales tipo QUESTemp para registrar la temperatura globo, bulbo húmedo y temperatura seca, permitiendo identificar puntos críticos y ajustar las medidas preventivas. Se aplicaron encuestas antes y después de las intervenciones para evaluar la percepción del riesgo y la efectividad de las acciones implementadas. Estas acciones integradas permitieron reducir el nivel de exposición térmica, mejorar el ambiente laboral y promover una cultura preventiva en la empresa (31).

El estudio realizado por Torres R y Mariño H, en las centrales hidroeléctricas de CELEC SUR en Ecuador, aborda la problemática del estrés térmico en trabajadores de operación y mantenimiento dentro de las casas de máquinas. Para mitigar este riesgo, se identificaron y aplicaron una serie de medidas preventivas y promocionales enfocadas en la protección de la salud del personal y en la mejora de las condiciones laborales en ambientes con alta carga térmica. Una de las principales acciones fue la evaluación detallada del estrés térmico utilizando el índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature), herramienta clave para establecer niveles de riesgo. Para ello, se usó el equipo SPER SCIENTIFIC, que permitió

medir temperaturas de globo, bulbo húmedo y temperatura ambiente, junto con humedad relativa y condiciones del entorno. Esta medición fue fundamental para clasificar las áreas de trabajo como de riesgo admisible o no admisible (32).

Los resultados indicaron que las actividades de mantenimiento, particularmente aquellas realizadas por mecánicos, eléctricos y electrónicos, presentan mayor nivel de riesgo térmico en comparación con las labores de operación. En función de estos hallazgos, se recomendaron acciones dirigidas especialmente a estos grupos. Una medida preventiva fundamental fue la evaluación y selección adecuada de la vestimenta de trabajo. Se identificó que los niveles de aislamiento térmico de la ropa afectan significativamente la capacidad del cuerpo para disipar el calor. Se establecieron tres niveles de corrección según el tipo de ropa: CAV 0, 4 y 10. La mayor proporción de condiciones de riesgo “no admisibles” estuvo asociada a vestimenta con CAV 10, lo que motivó la revisión de los uniformes utilizados, promoviendo el uso de ropa más ligera y transpirable para actividades de alta carga térmica (32).

En el aspecto promocional, se subrayó la importancia de brindar capacitaciones específicas sobre el estrés térmico, enfocadas en los efectos fisiológicos del calor, los mecanismos de termorregulación corporal, la detección temprana de síntomas y las acciones de respuesta ante emergencias. Asimismo, se impulsaron estrategias de concienciación sobre el uso adecuado del equipo de protección personal (EPP), fomentando una cultura preventiva entre los trabajadores. El estudio también propuso la implementación de pausas programadas y rotación de tareas en las zonas de mayor riesgo térmico, especialmente durante actividades prolongadas o en turnos intensivos. Se recomendó dotar de zonas de recuperación térmica dentro de

las casas de máquinas, espacios acondicionados para permitir que los trabajadores reduzcan su temperatura corporal. Finalmente, se promovió la instalación de sistemas de ventilación o climatización localizada en áreas críticas como recintos de acople de eje, domo del generador y cojinetes, donde las temperaturas superaban los límites seguros. El monitoreo continuo de las variables térmicas fue otro componente esencial, incluyendo el uso de alarmas ajustables por umbral WBGT para activar alertas cuando se superen los niveles de exposición tolerables (32).

El estudio realizado por Niño Y y Portela N, analiza los efectos del estrés térmico y los cambios bruscos de temperatura en los trabajadores del sector cerámico, destacando su impacto en la salud y su frecuente invisibilización en los diagnósticos laborales. Con base en la evaluación de las condiciones ambientales, se desarrollaron acciones preventivo-promocionales que permiten gestionar los riesgos higiénicos asociados a estas exposiciones. Entre las acciones preventivas aplicadas se encuentra la evaluación ambiental mediante el índice WBGT, el cual fue complementado con el análisis de la temperatura corporal de los trabajadores, registrada cada 30 minutos, y del porcentaje de humedad ambiental, con el fin de verificar la carga térmica a la que estaban expuestos durante las jornadas laborales. Para ello, se utilizó un termohigrómetro portátil, que los trabajadores llevaban consigo durante sus traslados dentro y fuera del área de producción. También se usaron registros del sistema de control de la manejadora de aire para tener información continua durante las 24 horas (33).

Los resultados permitieron identificar que los trabajadores están expuestos a temperaturas promedio de 38 °C durante toda la jornada, con caídas abruptas de hasta 23 °C en cuestión de minutos, especialmente cuando se trasladan a otras zonas

como el comedor, ubicado a 450 metros de distancia. Estas transiciones de calor intenso a condiciones ambientales exteriores generaban un riesgo fisiológico significativo. Frente a este diagnóstico, una medida promocional clave fue la identificación y registro de estos cambios bruscos de temperatura, no solo como parte del diagnóstico ambiental, sino como base para proponer ajustes en los tiempos de exposición y recuperación térmica. Se propuso la revisión del tiempo de descanso asignado, considerando que el traslado a zonas de temperatura contrastante debía ser reducido o gestionado para evitar impactos térmicos negativos (33).

Otra acción destacada fue el uso del método de evaluación del metabolismo energético (consumo metabólico), el cual permitió establecer el gasto calórico asociado a las actividades laborales. Este método clasificó las labores en diferentes niveles de esfuerzo físico (ligero, moderado, elevado, muy elevado), y ayudó a establecer límites seguros de exposición térmica en función del tipo de tarea y el perfil físico del trabajador. Se consideraron también las condiciones de la vestimenta, ya que influyen directamente en la capacidad de disipación del calor corporal. Se enfatizó la necesidad de campañas informativas internas, dirigidas a empleados y empleadores, sobre los síntomas asociados al estrés térmico (como parálisis facial, espasmos musculares, dolores de cabeza) y los efectos acumulativos de la exposición continua a ambientes térmicos extremos. Estas actividades educativas tuvieron como objetivo mejorar la percepción del riesgo y fomentar la prevención. Finalmente, el estudio sugiere establecer registros sistemáticos de exposición térmica como parte de la gestión de salud ocupacional, incorporando el monitoreo térmico al control diario del ambiente laboral, con el fin de evitar la

desatención de este riesgo que tradicionalmente ha sido minimizado o clasificado erróneamente como enfermedad común (33).

Finalmente, el estudio de Fontalvo J y Martínez C, analiza la exposición al estrés térmico de los bomberos de Girardot, particularmente durante la atención de incendios estructurales residenciales. A partir de los resultados obtenidos en mediciones térmicas y análisis metabólicos, se propusieron diversas acciones preventivo-promocionales enfocadas en mejorar la seguridad y salud ocupacional de los bomberos. Entre las acciones preventivas destacadas se encuentra la evaluación detallada del estrés térmico mediante simulacros reales de incendio, que incluyeron la medición de temperaturas externas e internas del cuerpo, usando el índice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature), y el cálculo del consumo metabólico según la NTP 1011. Esto permitió clasificar los niveles de carga térmica en los distintos roles del cuerpo de bomberos (pitonero, puerta y maquinista) y establecer rangos de riesgo higiénico (34).

Basado en esta evaluación, se recomendó implementar un protocolo de trabajo con ciclos de exposición limitados, proponiendo períodos máximos de 30 minutos de operación continua dentro de un incendio, seguidos por 10 minutos de recuperación, sin exceder las tres horas totales de exposición directa. Este esquema busca reducir la acumulación de calor corporal y mitigar el riesgo de patologías asociadas al estrés térmico como calambres, síncope, agotamiento por calor, quemaduras dérmicas y respiratorias. En cuanto al equipamiento, se sugiere priorizar la adquisición de trajes estructurales certificados bajo la norma NFPA 1971, debido a su mayor resistencia térmica frente a temperaturas extremas, aunque se reconocen sus limitaciones en cuanto a movilidad y confort. Se plantea también

considerar trajes con normativa europea (UNE EN 469:2020) como opción alternativa para ciertas operaciones, dado que ofrecen mayor flexibilidad, lo que favorece la movilidad y reducción del esfuerzo físico (34).

Se destaca la necesidad de actualizar los procedimientos operativos normalizados del Cuerpo Oficial de Bomberos de Girardot, para incluir protocolos específicos frente al estrés térmico. Esto incluye el aseguramiento de líneas presurizadas de agua antes del ingreso a incendios estructurales, ya que el agua reduce la temperatura y aumenta la humedad, lo que ayuda a controlar el calor. Otra acción clave es la implementación de programas de bienestar operativo, que contemplen la provisión de hidratación adecuada y asistencia en salud en el sitio de la emergencia. Se recomienda también incluir en el manual de funciones y competencias laborales requisitos específicos relacionados con el conocimiento de riesgos térmicos, así como la actualización del profesiograma institucional, incluyendo exámenes médicos periódicos enfocados en detectar afectaciones por calor (34).

Finalmente, desde el enfoque promocional, se recomienda establecer programas continuos de capacitación y entrenamiento enfocados en la atención de incendios estructurales, con contenidos específicos sobre riesgos térmicos, protocolos de respuesta y uso correcto de los elementos de protección personal. Asimismo, se destaca la importancia de incrementar el número de bomberos por turno, a fin de reducir la carga individual de trabajo y mejorar los tiempos de recuperación térmica (34).

Finalmente, de acuerdo a la bibliografía revisada y expuesta en el presente capítulo, se priorizaron las siguientes medidas preventivo-promocionales (25-34):

<b>Tipo de Medida</b>	<b>Descripción / Ejemplos</b>	<b>Tipo</b>
Evaluación del riesgo térmico	Uso de WBGT, QuesTemp, SPER SCIENTIFIC, termohigrómetros, análisis de densidad urinaria.	Preventiva
Ventilación y climatización	Ventilación natural, extractores eólicos, aire acondicionado tipo Split, ventilación forzada o localizada.	Preventiva
Control en la fuente	Aislamiento térmico, rediseño de procesos, uso de barreras térmicas, repotenciación de equipos.	Preventiva
Pausas y descanso térmico	Régimen trabajo-descanso, zonas de recuperación térmica, pausas programadas.	Preventiva
Hidratación constante	Instalación de puntos de hidratación en planta o zonas estratégicas.	Preventiva
Reorganización del trabajo	Rotación de tareas, horarios adaptados a menor carga térmica, cambio de turnos.	Preventiva
Equipos de Protección Personal (EPP)	Ropa clara, transpirable, de manga larga, guantes, gafas, calzado térmico. Evaluación de CAV.	Preventiva
Cabinas o zonas de aclimatación	Espacios acondicionados para adaptación térmica gradual.	Preventiva
Supervisión y mantenimiento	Inspecciones periódicas, mantenimiento de equipos, revisión de condiciones térmicas.	Preventiva
Protocolos de emergencia térmica	Actuación ante síntomas (golpe de calor, síncope), derivación médica, primeros auxilios.	Promocional

Capacitación en estrés térmico	Identificación de síntomas, uso adecuado de EPP, primeros auxilios, protocolos térmicos.	Promocional
Concienciación y cultura preventiva	Campañas educativas, comunicación entre trabajadores y supervisores, materiales informativos.	Promocional
Programas de aclimatación laboral	Adaptación gradual al calor para nuevos trabajadores o tras ausencias prolongadas.	Promocional
Evaluaciones médicas periódicas	Seguimiento fisiológico, control de hidratación, pruebas de densidad urinaria, exámenes médicos ocupacionales.	Preventiva
Monitoreo y auditoría continua	Bitácoras térmicas, alarmas WBGT, reportes por unidad de trabajo.	Preventiva
Normativa técnica aplicada	INSHT, NTP 1011, NFPA 1971, UNE EN 469, criterios CAV.	Preventiva

De acuerdo a lo analizado en toda la bibliografía recopilada, la acción preventivo-promocional mandatoria para disminuir el impacto del estrés térmico por calor en la salud reproductiva humana de los trabajadores expuestos debe ser la implementación de un sistema integral de gestión del riesgo térmico, centrado en la evaluación continua del ambiente laboral y la evaluación periódica de los trabajadores, la provisión constante de hidratación, el uso obligatorio de equipos de protección personal adecuados y la educación sistemática del personal sobre los efectos del calor en la salud reproductiva. Esta estrategia no solo debe garantizar condiciones térmicas seguras, sino también promover una cultura preventiva, con protocolos de acción frente a síntomas y descansos programados, priorizando

siempre el bienestar fisiológico y reproductivo del trabajador como parte de la salud ocupacional (25-34).

#### **IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:**

El confort térmico es esencial para el bienestar de los trabajadores y su productividad. Un ambiente térmico inadecuado afecta tanto la salud física como mental de los empleados, provocando fatiga, irritabilidad y disminución del rendimiento. Un equilibrio adecuado entre la temperatura y la humedad es crucial para mantener el confort térmico.

El estrés térmico por calor tiene un impacto negativo en la salud y la productividad. La exposición prolongada a condiciones térmicas extremas puede generar afecciones graves, como golpes de calor, deshidratación, y problemas cardiovasculares. Este estrés térmico afecta más a los trabajadores que realizan actividades físicas exigentes o aquellos que trabajan al aire libre.

Diversos factores, como la edad, obesidad, aclimatación, y el tipo de ropa laboral, influyen en la susceptibilidad de los trabajadores al estrés térmico. Estos factores personales pueden aumentar el riesgo de enfermedades relacionadas con el calor, como calambres, síncope, y enfermedades renales.

La evaluación constante de las condiciones térmicas en el lugar de trabajo y la implementación de medidas preventivas son fundamentales para reducir los riesgos del estrés térmico. Esto incluye la gestión de la temperatura, la hidratación adecuada, y la capacitación en seguridad laboral.

Es esencial regular la temperatura y la humedad en los entornos laborales para evitar el estrés térmico. Los empleadores deben implementar sistemas de climatización adecuados y proporcionar espacios de descanso para los trabajadores expuestos a calor o frío extremos.

La hidratación adecuada y los descansos regulares son claves para prevenir problemas de salud derivados del calor. Se debe fomentar la ingesta de líquidos y asegurarse de que los trabajadores tengan acceso a áreas frescas o sombreadas para descansar.

Es fundamental que las empresas realicen mediciones constantes de las condiciones térmicas en sus instalaciones, utilizando herramientas como el índice WBGT (Globo de Bulbo Húmedo Termómetro de Bulbo Seco) para identificar el nivel de estrés térmico y aplicar medidas preventivas adecuadas.

Se recomienda la promoción de más investigaciones que profundicen en los efectos a largo plazo del estrés térmico sobre la salud, para adaptar mejor las estrategias de prevención y establecer directrices más claras para cada tipo de trabajo y entorno.

Luego del análisis de toda la bibliografía, sería justificado considerar la inclusión de exámenes de calidad espermática como parte del chequeo periódico en trabajadores varones expuestos crónicamente al calor, ya que, en múltiples ocasiones se menciona que dicha exposición está asociada con alteraciones en la salud reproductiva, específicamente afectando la función hormonal y la calidad espermática.

Realizar exámenes periódicos de espermograma permitiría detectar alteraciones tempranas y tomar medidas correctivas a tiempo, como reubicación temporal, mejora de condiciones térmicas, o intervenciones médicas, alineándose esta medida con el principio de vigilancia de la salud ocupacional.

El confort térmico es esencial para el bienestar de los trabajadores y su productividad. Un ambiente térmico inadecuado afecta tanto la salud física como mental de los empleados, provocando fatiga, irritabilidad y disminución del rendimiento. Un equilibrio adecuado entre la temperatura y la humedad es crucial para mantener el confort térmico.

Las olas de calor (OC) tienen un impacto comprobado sobre el desarrollo espermático. Estudios muestran que la exposición a OC durante las fases de espermatogénesis disminuye significativamente la calidad seminal, siendo más graves los efectos cuando las exposiciones superan los 30 °C o se prolongan por más de seis días consecutivos.

Los efectos del calor sobre la fertilidad masculina ocurren independientemente de la edad, aunque los hombres menores de 40 años presentan mayor vulnerabilidad. La disminución en la calidad del semen se observó tanto en hombres jóvenes como mayores, aunque los parámetros como concentración y recuento de espermatozoides móviles se vieron más afectados en los más jóvenes.

Factores externos adicionales, como ropa ajustada o el uso prolongado de dispositivos electrónicos en el regazo, también elevan la temperatura escrotal y comprometen la salud reproductiva. Estas condiciones cotidianas, al igual que los factores laborales, afectan la termorregulación testicular y pueden inducir daño celular y genético en los espermatozoides.

La exposición laboral a plaguicidas y disolventes representa un riesgo significativo para la salud reproductiva femenina. Aunque muchos parámetros bioquímicos se mantienen dentro de valores normales, la elevación de ciertos

biomarcadores como los peróxidos lipídicos sugiere daño celular. Esto justifica incluir evaluaciones más específicas en los programas de vigilancia sanitaria ocupacional.

El trabajo por turnos, especialmente nocturnos o rotativos, está vinculado a alteraciones reproductivas en mujeres en edad fértil. Estudios muestran asociaciones con trastornos menstruales, complicaciones del embarazo, partos pretérmino, bajo peso neonatal e incluso mayor riesgo de cáncer de mama, lo que evidencia la necesidad de políticas laborales más protectoras para mujeres trabajadoras.

Las mujeres embarazadas expuestas a sustancias químicas como disolventes, metales pesados (plomo) y pesticidas enfrentan un mayor riesgo de efectos adversos materno-fetales. Estos incluyen malformaciones congénitas, abortos espontáneos, parto prematuro y bajo peso al nacer. La falta de control de variables en muchos estudios limita algunas conclusiones, pero la tendencia general indica una amenaza real para esta población vulnerable.

El estrés térmico por calor derivado del cambio climático incrementa los riesgos obstétricos en mujeres embarazadas. Altas temperaturas están asociadas con partos prematuros, disminución del peso al nacer y aumento de la mortalidad fetal intrauterina. La termorregulación deficiente, la deshidratación y la alteración hormonal durante el embarazo agravan este riesgo.

Las acciones preventivo-promocionales, como la capacitación en síntomas del estrés térmico, el rediseño de los tiempos de exposición y el uso adecuado de EPP,

permiten empoderar a los trabajadores y fomentar una cultura de prevención activa en zonas industriales con calor residual.

La promoción de hábitos saludables, como la hidratación frecuente y la formación continua sobre riesgos térmicos, junto con mejoras técnicas en infraestructura, fortalecen la prevención desde un enfoque educativo y organizacional.

La identificación de riesgos mediante herramientas diagnósticas y la integración de pausas activas, puntos de hidratación y talleres informativos, demuestra que el componente promocional es clave para reducir la exposición térmica y sensibilizar al personal operativo.

Las campañas de formación en el uso adecuado del vestuario, la incorporación del monitoreo continuo y la concienciación sobre el riesgo térmico fortalecen el enfoque promocional como herramienta de protección efectiva del trabajador.

El reconocimiento de los cambios térmicos como parte del diagnóstico preventivo y la implementación de estrategias formativas para el autocuidado destacan la necesidad de integrar acciones promocionales adaptadas al entorno dinámico del entorno laboral.

Los resultados de los simulacros demuestran que la promoción de evaluaciones continuas del equipo de protección y la educación del personal sobre las diferencias de los trajes es indispensable para seleccionar la protección adecuada sin descuidar el confort térmico.

El monitoreo individual del microclima laboral, junto con estrategias educativas centradas en los efectos acumulativos del calor, reafirman la importancia de una intervención promocional que contemple tanto al entorno como al comportamiento del trabajador.

El desarrollo de protocolos de bienestar, que incluyen descansos, hidratación y soporte en salud, junto con programas formativos específicos, posiciona el enfoque preventivo-promocional como una herramienta vital para la operatividad segura en condiciones térmicas extremas.

## V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arias N, Quinde A. Evaluación del ambiente térmico en los electricistas de Distribución de la Empresa Eléctrica Regional Centrosur CA. MQR Investigar. 2024; 8(2): 1364-1380.
2. Martínez L. Evaluación de los niveles de estrés térmico a los que están expuestos los trabajadores del restaurante Los Yiyos en el municipio de Tena, Cundinamarca [tesis doctoral]. Corp Univ Min de Dios; 2024.
3. Flores W, Nuñez S, Bravo Z. Estudio del estrés térmico y su efecto en la salud de los trabajadores en el área de producción de una industria alimenticia. "CARÁCTER" Rev Cient Univ Pacífico. 2022; 10(1).
4. Ruiz P. Estrés térmico laboral y sus efectos en la salud de los trabajadores de la empresa Prodegel SA de la ciudad de Pelileo [tesis de maestría]. Univ Uniandes; 2023.
5. Aguilar O, Sánchez N, Salamanca Y. Estrés térmico a causa de la implementación de la exclusiva de flujo laminar a trabajadores de la Lavandería Super Blanca NGP SAS [tesis doctoral]. Corp Univ Min de Dios; 2023.
6. Herrera V, Sánchez F. Implicaciones en la salud de los trabajadores originadas por la exposición térmica en cultivos. Rev Colomb Salud Ocup. 2016; 6(2): 58-65.
7. Moreno M, Torruella I. Impacto en la salud laboral de la exposición al calor extremo: una revisión sistemática. Rev Haban Cienc Méd. 2023; 22(3).

8. Núñez C, Ferris S, Calderón D, Benítez E. Evaluación de la influencia del estrés térmico en el absentismo laboral de los trabajadores de una factoría de acero inoxidable. *Rev Asoc Esp Espec Med Trab.* 2017; 26(3): 196-205.
9. Espinoza M. El estrés térmico por calor y su incidencia en la salud de los trabajadores [tesis de maestría]. Univ técn de Ambato: 2017.
10. Midence M, Blas R. Enfermedad renal crónica asociada al estrés térmico: una revisión de literatura. *Rev Torreón Universitario.* 2024; 13(38): 211-23.
11. Hernández A, Guzmán K, García D, Flores J, López M, Vídales L, et al. Expresión y asociación de las proteínas de estrés térmico hsp70, hsp90 y p53 en cáncer mamario. *Arch de Medicina ISSN.* 2017; 13(2:5).
12. Revueltas A, Molina E, Hernández S. La salud humana frente al estrés térmico por el cambio climático. *Arch Med Camaguey.* 2023; 27: e9073.
13. Wesseling C, Weissb I. Respuesta: Pesticidas y estrés térmico en la epidemia global de enfermedad renal crónica de causas no tradicionales. *Arch Prev Riesgos Labor.* 2018; 21(1): 27-28.
14. Arakaki J, Tang O, Yaringaño R. Evaluación el Estrés térmico durante el verano 2015 en los ambientes de una fábrica de chocolates en la ciudad de Lima. *Anal Cientif.* 2016; 77(2): 229-232.
15. Paparella C, Pavesi A, Provenzal O, Ombrella A, Bouvet B. Infertilidad masculina. Exposición laboral a factores ambientales y su efecto sobre la calidad seminal. *Rev Urug Med Interna.* 2017; 2(2): 10-21.

16. Cerezo G, Núñez R, Vázquez M. Salud reproductiva masculina. Ed. 2023. Ciudad de México: Yao Díaz; 2023.
17. Verón G, Manjón A, Arévalo L, Santiago G, Vázquez M. Impacto de las olas de calor en la calidad del semen: Un estudio retrospectivo en Argentina entre 2005 y 2023. Rev Soc Arg Endocrinol Ginecol Reprod. 2025; 32(1): 35-39.
18. Ávila N, Flores M. Efectos del cambio climático sobre el embarazo: revisión sistemática de revisiones sistemáticas [Trabajo de Final de Grado]. Esc Univ de Enf Gimbernat; 2018.
19. Rodríguez A, Cuéllar L, Maldonado G, Suardiaz M. Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. Rev Cub de Invest Biomed. 2016; 35(3): 251-271.
20. Barriocanal P, Del Pozo C, Kudryavtseva O, Portillo I, Sanz J. Efectos derivados de la exposición laboral en las mujeres trabajadoras embarazadas expuestas a sustancias peligrosas: revisión sistemática. Arch Prev Riesgos Labor. 2021; 24(3): 263-296.
21. Dahiri B. Consecuencias sobre la salud de mujeres en edad fértil tras la exposición laboral a plaguicidas [Trabajo de Grado]. Univ de Sevilla; 2018.
22. Gómez M, Linares B, Serrano M, Álvarez V. Proyecto Saelci, guanajuato. exposición a plaguicidas y abortos espontáneos en un hospital materno infantil. Rev Jov en la Cienc. 2016; 2(1): 1531-1535.

23. Gonzales K. Bienestar integral en las mujeres gestantes en el área laboral de oficina de lima metropolitana, año 2022 [Trabajo de grado]. Esc de Educ Super Tecnol Priv Toulouse Lautrec; 2022.
24. Conesa V. Revisión bibliográfica sobre los efectos en la salud reproductiva de la turnicidad en las trabajadoras [Tesis de Maestría]. Univ Miguel Hernández; 2016.
25. Briones J, Mera M. Prevención de riesgos físicos por exposición a temperaturas en una empresa de producción. MQRInvestigar. 2024; 8(3): 2654-2675.
26. Alonzo F. Prevención de riesgos laborales debido al estrés térmico por calor en una empresa de distribución eléctrica [trabajo de grado]. Univ de San Carlos de Guatemala; 2019.
27. Chica G. Implementación de medidas en prevención y control del riesgo estrés térmico en la Planta de Utilidades de la Refinería de Esmeraldas [tesis de maestría]. Esc Polit Nacional; 2016.
28. Hidalgo L, Angulo R. Implementación de medidas preventivas y control de estrés térmico en la planta de asfalto ECODEP de la provincia de Esmeraldas. Rev Soc Fronteriza. 2022; 2(4): 1-21.
29. Saavedra F. Propuesta de implementación de medidas preventivas y control de estrés térmico en la planta de asfalto de la Empresa Pública-Privada del Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas [tesis de maestría]. PUCESE; 2021.

30. Gómez J, Ruíz E. Control de estrés térmico en el área de producción, en una empresa del sector de plásticos [trabajo de grado]. Univ Autón de Occidente; 2017.
31. Reino L. Gestión de riesgos provocados por las altas temperaturas (estrés térmico) en los trabajadores del área de cocción de pescado y sala de compresión de amoníaco de la empresa PESPECA SA: implementación de un sistema de refrigeración [trabajo de grado]. Univ Nacion de Chimborazo; 2016.
32. Torres R, Mariño H. Estrés térmico en casa de máquinas de centrales hidroeléctricas: evaluación de exposición y su control. CIENCIAMATRIA. 2024; 10(1): 19.
33. Niño Y, Portela N. El silencio del estrés térmico por calor y los cambios bruscos de temperatura en la manufactura de la cerámica. Perspectivas. 2018; 3(10): 76-82.
34. Fontalvo J, Martínez C. Evaluación del nivel de estrés térmico por exposición en incendios estructurales en los bomberos de Girardot, Cundinamarca. Cienc Latina Rev Cienc Multidiscip. 2024; 8(2): 697-712.
35. Yanovich R, Ketko I, Charkoudian N. Sex differences in human thermoregulation: Relevance for 2020 and Beyond. Physiology. 2020; 35: 177-184.
36. Baker F, Sibozza F, Fuller A. Temperature regulation in women: Effects of the menstrual cycle. Temperature. 2020; 7(3): 226-262.

37. Ladyman S, Georgescu T, Steward A, Khant Z, Cheong I, Grattan D et al. Prolactin modulation of thermoregulatory circuits provides resilience to thermal challenge of pregnancy. *Cell reports*. 2025; 44(4): 1-16.
38. Amoadu M, Wilson E, Owusu J, Hormenu T. Impact of climate change and heat stress on workers' health and productivity: A scoping review. *The journal of Climate Change and Health*. 2023; 12: 1-15.
39. Tustin A, Lamson G, Jacklitsch B, Thomas R, Arbury S, Cannon D et al. Evaluation of Occupational Exposure Limits for Heat Stress in Outdoor Workers - United States, 2011–2016. *CDC Morb and Mortality Weekly Report*. 2018; 67(26): 733-737.
40. Mohammadian F, Sahl A, Giahi O, Khoubi J, Allah A, Teimori G et al. Evaluation of Occupational Exposure to Heat Stress and Physiological Responses of Workers in the Rolling Industry. *The Open Public Health Journal*. 2019; 12: 114-120.
41. Nurminen T. Female noise exposure, shift work, and reproduction. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 1995; 37(8): 945-950.
42. CDC. About Work Schedules and Reproductive Health [internet]. USA: Reproductive Health Guidelines; 2024. [citado 27 de julio de 2025]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/niosh/reproductive-health/prevention/work-schedules.html>.
43. Bazalar J, Zafra J, Palacios M, Romero R, Glaser J, Wesseling C et al. Labour activity and occupational factors associated with kidney function deterioration among workers of the sugarcane industry in Peru. *Environmental Research*. 2025; 270:121012.

44. CCOHS. How can I measure occupational heat stress exposure? [internet].  
Canada: Hot Environm - Cont Measur; 2025 . [citado 27 de julio de 2025].  
Disponible en:  
[https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys\\_agents/heat/heat\\_control.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/heat/heat_control.pdf?utm_source=chatgpt.com).
45. Cruz I, Huerta R. Occupational safety and health in Peru. *Ann of Glob Health*. 2015; 81(4), 568-575.
46. Guyton A, Hall J. *Tratado de Fisiología Médica*. 15<sup>a</sup> ed. Ciudad de México: Elsevier; 2021.
47. Alves M, Alves L, Saraiva H, De Bem T, Nociti R, Chiaratti M, et al. Epididymal cauda molecular profile is altered by scrotal heat stress. *Reprod Fertil Dev*. 2022; 35(2): 210.
48. Zhou L, Gokyer D, Madkins K, Beestrums M, Horton D, Duncan F, et al. The Effects of Heat Stress on the Ovary, Follicles and Oocytes: A Systematic Review. NIH [Preprint]. 2024.  
doi: <https://doi.org/10.1101/2024.12.04.626831>.
49. Gałęska E, Jablonska M, Małek D. Reproductive Consequences of Electrolyte Disturbances in Animals and Humans. *Animals (Basel)*. 2022; 12(14): 1799.