



# **TESIS DOCTORAL**

**AÑO 2022**



**METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE  
PARÁMETROS TECNOLÓGICOS DE SALUD  
OCUPACIONAL EN EDIFICIOS INDUSTRIALES.  
APLICACIÓN A LAS ZONAS NORTE Y SUR DE  
ARGENTINA.**

**PATRICIA INÉS BENITO**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN TECNOLOGÍAS  
INDUSTRIALES**

**CRISTINA GONZÁLEZ GAYA, Catedrática de Universidad, UNED  
MIGUEL A. SEBASTIÁN PÉREZ, Catedrático de Universidad, UNED**



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES**

Programa de Doctorado en Tecnologías Industriales

**METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE PARÁMETROS  
TECNOLÓGICOS DE SALUD OCUPACIONAL EN EDIFICIOS  
INDUSTRIALES. APLICACIÓN A LAS ZONAS NORTE Y SUR  
DE ARGENTINA.**

Patricia Inés Benito

**Directores de Tesis**

Cristina González Gaya

Miguel Ángel Sebastián Pérez



# Agradecimientos

A mis Directores de Tesis:

Dra. Cristina Gonzáles Gaya y Dr. Miguel Ángel Sebastián Pérez, por sus virtudes y conocimientos. Por el acompañamiento de siempre y sus palabras de aliento en los momentos que más necesité. Por ser las personas generosas que son.

A mi querida familia:

A mis padres, que ya partieron pero que siempre guían mi camino.

A mi marido y a mi hija, por acompañarme en este proyecto con su paciencia y comprensión. Sin su apoyo no hubiera podido lograrlo.

A mis amigos, que me alentaron en los momentos difíciles y que creyeron en mí.

A la Universidad de Educación a Distancia que me brindó la posibilidad y las herramientas para acceder a este estudio de Doctorado y a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales por aceptar mi postulación al programa.

A la Universidad de Morón, por haber contribuido en mi formación universitaria, que me permitió avanzar en mi vida académica y profesional.

A todos, ¡simplemente gracias!



## Resumen

Los niveles de confort térmico son difíciles de precisar tanto por la cantidad de variables físicas involucradas, como por su carácter subjetivo.

En este trabajo se propone una metodología para determinar los parámetros tecnológicos de salud ocupacional para confort térmico, en edificios industriales de diferentes zonas de Argentina.

Para ello, se realiza una toma de datos a través de una encuesta al personal operativo y administrativo de industrias y empresas, según actividad y horario de trabajo, para condiciones de verano e invierno.

El valor predictivo del confort higrotérmico se obtuvo mediante técnicas de Minería de Datos para las zonas en estudio. Los programas informáticos utilizados fueron WEKA y ELVIRA.

Se comparan los resultados obtenidos con otros modelos estadísticos de regresión lineal aplicados al confort térmico, observándose que los valores de temperatura de confort se encuentran dentro de un mismo rango, pero la red bayesiana brinda mayor información. Asimismo, si se compara con los modelos estáticos de intercambio de calor, se distingue el aporte de las redes bayesianas al considerar un contexto de condiciones reales de operatividad y adaptabilidad al ambiente.

Disponer de una metodología que permita determinar los parámetros para confort térmico interior aplicables a diferentes áreas mejora el ambiente de trabajo, lo que conlleva a una reducción de accidentes y enfermedades laborales, contribuyendo a la salud ocupacional y a la seguridad industrial.

Asimismo, favorece el ahorro energético al optimizar el uso de las instalaciones de acondicionamiento del aire y ventilación de los edificios industriales, aumenta la eficiencia energética y colabora con la sostenibilidad ambiental, en aras de una mejor calidad de vida.

**Palabras claves:** *salud ocupacional; confort térmico; edificio industrial; humedad relativa; temperatura; ahorro energético; sostenibilidad.*



## Abstract

Thermal comfort levels are difficult to determine both because of the number of physical variables involved and because of their subjective nature.

This paper proposes a methodology to determine the technological occupational health parameters for thermal comfort in industrial buildings in different areas of Argentina.

For this purpose, data collection is carried out through a survey to the operative and administrative staff of industries and companies, according to activity and working hours, for summer and winter conditions.

The predictive value of hygrothermal comfort was obtained using Data Mining techniques for the areas under study. The software used were WEKA and ELVIRA

The results obtained are compared with other statistical linear regression models applied to thermal comfort, showing that the comfort temperature values are within the same range, but the network provides more information. Moreover, compared to static heat exchange models, the contribution of Bayesian networks is distinguished by considering a context of real operating conditions and adaptability to the environment.

Having a methodology to determine the parameters for indoor thermal comfort applicable to different areas improves the working environment, which leads to a reduction of accidents and occupational diseases, contributing to occupational health and industrial safety.

It also favours energy savings by optimizing the use of air conditioning and ventilation installations in industrial buildings, increases energy efficiency, and contributes to environmental sustainability, in the interests of a better quality of life.

**Keywords:** *occupational health; thermal comfort; industrial building; relative humidity; temperature; energy savings; sustainability.*



# Índice general

Resumen	VII
Abstract	IX
Índice de Figuras	XIII
Índice de Tablas	XV
1. Introducción	1
2. Antecedentes	8
2.1. Salud Ocupacional: Historia	9
2.2. Salud para todos	11
2.2.1 Ambiente laboral saludable	12
2.2.2 La salud ocupacional y el desarrollo sostenible	13
2.2.3 Principios de salud y seguridad ocupacional	14
2.2.4 Objetivos fundamentales	15
2.3. Estrés por frío y por calor	18
2.3.1 Tensiones ambientales y respuesta biológica	18
2.3.2 Estrés térmico por frío	19
2.3.2.1 Lesiones tisulares sin congelación	20
2.3.2.2 Lesión tisular por frío (congelación)	22
2.3.2.3 Síndrome de Raynaud	23
2.3.2.4 Reacciones alérgicas al frío	24
2.3.2.5 Riesgo de lesiones por frío	24
2.3.3 Estrés térmico por calor	25
2.3.3.1 Equilibrio térmico	25
2.3.3.2 Enfermedades y muerte por calor	26
2.3.4 Evaluación del nivel de estrés térmico	27
2.3.5 Cambio climático y olas de calor	30
3. Confort térmico	33
3.1 Introducción	34
3.2 Modelos de confort térmico	37
3.2.1. Modelo matemático o analítico	37
3.2.2. Modelos adaptativos	39
3.2.3. Análisis comparativo entre modelos de confort térmico	41
3.3 Normativas españolas y argentinas	43
3.3.1 Normativa española	44
3.3.2 Normativa argentina	46
3.3.3 Comparación entre las normativas españolas y argentinas	48
3.4. Metodología propuesta	50
4. Experimentación	51
4.1 Contextualización	52
4.2 Experiencias previas en Argentina	53
4.3 Casos a estudiar y planteamiento del estudio	55
4.3.1 Planteamiento del estudio	55
4.3.2 Objetivos	55
4.3.3 Hipotesis	56

4.4 Toma de datos	56
4.5 Análisis de datos	58
4.6 Recopilación	66
5. Métodos y herramientas	68
5.1 Redes Bayesianas	69
5.2 Prepración, análisis y explotación de los datos	69
5.2.1 Aplicación de WEKA	70
5.2.2 Aplicación de Elvira	74
6. Resultados y discusión	77
6.1 Resultados	78
6.1.1 Resultado obtenidos del análisis de datos	78
6.1.1.1 Valores de confort para la zona sur	78
6.1.1.2 Valores de confort para la zona norte	80
6.1.2 Resultados a partir de las redes de Inferencia Bayesiana	82
6.1.2.1 Redes de Inferencia de la zona sur de Argentina	82
6.1.2.2 Redes de Inferencia de la zona norte de Argentina	86
6.2 Discusión de los resultados	89
7. Conclusiones y Desarrollos futuros	94
7.1 Conclusiones	95
7.2 Desarrollos futuros	98
Referencias	99
Anexo A. Confort térmico- Área Sur de Argentina	112
A.1 Datos de entrada. Confort térmico- Área sur de Argentina. Invierno	113
A.2 Datos de entrada. Confort térmico- Área sur de Argentina. Verano	114
Anexo B. Confort térmico- Área Norte de Argentina	121
B.1 Datos de entrada. Confort térmico- Área norte de Argentina. Verano	122
B.2 Datos de entrada. Confort térmico- Área norte de Argentina. Invierno	125
Anexo C. WEKA: Validación cruzada - Árbol de decisión	129
C.1 WEKA: Validación cruzada y árbol de decisión. Zona sur	130
C.2 WEKA: Validación cruzada y árbol de decisión. Zona norte	132
Anexo D. Redes Bayesianas	134
D.1 Redes de Inferencia Bayesianas. Zona sur	135
D.2 Redes de Inferencia Bayesianas. Zona norte	137

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Eritema Pernio	21
<b>Figura 2.</b> Pie de trinchera	22
<b>Figura 3.</b> Congelación	23
<b>Figura 4.</b> Síndrome de Raynaud	24
<b>Figura 5.</b> PPD en función PMV	39
<b>Figura 6.</b> Ecuación de la recta de regresión	40
<b>Figura 7.</b> Zonas climáticas de Argentina	53
<b>Figura 8.</b> Confort térmico en función de la actividad, temperatura interior, humedad relativa y horario. Verano. Zona sur de Argentina	60
<b>Figura 9.</b> Confort térmico en función de la actividad, temperatura interior, humedad relativa y horario. Invierno. Zona sur de Argentina	61
<b>Figura 10.</b> Confort térmico en función de la actividad, temperatura interior, humedad relativa y horario. Zona norte de Argentina. Verano	62
<b>Figura 11.</b> Confort térmico en función de la actividad, temperatura interior, humedad relativa y horario. Zona norte de Argentina. Invierno	63
<b>Figura 12.</b> Gráficos de Cajas y Bigotes para verano. Zona sur de Argentina	64
<b>Figura 13.</b> Gráficos de Cajas y Bigotes para invierno. Zona Ssr de Argentina	64
<b>Figura 14.</b> Gráficos de Cajas y Bigotes para verano. Zona norte de Argentina	65
<b>Figura 15.</b> Gráficos de Cajas y Bigotes para invierno. Zona norte de Argentina	65
<b>Figura 16.</b> Ventana principal de WEKA Explorer con un archivo de datos cargados	70
<b>Figura 17.</b> Validación cruzada. Clasificador J48.	71
<b>Figura 18.</b> Árbol de decisión. Zona sur. Verano	72
<b>Figura 19.</b> Árbol de decisión. Zona sur. Invierno	72
<b>Figura 20.</b> Árbol de decisión. Zona norte. Verano	73
<b>Figura 21.</b> Arbol de decisión. Zona norte. Invierno	73
<b>Figura 22.</b> Fichero de casos-Opciones de Preproceso	74
<b>Figura 23.</b> Aprendizaje Automático	75
<b>Figura 24.</b> Red Bayesiana-visualización de edición	75
<b>Figura 25.</b> Red Bayesiana	76
<b>Figura 26.</b> Temperatura de confort de acuerdo a la actividad. Verano. Zona sur	78
<b>Figura 27.</b> Humedad relativa de confort de acuerdo a la actividad. Verano. Zona sur	79
<b>Figura 28.</b> Temperatura de confort de acuerdo a la actividad. Invierno. Zona sur	79
<b>Figura 29.</b> Humedad relativa de confort de acuerdo a la actividad. Invierno. Zona sur	80

<b>Figura 30.</b> Temperatura de confort de acuerdo a la actividad. Verano- Zona norte	80
<b>Figura 31.</b> Humedad relativa de confort de acuerdo a la actividad. Verano- Zona norte	81
<b>Figura 32.</b> Temperatura de confort de acuerdo a la actividad. Invierno. Zona norte	81
<b>Figura 33.</b> Humedad relativa de confort de acuerdo a la actividad. Invierno- Zona norte	82
<b>Figura 34.</b> ELVIRA- Red de Inferencia- Probabilidades a priori-Zona sur verano	83
<b>Figura 35.</b> ELVIRA- Red de Inferencia- Probabilidades a priori-Zona sur invierno	83
<b>Figura 36.</b> ELVIRA - Red de Inferencia- Primer caso de evidencia-Zona sur verano	84
<b>Figura 37.</b> ELVIRA - Red de Inferencia- Primer caso de evidencia-Zona sur invierno	85
<b>Figura 38.</b> ELVIRA- Red de Inferencia- Probabilidades a priori-Zona norte verano	86
<b>Figura 39.</b> ELVIRA- Red de Inferencia- Probabilidades a priori-Zona norte invierno	87
<b>Figura 40.</b> ELVIRA - Red de Inferencia- Primer caso de evidencia-Zona norte verano	88
<b>Figura 41.</b> ELVIRA - Red de Inferencia- Primer caso de evidencia-Zona norte invierno	88
<b>Figura 42.</b> Temperatura de confort en función de la Temperatura. Zona norte Argentina	92

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1:</b> Criterios de selección para la exposición al estrés térmico	28
<b>Tabla 2:</b> Escala de sensación térmica	38
<b>Tabla 3:</b> Temperaturas de confort (tn) obtenidas a partir de diferentes modelos adaptativos	41
<b>Tabla 4:</b> Modelos de confort térmico y sus limitaciones	41
<b>Tabla 5:</b> Aportes a los modelos de confort térmico	43
<b>Tabla 6:</b> Valores recomendados para la zona este de Argentina	54
<b>Tabla 7:</b> Valores recomendados para la zona oeste de Argentina	54
<b>Tabla 8:</b> Formulario para la entrevista sobre confort térmico	57
<b>Tabla 9:</b> Resultados del primer caso de evidencia- Zona Sur Verano	85
<b>Tabla 10:</b> Resultados del primer caso de evidencia.Zona Sur Invierno	85
<b>Tabla 11:</b> Resultados del primer caso de evidencia- Zona Norte	89
<b>Tabla 12:</b> Temperaturas de confort (tn) para verano obtenidas a partir de los modelos adaptativos y regresión lineal	92
<b>Tabla 13:</b> Temperaturas de confort (tn) para invierno obtenidas a partir de los modelos adaptativos y regresión lineal	93



# Capítulo 1

## Introducción

## Capítulo 1. Introducción

La Revolución Industrial 4.0 se sustenta en las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), la internet de las cosas (IoT), la inteligencia artificial (AI) relacionada con una gran cantidad de datos ( Big Data) y el uso de algoritmos para procesarlos, la robótica y los servicios en la nube, entre otros, para hacer que los procesos se optimicen y lograr mayor eficiencia y productividad [1, 2, 3]. Dentro de este gran paradigma de la Industria 4.0, no escapa el área de la salud y seguridad ocupacional y dentro de ella, la problemática del confort térmico.

La incidencia de la salud del trabajador en su calidad de vida, en la de su entorno inmediato y en la sociedad conlleva a un concepto de salud laboral con carácter de derecho humano. Por ello, es un objetivo social procurar los más altos estándares de salud personal en el medio ambiente de trabajo. A su vez, no deja de ser un objetivo económico. Un ambiente laboral saludable, que propicia trabajadores sanos, permite el desarrollo integral de la persona en un marco de progreso y bienestar social.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS):

“... la Salud Ocupacional es una actividad multidisciplinaria dirigida a promover y proteger la salud de los/as trabajadores/as mediante la prevención y el control de enfermedades y accidentes y la eliminación de los factores y condiciones que ponen en peligro la salud y la seguridad en el trabajo. Además, procura generar y promover el trabajo seguro y sano, así como buenos ambientes y organizaciones de trabajo realizando el bienestar físico mental y social de los/as trabajadores/as y respaldar el perfeccionamiento y el mantenimiento de su capacidad de trabajo. A la vez que busca habilitar a los/as trabajadores/as para que lleven vidas social y económicamente productivas y contribuyan efectivamente al desarrollo sostenible, la salud ocupacional permite su enriquecimiento humano y profesional en el trabajo.” [4]

Este enunciado pone en evidencia la relevancia de la salud ocupacional, tanto en lo que se refiere a los efectos positivos como negativos producto de la actividad que realiza el trabajador, como así también, la repercusión de estos efectos en su capacidad y rendimiento en el ambiente de trabajo.

Por otro lado, Clara Guillén Subirán expone, según las estimaciones de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), que:

- “... en el mundo se producen al año más de 2,3 millones de accidentes mortales relacionados con el trabajo. La gran mayoría de estas muertes (más del 80 por ciento) están causadas por enfermedades profesionales. Pese a que, en las últimas décadas, los sistemas de seguro de contingencias profesionales han contribuido con éxito a la reducción de los accidentes de trabajo, la prevalencia de las enfermedades profesionales sigue aumentando y, por ello, es necesario intensificar los esfuerzos para reducir su incidencia mediante medidas específicamente destinadas a prevenirlas. [5]

Si bien en los inicios, la salud ocupacional actuaba por reacción una vez producido el accidente o la enfermedad, actualmente posee una naturaleza preventiva, lo que la posiciona dentro del ámbito de la medicina social y la salud pública, con todo lo que ello implica. En la búsqueda de la prevención de accidentes y enfermedades profesionales, intervienen diferentes áreas del conocimiento, tales como la medicina, la enfermería, la higiene y seguridad en el trabajo, la ergonomía, la sociología y la epidemiología, entre otras. Estas especialidades deben integrar el equipo de salud y seguridad ocupacional, para comprender y actuar en esta compleja trama del hombre en su lugar de trabajo.

En esta línea, la Organización Mundial de la Salud (OMS), y la Organización Internacional del Trabajo (OIT), junto con múltiples instituciones colaboradoras a nivel internacional desarrollan estrategias en procura de un ambiente laboral saludable para mitigar los efectos nocivos que pueden producir los contaminantes ambientales. Dentro de las tensiones provocadas por el ambiente de mayor incidencia en la salud, capacidad y eficiencia del trabajador se destaca el ambiente térmico.

La acción de las variaciones bruscas de temperatura y humedad, las temperaturas extremas, bajo condiciones de humedad y/o velocidad del viento conducen al estrés térmico por frío o por calor. En el caso de estrés térmico por calor, la situación se agrava por las condiciones de un fenómeno relativamente nuevo: el cambio climático, que debe ser tenido en cuenta atentamente. Para los trabajos que se realizan en el exterior, las medidas a tomar para reducir los efectos de las tensiones térmicas se encuentran dadas por el tipo de ropa, la reducción de la jornada laboral y/o las interrupciones programadas. En el caso de trabajos que se realizan en el interior de locales industriales, las medidas a considerar, además de las ya indicadas, se basan en el acondicionamiento del aire. El objetivo es facilitar un local adecuadamente acondicionado. Para ello, el cálculo de las instalaciones de calefacción, refrigeración y ventilación industrial requieren parámetros higrotérmicos que garanticen los niveles de confort.

El confort térmico, también llamado comodidad higrotérmica está definido por la Norma ISO 7730 como **“esa condición de mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico”** [6], concepto subjetivo y por ello sumamente difícil de ser medido. Se define incluso por su concepto opuesto: incomodidad higrotérmica, es decir incomodidad frente al clima del ambiente tanto sea por la temperatura, como por la humedad o la velocidad del aire. Desde el punto de vista fisiológico, una persona está en confort térmico cuando su organismo no necesita utilizar sus mecanismos de autorregulación de la temperatura corporal [7].

La comodidad higrotérmica tiene incidencias importantes en la salud de las personas, por un lado, y en la sostenibilidad ambiental por otro. Según el Manual de aplicación de la Ley 13059, Acondicionamiento higrotérmico de edificios del Instituto de la Vivienda de Buenos Aires, “ el confort térmico es imprescindible para mantener la salud de los habitantes, liberarse de los efectos que produce la condensación de humedad y ahorrar energía” [8].

En el año 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU), basándose en la experiencia adquirida con los Objetivos de Desarrollo del Milenio, propone una agenda para el desarrollo de los próximos 15 años “ hacia la erradicación de la pobreza y el desarrollo sostenible en sus dimensiones social, económica y ambiental” [9]. Esta agenda 2030 se presenta como una oportunidad de mejora en la vida de las personas en equilibrio con la naturaleza, a través de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que incluyen entre otros, el ODS 8-Trabajo decente y crecimiento económico, el ODS 9- Industria, innovación e infraestructura, y el ODS 13-Acción por el clima. [10,11,12,13,14] a los que aporta esta investigación.

En línea con los objetivos mencionados (ODS 8, ODS 9, ODS 13) , la mejora de los ambientes térmicos propicia un impacto significativo en la vida de los trabajadores, en la prevención de daños a su salud y la reducción de los riesgos que puedan presentarse en sus puestos de trabajo, mejorando la productividad personal y en consecuencia la de la empresa. Asimismo, conlleva un aumento de la eficiencia energética, que contribuye a la sostenibilidad medioambiental, en aras de una mejor calidad de vida.

Visto las recomendaciones que realiza la Organización Mundial de la salud (OMS) sobre Salud Ocupacional en cuanto a la comodidad higrotérmica, los datos que brinda la Organización Internacional del Trabajo (OIT) con relación a las enfermedades profesionales/ accidentes de trabajo, los objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y considerando que el confort térmico es un concepto cargado de valor subjetivo, representa un desafío para quienes tienen la tarea de proyectar las instalaciones de acondicionamiento del aire.

Sabemos que las instalaciones de calefacción, refrigeración y ventilación deben responder a la demanda de proporcionar temperatura y humedad relativa de manera uniforme en todo el ambiente, más allá de las condiciones externas. De acuerdo con los conceptos vertidos por Nestor Quadri [9] el sistema debe ser regulable, controlable automáticamente, que reduzca la contaminación ambiental y con un funcionamiento eficiente que optimice el consumo de energía.

En este orden, Quadri [15] propone los factores a tener en cuenta para proyectar y calcular instalaciones de Acondicionamiento del Aire y Ventilación industrial (HVAC):

1. Constructivos: dimensiones y orientación al sol del local, coeficientes de transmitancia total en paredes, pisos y techos, distribución de los ambientes.
2. Destino del local: cantidad de personas, tipo de actividad y horario, iluminación, equipamiento y máquinas impulsadas por motores y otras fuentes que emitan calor.
3. Parámetros de diseño: temperatura y humedad relativa exterior, que se determinan en el lugar; temperatura y humedad relativa interior. En los ambientes cerrados, la velocidad del aire no tiene una influencia determinante, dado que sus valores para condiciones de confort pueden variar entre 5 a 8 m/s y en verano, puede aceptarse hasta una velocidad de 12 m/s.

Tanto los factores constructivos como los correspondientes al destino del local se pueden determinar con ciertas precisiones mientras que los parámetros de diseño en lo que hace a la temperatura y humedad relativa interiores para que las personas se encuentren en estado de confort térmico no lo es tanto, aún más teniendo en cuenta el factor subjetivo del concepto.

En general, los parámetros que se utilizan en el cálculo de las instalaciones de acondicionamiento del aire, se obtienen de gráficos y/o tablas construidos a partir de experiencias controladas, en condiciones ideales y para una determinada población. En esta línea, la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE) con la colaboración de diversas universidades y entidades oficiales realizó experiencias sobre las reacciones de distintas personas sometidas a diferentes condiciones de temperatura, humedad relativa y movimiento del aire. Estos resultados permitieron elaborar un diagrama de confort que relaciona las condiciones psicrométricas con la reacción humana [16]. Al usar estos valores de temperatura y humedad relativa interiores para el

cálculo de las instalaciones, no se tienen en cuenta las condiciones reales de trabajo, los hábitos regionales ni las características del clima local.

Hasta el momento, para determinar los parámetros de comodidad higrotérmica se utilizan métodos matemáticos y técnicas de análisis estadístico, a través de gráficos y/o ecuaciones [17,18,19,20,21]. Sin embargo, éstos no reflejan la complejidad y relaciones del confort higrotérmico manifestado por las personas.

Por ese motivo, se propone la aplicación de técnicas bayesianas [22,23], las cuales generan un modelo del evento en estudio mediante un conjunto de variables y las relaciones de dependencia entre ellas. La inferencia bayesiana permite determinar la probabilidad posterior de las variables no conocidas, en base a las variables conocidas. Estos modelos pueden tener diversas aplicaciones: clasificación, predicción, diagnóstico, etc. La red bayesiana brinda información, mediante la representación gráfica de las relaciones probabilísticas en cuanto a cómo se relacionan las variables del dominio, las cuales pueden ser interpretadas en ocasiones como relaciones de causa–efecto en diversos campos del conocimiento, y en este caso en particular, en el campo del confort térmico. La construcción de estos modelos y la determinación de la probabilidad condicional de los nodos de la red puede realizarse con la participación de expertos, pero también es posible determinarlas mediante el aprendizaje automático.

Específicamente en este estudio, la red bayesiana se utiliza para determinar parámetros higrotérmicos de confort en la industria, que permitan mejorar el entorno de trabajo, reducir el riesgo laboral y aumentar la eficiencia energética. Vista la importancia de contar con esta herramienta y la escasez de producción sobre este tema, motiva a llevar adelante este proceso investigativo.

A tal efecto, en el capítulo 2 se realiza una revisión teórica sobre los conceptos más importantes sobre salud y seguridad ocupacional, las consideraciones aportadas por la Organización Mundial de la Salud, la Organización Internacional del Trabajo y la Organización de las Naciones Unidas, con relación a este tema, los conceptos sobre estrés térmico y su agravamiento por la acción del calentamiento global.

En el capítulo 3 se describen y estudian los principales modelos que evalúan el confort térmico, se analizan los antecedentes normativos del tema y se presenta la metodología propuesta. A continuación, en el capítulo 4, se exponen experiencias previas de estudios de casos en Argentina y se realiza el planteamiento del problema para las zonas norte y sur del país. Se establecen los objetivos y se formulan las hipótesis de trabajo. Se lleva a cabo la colección de datos y su análisis. Para mejor proveer, los datos se encuentran disponibles en los Anexos A y B respectivamente

En el capítulo 5, con base en lo propuesto, se detallan los métodos y herramientas utilizadas para la predicción y mejor explotación de resultados para probar las experimentaciones de campo.

El capítulo 6 muestra los resultados obtenidos a partir del análisis de los datos colectados, de las redes de Inferencia Bayesianas, y se hace un análisis comparativo con otros modelos estadísticos de regresión lineal aplicados al confort térmico. En el capítulo 7 se presentan las conclusiones, además de propuestas para futuros desarrollos y líneas de investigación.

En este marco, determinar los niveles adecuados de confort térmico para cada contexto, resulta un instrumento fundamental en salud ocupacional, que tendrá fuerte impacto no sólo en la prevención de enfermedades sino también en el rendimiento y la productividad. Alineado con estas metas se espera una contribución al ahorro de energía y un aporte a la sostenibilidad ambiental.

## **Capítulo 2**

### **Antecedentes**

## Capítulo 2. Antecedentes

### 2.1 Salud Ocupacional: Historia

Desde sus inicios, el hombre tuvo que utilizar una parte de su energía para satisfacer sus necesidades y las de su entorno [24]. El trabajo permitía modificar la naturaleza que lo rodeaba y al alcanzar ese objetivo, el hombre sentía la satisfacción por la tarea realizada, no siempre exenta del peligro, que podía poner en riesgo hasta la propia vida.

Con el avance de la civilización, esa actividad primitiva se fue transformando en otras formas de trabajo, con nuevas herramientas que permitieron mejorar la producción, pero en detrimento, muchas veces, de la salud del hombre.

Actualmente, los avances científicos y tecnológicos han generado mejoras en la productividad, en el acceso a los bienes y servicios, y en las expectativas sobre calidad de vida. Sin embargo, la problemática sobre los riesgos laborales aún persiste. Por un lado, el trabajo es una actividad humana saludable; por otro, puede resultar dañino para la salud personal o grupal. De lo expuesto, el trabajo resulta ser un factor determinante para el estado de salud.

El objetivo de un país es tener una población activa saludable. La salud ocupacional contribuye tanto a la productividad y riqueza del país, como al crecimiento, desarrollo, motivación, y satisfacción de la población. Por ello, la salud ocupacional también es salud pública [24,25,26] .

Si se hace un breve recorrido por la Historia, en la antigüedad, filósofos como Aristóteles y Platón, o médicos como Hipócrates y Galeno, mediante la observación determinaron que el trabajo podía ser causa de salud o de enfermedad. En la edad media , se estudiaron las enfermedades de los trabajadores, principalmente en los monasterios. Ya en el renacimiento, aparece una incipiente medicina del trabajo de la mano de Ellemborg y Teofrasto Paracelso [27], pero Bernardino Ramazzini es quien se considera “padre de la Medicina del Trabajo” [28].

Ramazzini empezó por relacionar las patologías de una persona con el trabajo que realizaba. Al atender a sus pacientes, comenzó a preguntarles: ¿en qué trabaja usted? . Si bien hoy la necesidad de esta pregunta resulta obvia, no lo era en el año 1700.

En su obra, “De Morbis Artificum Diatriba [Diseases of Workers]” [29] se ocupa de las enfermedades que pueden sufrir los carpinteros, talladores, herreros, albañiles y oficinistas, zapateros, sastres, impresores, tejedores y continúa la lista. No solo observó los trabajos que realizaban los hombres sino también el de las mujeres: los efectos posturales, el sedentarismo, la fatiga intensa y el exceso de

trabajo. Su premisa fue: “Por lo tanto, en un trabajo tan exigente, la moderación sería la mejor salvaguarda contra estas enfermedades, tanto para los hombres como para las mujeres; ya que la máxima común "Nada en exceso" es una que apruebo excesivamente.” [29]

Se considera que Ramazzini inicia el análisis y estudio de las enfermedades producto del trabajo. Si bien no fue sistemático, realizó una importante recolección de datos, que relacionó con la información que disponía de experiencias previas y de sus contemporáneos. También relacionó las enfermedades con los datos recolectados de alteraciones que producían algunos agentes físicos como la temperatura, la humedad, y el ruido. Ya en su época, el calor, el frío y la humedad resultaban relevantes para el análisis de las enfermedades ocupacionales.

Con la llegada de la Revolución Industrial [30] comienza un período de desarrollo inédito que trae consigo una transformación de la sociedad y de las modalidades de trabajo.

Así como se visibilizan avances en la alimentación, la medicina y la higiene, también se evidencian las enfermedades profesionales y los accidentes de trabajo producto de la industrialización. Se comienza a aplicar el método científico con mayor rigurosidad para el estudio de las enfermedades. En 1908, Thomas Oliver publica su primera edición de “Diseases of occupation” [31], donde expone sobre los factores que contribuyen a las enfermedades y accidentes en la industria, sea por la acción de diversos agentes presentes en los lugares de trabajo tales como gases, vapores, productos químicos, metales, temperatura como por la incidencia del tipo de actividad como la fatiga.

En 1919 se crea la Organización Internacional del Trabajo (OIT) cuyos objetivos primordiales son: “promover los derechos en el trabajo, fomentar las oportunidades de empleo decente, fortalecer la protección social y reforzar el diálogo sobre asuntos de la esfera laboral” [32] .

La OIT ha generado un importante número de Convenios y Recomendaciones relacionados con la salud y seguridad de los trabajadores. Dentro de ellos se destacan el Convenio 161 [33] que obliga a los países miembros a disponer de servicios de salud en el trabajo y la Recomendación 171 [34], que determina las funciones, deberes y obligaciones de estos servicios.

En la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1992) en su primer principio, se expresa: “Los seres humanos constituyen el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sostenible. Tienen derecho a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza.” [35]. Es decir, satisfacer sus necesidades por medio del trabajo sin poner en riesgo su salud y con el menor

impacto ambiental. Este principio vincula íntimamente el desarrollo sostenible con la seguridad y salud ocupacional.

La Organización Mundial de la Salud ha producido gran cantidad de aportes relacionados con la salud de los trabajadores. Uno de sus aportes más notables es la Estrategia Mundial de la Salud Ocupacional para todos (El camino hacia la salud en el trabajo) recomendación realizada en Beijing- China en 1994 [36], en colaboración con los Centros de Salud Ocupacional y organizaciones no gubernamentales (ONGs).

En 2015, la ONU pone en agenda los Objetivos y metas de Desarrollo Sostenible “para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos” [11]. Para alcanzar esas metas, estamos todos incluidos: los gobiernos, el sector productivo, la sociedad civil y cada uno de nosotros en aras de una mejor calidad de vida.

La OMS aúna sus esfuerzos con la OIT, la ONU y diversas organizaciones no gubernamentales para mejorar las condiciones de trabajo y la vida de los trabajadores.

## **2.2 Salud para todos**

Este apartado se basa en el documento “Estrategia Mundial de Salud Ocupacional para todos”, que recoge las recomendaciones de la Segunda Reunión de los Centros Colaboradores de la OMS en Higiene del Trabajo, celebrada en Beijing, China, del 11 al 14 de octubre de 1994. (Documento WHO/OCH/95.1). [36]

Las bases para la planificación de la estrategia se remontan a la propia Constitución de OMS que estipula el derecho fundamental de todas las personas al estándar de salud más alto. El art. 20 del capítulo 20 de la Constitución especifica la prevención de lesiones accidentales y promueve el mejoramiento de las condiciones de trabajo como una de sus funciones primordiales. Desde 1950, la OMS ha tenido programas especiales para la salud ocupacional, su coordinación y colaboración permanentes.

Al observar los numerosos problemas de salud y seguridad en el trabajo, y el desarrollo de nuevas tendencias en la vida laboral, surge la necesidad de diseñar una nueva estrategia a nivel mundial en salud ocupacional. La intención de la red de la OMS en colaboración con los centros de salud ocupacional fue promover y estimular discusiones sobre las necesidades y objetivos para incrementar el desarrollo de la salud ocupacional y motivar acciones preventivas y proactivas en las políticas necesarias para alcanzar esta meta en la vida laboral moderna.

Este documento analizó la situación contemporánea y las necesidades nuevas en salud ocupacional en diferentes regiones del mundo y propuso 10 objetivos fundamentales, más acciones para la mejora en la salud ocupacional contemplando la optimización de la relación salud-trabajo, el derecho de las personas a contar con ambientes laborales adecuados para su actividad, los nuevos requerimientos económicos y las nuevas tecnologías.

Para ello, la Red de Centros Colaboradores en Salud Ocupacional de la OMS trabaja mancomunadamente con múltiples instituciones desarrollando estrategias que permiten a cada mujer y hombre crear hábitos de trabajo, enfocados al avance de la productividad y al logro de una mejor calidad de vida para los trabajadores a nivel mundial. Entre las instituciones que colaboran, la Organización Internacional del Trabajo (OIT) merece una mención especial. [36,37]

### **2.2.1 Ambiente laboral saludable**

La mayor parte de la población del mundo pasa una tercera parte de su vida adulta en el trabajo y se considera que la población activa está formada en un 60 a 70% por hombres adultos y de un 30 a 60% por mujeres adultas [38]. Se puede inferir que esta dedicación, en el mejor de los casos, contribuye al bienestar social, psicológico y físico de la persona que trabaja, pero en otras ocasiones, las condiciones y el ambiente de trabajo tienen un efecto adverso y reducen el bienestar, la productividad y hasta la esperanza de vida de la persona.

Los ambientes de trabajo y la salud de los trabajadores varían sustancialmente en función de la estructura económica, el nivel de industrialización y el desarrollo, el clima y los hábitos regionales. En general, el porcentaje de exposición a peligros de trabajo es más alto en los países emergentes que en los países industrializados. Los principales problemas en la industria son los riesgos mecánicos y físicos, como así también los agentes químicos o problemas ergonómicos [36]. La exposición a sustancias nocivas en el trabajo suele ser varias veces más grave que en otras circunstancias y en ciertas industrias, como la minería, construcción, agricultura y silvicultura, el riesgo es alto y de una quinta a una tercera parte de los trabajadores sufren lesiones o enfermedades ocupacionales [38].

En los países industrializados, además de prestar atención a las enfermedades de trabajo tradicionales, aparecen los problemas que conlleva un ambiente moderno de trabajo [36]. En este caso, para la mayoría de los trabajadores, los problemas básicos son el estrés psicológico, los nuevos modelos de organización laboral, la sistematización de las tareas, y la calidad del aire interior en el ambiente laboral.

No obstante, la posibilidad de trabajar sin temor a estos peligros es parte de los derechos humanos básicos, que se manifiesta en documentos de las Naciones Unidas, la OMS, la OIT y otros organismos [38]. En esencia, se establece que cada ciudadano tiene el derecho a trabajar en un ambiente seguro y sano, para lograr una vida social y económicamente productiva.

Contar con una estrategia mundial para la salud ocupacional es relevante para intentar dar solución a esta problemática. Sin embargo, es prioritario que cada país se ocupe de elaborar una estrategia propia en asocio con los diversos sectores que tienen que ver con la salud ocupacional, favoreciendo la colaboración entre ellos y con otras instituciones interesadas, empleadores, empleados, cuerpos asesores y gobierno.

### **2.2.2 La salud ocupacional y el desarrollo sostenible**

En 1992, en Río de Janeiro (Brasil) se celebró la Cumbre de la Tierra. Aquí se definió el desarrollo sostenible como “ una estrategia para satisfacer las necesidades de la población mundial sin ocasionar efectos adversos a la salud ni al ambiente, y conservar las fuentes de recursos naturales para las generaciones futuras. Además, se subrayó que es un desarrollo centrado en el ser humano y en su derecho a una vida saludable y productiva en armonía con el medio en que vive.” [38]

De acuerdo con esta definición, el desarrollo sostenible está relacionado con la salud ocupacional en cuanto a satisfacer las necesidades de la persona mediante el trabajo sin poner en riesgo la salud humana, teniendo en cuenta el ambiente laboral y el medioambiente.

Un trabajador saludable es un actor clave en el desarrollo social y económico en general, y la salud ocupacional es un componente esencial para el desarrollo sostenible. Implica el uso prudente y la conservación de los recursos, materiales y humanos, en conjunción con la aplicación de tecnologías inocuas, es decir bajo consumo de energía y controlada producción de desechos y emisiones.

Se ha podido verificar que los riesgos para la salud que han sufrido muchas poblaciones, en la mayoría de los casos, se detectaron primero en trabajadores. Esta relación resulta interesante porque si se considera que el ambiente de trabajo puede actuar como un sistema de alerta, se puede utilizar como modelo para experimentar acciones preventivas.

El ambiente laboral se considera como el medio más exigente en que se mueve la persona debido al estrés, sea de origen psicológico, físico, químico y/o ergonómico, lo que hace evidente la interrelación entre la salud ocupacional, la seguridad del trabajador y el desarrollo sostenible. [38]

### **2.2.3 Principios de salud y seguridad ocupacional**

La definición de salud ocupacional ha superado las limitaciones originales con relación a los riesgos y se ha transformado en un concepto más amplio que incluye diversas disciplinas y contempla el bienestar físico, psíquico y social, la salud y el desarrollo personal. Se considera que los lugares de trabajo diseñados con los principios de la salud, ergonomía y seguridad ocupacional son los más productivos y sostenibles.

A partir de estudios científicos y experiencias de empresas y gobiernos, que han obtenido buenos resultados, se corroboran ciertos principios que se detallan a continuación y que son denominadores comunes de salud, seguridad, relaciones sociales, éxito económico y estabilidad en tiempos de crisis [38]:

- En el trabajo se evitan los peligros (prevención primaria) y se usan tecnologías inocuas.
- El gobierno ejerce la responsabilidad, autoridad y competencia que le corresponde en la creación y el control de condiciones de trabajo apropiadas.
- Se ha procurado lograr condiciones de trabajo óptimas.
- Las actividades de salud y seguridad están integradas con las de producción.
- El empleador o empresario es el principal responsable de mantener un ambiente sano y de seguridad en el trabajo.
- Se reconoce el interés de los trabajadores en su propia salud y seguridad.
- Los empleadores y empleados cooperan y colaboran sobre una base de igual a igual.
- Se respeta el derecho de los trabajadores a participar en las decisiones que atañen a su trabajo.
- Se respeta el derecho de los trabajadores a estar informados y al principio de transparencia.
- Las condiciones de salud y seguridad en el trabajo son objeto de vigilancia y evaluación constantes.

En estos principios [38] prevalece el trabajador. Se adaptan las condiciones de trabajo a la persona y no la persona a las condiciones de trabajo. A esta premisa se suma la posibilidad de ser partícipe en las decisiones administrativas relacionadas con la organización del trabajo. Esto aumenta la motivación y contrarresta el estrés lo que conlleva a beneficios en la salud, y a un aumento de la productividad de los trabajadores. Para sostener estos principios se hace necesario contar con un marco legal adecuado, un sistema administrativo que sustente su

cumplimiento y la implementación de sistemas de servicios de salud y seguridad laboral.

#### **2.2.4 Objetivos fundamentales**

Los 10 objetivos planteados en la Estrategia Mundial de Salud Ocupacional para todos [36] requieren para su cumplimiento de acciones específicas por parte de los órganos de aplicación de los gobiernos junto con la ayuda de la OMS, organismos internacionales y organizaciones no gubernamentales (ONGs):

1. Fortalecer las políticas nacionales e internacionales de salud en el trabajo y generar las herramientas de política que hagan falta.

Es necesario que los países actualicen su legislación y normativas sobre salud ocupacional para cumplir con este objetivo. Se debe establecer una autoridad competente y definir sus funciones. Asimismo, es importante definir la responsabilidad de los empleadores. Cada gobierno debe establecer mecanismos de colaboración entre empleadores y uniones de trabajadores para poner en práctica el programa de salud ocupacional en el orden nacional.

Otras actividades, de suma importancia a tener en cuenta, son los programas de formación de expertos en salud ocupacional, y la capacitación tanto de empleadores como de empleados respecto a las modificaciones previstas.

2. Lograr un ambiente de trabajo sano.

Para lograr un ambiente de trabajo sano se deben hacer encuestas en todos los lugares de trabajo contemplando las diferentes tareas, para conocer el grado de satisfacción con el ambiente laboral y registrar, además la frecuencia en la que ocurren los daños a la salud como función del trabajo y su distribución en la población. Estas encuestas permiten identificar los problemas que requieren atención inmediata y tomar acciones inmediatas para prevenir o reducir los riesgos. En la legislación pertinente debe encontrarse la lista de criterios a seguir para lograr un ambiente de trabajo saludable.

3. Impulsar las prácticas laborales sanas y la promoción de la salud en el trabajo.

Se hace necesario contar con programas nacionales de salud ocupacional y que promuevan el tema en las empresas. Estos programas deben contemplar la capacitación de los trabajadores, en lo referente a los riesgos de enfermedades ocupacionales como de accidentes, nuevas prácticas y organización del trabajo, y el uso de elementos de protección personal.

4. Fortificar los servicios de salud ocupacional.

Se insta a los países a iniciar y aumentar la cobertura de los servicios de salud ocupacional. Las políticas nacionales deberían garantizar la cobertura para todos los trabajadores, tanto del sector formal como informal.

Estos servicios deben ser multidisciplinarios, integrando el aporte de distintas áreas del conocimiento (biomédicas y ambientales) dado que la protección de la salud abarca tanto al trabajador como al medioambiente laboral. Es relevante que estén representadas, además de la medicina y enfermería, disciplinas tales como la ergonomía, fisiología, la fisioterapia ocupacional, y la higiene del trabajo, entre otras.

5. Establecer servicios de apoyo para la salud ocupacional.

En general, las empresas cuentan con servicios de salud ocupacional regulares, pero en la práctica, se pone en evidencia la necesidad de servicios adicionales (asesoramiento de higienistas, ergonomistas, toxicólogos, profesionales de la seguridad laboral). De acuerdo con la legislación del país, la empresa debe contar, además, con un servicio de higiene y seguridad para trabajar en asocio con el servicio de salud. Si la misma puede absorber su costo, el servicio es integrado. En caso contrario, las empresas deben contratar un servicio externo. En aquellos países donde no se cuente con expertos en higiene y seguridad laboral, se deberán instrumentar los medios para la formación de los mismos.

6. Formular normas de salud ocupacional basadas en la evaluación científica de los riesgos.

Con el fin de asegurar los estándares mínimos de salud y seguridad se precisan definir los niveles de exposición y demás condiciones laborales. Para ello se deben redactar las normas que sirvan de guía para los expertos. La dificultad que se presenta es que la persona es el eje del problema y las grandes diferencias entre seres humanos, hace que la tarea resulte compleja. Esto hace necesario contar con el apoyo de la comunidad científica o con organismos de investigación. Asimismo, se insta a los países para que colaboren en la producción científica para la normativa.

7. Formar recursos humanos en salud ocupacional.

En este objetivo se reitera la importancia de tener profesionales expertos en el área.

En general, los países industrializados disponen de programas de estudio para la formación de médicos y enfermeros en salud ocupacional, y profesionales de la higiene y seguridad en el trabajo. Esto les permite contar con los expertos en el tema.

Esta realidad no es la misma en los países emergentes y/ o en desarrollado, donde se pone en evidencia la escasez tanto de los programas de salud ocupacional como de los recursos humanos. Por ello, se insta a los países a redactar una legislación apropiada que requiera y facilite la formación de expertos y la capacitación de empleadores y trabajadores en el tema.

8. Implantar sistemas de registros, datos, servicios de información para expertos, y de transmisión efectiva de datos y de información pública.

El registro de datos fidedignos es esencial para la toma de decisiones. El acceso a la información entre los países permite abrir un abanico de datos que puede ser utilizado, después de su análisis, para nuevas normativas. Además, la transmisión efectiva al público, de los resultados de las investigaciones permite despertar la conciencia colectiva y posibilita educar a la comunidad, sobre salud y seguridad ocupacional.

9. Vigorizar la investigación.

La investigación es prioritaria para estudiar los diferentes aspectos de la salud ocupacional. La misma se lleva a cabo en centros de investigación internacionales, de los cuales se puede obtener información.

Pero la realidad nos demuestra que, si bien se pueden compartir los datos y resultados internacionales, cada país necesita como mínimo un centro de investigación propio sobre el tema, debido a que las condiciones laborales y ambientales son diferentes.

“Determinar la situación laboral y promover la competencia y la metodología pertinentes deben ser funciones de esos centros y formar parte de cada programa nacional de salud ocupacional.” [38]

10. Incrementar la colaboración de programas y grupos de salud ocupacional con otras actividades y servicios.

Para lograr una implementación efectiva de la Estrategia Mundial de Salud Ocupacional se requiere un contacto estrecho entre la OMS, la OIT, la Comisión Internacional sobre salud Ocupacional y organismos no gubernamentales. Asimismo, propiciar la interrelación con otras actividades, tales como la protección ambiental, la prevención de riesgos y servicios afines como los de emergencias, bomberos y policías.

Se espera que el cumplimiento de esta estrategia procure mejoras en las condiciones de trabajo, en aquellos países donde la salud ocupacional es aceptable y que ya cuentan con programas y servicios.

En aquellos países con indicadores deficientes, se aspira a fuerte desarrollo, con normativas y reglamentaciones que permitan ofrecer servicios de salud para todos y ambientes laborales aptos.

Si bien todos los objetivos fundamentales explicitados anteriormente deben cumplirse tanto en el orden nacional como internacional, son los países con la colaboración de la OMS, quienes deben abogar la implementación de esta estrategia a través de una cooperación entre gobierno, empleados y empleadores.

## **2.3 Estrés por frío y por calor**

### **2.3.1 Tensiones ambientales y respuesta biológica**

Como se ha explicitado, el trabajo puede tener efectos beneficiosos mejorando la salud fisiológica y psicológica de los trabajadores o ser perjudicial, debido a las condiciones de trabajo.

El enfoque primitivo sobre salud ocupacional consistía en actuar por reacción ante las situaciones de accidentes o enfermedades de los trabajadores cuyo origen fueran los agentes tóxicos o las condiciones ambientales adversas.

Este concepto fue transformándose en el tiempo, hasta la actualidad donde la salud ocupacional se considera una obligación ética y legal del empleador, como lo indica la OMS en la Estrategia Mundial para la salud ocupacional para todos [30]

Un programa de salud y seguridad ocupacional debe considerar, no solo la prevención de accidentes y/o enfermedades profesionales, sino además la salud integral del trabajador. En esta premisa subyacen otros considerandos, tales como la disminución del ausentismo, la reducción de los costos de producción y consumo de energía, que conllevan a un mejoramiento del rendimiento laboral. [39]

La Higiene industrial es parte sustancial de un programa de salud y seguridad ocupacional. El punto de partida es que los factores de riesgo físicos y químicos en el ambiente de trabajo pueden ser identificados, medidos y evaluados y por lo tanto corregidos, para evitar o disminuir aquellas condiciones laborales que pueden producir daños a la salud del trabajador. Para ello, se consideran las herramientas que provee la Física, la Química y la Ingeniería para proyectar y operar sistemas de control que permitan reducir las tensiones que ejerce el ambiente de trabajo sobre la persona, denominadas tensiones ambientales, a niveles no perjudiciales para su salud.

Es competencia de la Higiene industrial la evaluación de las magnitudes físicas y/o químicas tanto en el medio físico laboral como en el trabajador.

Las tensiones ambientales de mayor influencia en la salud y eficiencia del trabajador son producidas por los ruidos y vibraciones, la iluminación, el ambiente térmico, los contaminantes atmosféricos como polvo, gases y vapores, y los agentes tóxicos. La medición de estas magnitudes se puede realizar con cierta precisión con los instrumentos específicos modernos, pero sus resultados deben tener en cuenta al ser analizados, la respuesta y adaptabilidad del hombre a ese medio físico de trabajo. En la actualidad, las mediciones en el hombre se realizan en las condiciones reales de operatividad, a efectos de poder analizar su respuesta biológica a las tensiones del medio ambiente de trabajo.

En este apartado se focaliza la atención en las tensiones ambientales producidas por el ambiente térmico. Para ello, el estudio del tema se divide en dos partes: a) Estrés térmico por frío . b) Estrés térmico por calor.

### **2.3.2 Estrés térmico por frío**

Muchas situaciones ocupacionales pueden llegar a producir estrés térmico por frío, como por ejemplo los trabajadores frigoríficos, de refrigeración, fabricantes de hielo, hielo seco, gas licuado, así como ocupaciones en el exterior, a saber: buzos, pescadores, y trabajadores a la intemperie en climas fríos. Las bajas temperaturas afectan nuestra salud, por lo que es importante detectar los avisos del organismo que indican la posibilidad de producirse una lesión [40].

El organismo mantiene su equilibrio térmico en un ambiente frío mediante ciertos mecanismos de autorregulación que limitan las pérdidas de calor y aumentan la producción del mismo. La piel y los tejidos por debajo de ella, conservan una temperatura normal de aproximadamente 37° C, debido a la circulación sanguínea y otros mecanismos. Al metabolizar los alimentos, las células liberan energía en forma de calor. Para que este proceso se cumpla, es necesario un aporte adecuado de oxígeno y alimentos. Si una persona tiene temperatura corporal baja, la mayoría de sus órganos comienzan a fallar. El corazón y el cerebro se hacen más lentos [40, 41, 42]

Cuando la piel se expone a un ambiente frío, la temperatura del cuerpo disminuye. Para compensar la pérdida de temperatura se activan mecanismos protectores:

- Aumento del tono muscular y los estremecimientos (contracciones involuntarias) para producir calor extra.
- Vasoconstricción periférica, en especial de las extremidades para llevar más sangre a los órganos vitales, pero dejando con menor cantidad de sangre caliente a las extremidades del cuerpo como son los dedos de

manos y pies, como también nariz y orejas, que pierden calor con mayor rapidez.

Si la temperatura corporal desciende de los 35°C se produce Hipotermia [43] cuyos síntomas son sensación de frío, piel fría, lentitud y temblores intensos o estremecimientos. Si baja de los 31°C/ 32°C, los mecanismos protectores dejan de funcionar, desaparecen los temblores y se manifiestan problemas neurológicos y cardíacos. Si desciende por debajo de los 27°C/28°C, la situación es crítica y no compatible con la vida. [40,41,42]

Otras lesiones localizadas causadas por frío [40,44] pueden aparecer asociadas o no con la Hipotermia, a saber:

- Lesiones tisulares sin congelación (eritema, eritema pernio y pie de trinchera)
- Lesión tisular por frío (congelación)
- Síndrome de Raynaud
- Reacciones alérgicas al frío.

#### **2.3.2.1 Lesiones tisulares sin congelación**

El eritema es la forma más leve de lesión por frío. Las zonas afectadas están inflamadas, enrojecidas e irritadas. En general el tratamiento es por calentamiento y pocas veces produce un daño permanente en los tejidos.

El eritema pernio [44,45,46,47], comúnmente conocido como “sabañones”, se presenta como una inflamación de la piel, asociada con picazón y edema por la exposición recurrente al frío y la humedad. En casos más serios, aparecen ampollas y/o ulceraciones. Su mecanismo no está del todo claro. Las zonas más afectadas son los dedos de las manos, como se puede observar en la figura 1 [48] y de los pies. También se afectan los talones, nariz y orejas con menor frecuencia.

Se ha podido comprobar que la aparición del eritema pernio se ha reducido considerablemente en los lugares acondicionados térmicamente y con la utilización de materiales aislantes más eficaces. [46]



**Figura 1.** Eritema Pernio [48]

El pie de trinchera o de inmersión se produce por una exposición prolongada al frío húmedo. Una de las formas es cuando el pie se encuentra húmedo dentro del calzado o botas durante mucho tiempo, pero por encima del punto de congelación. Al inicio, el pie está pálido y entumecido. Se producen ampollas, e infecciones. Si se coagula la sangre en venas, va tomando un color negro, como se ilustra en la figura 2 [49]. El tratamiento es por calor progresivo, aunque puede resultar doloroso. Es un pie sudoroso por lo cual se lo debe mantener seco. Se requiere de tratamiento médico. Algunas consecuencias pueden hacerse crónicas [40, 44].



**Figura 2.** Pie de Trinchera [49]

### **2.3.2.2 Lesión tisular por frío (congelación)**

En el interior de las células de los tejidos, se forman cristales de hielo lo que produce la congelación de los tejidos del organismo y la muerte celular por debajo de 0°C [ 40,42,50]. La piel se congela a -2°C. Se puede clasificar en:

- Congelación superficial (leve): congelación de la superficie de la piel
- Congelación profunda (severa): congelación de piel y tejidos subyacentes. Puede afectar al hueso.

Los síntomas que aparecen son:

- Tinte blanco- grisáceo de la piel expuesta
- Sensación de hormigueo o escozor
- Entumecimiento o agarrotamiento
- Se pueden formar ampollas

- Se puede producir gangrena
- El tejido dañado puede auto amputarse

La congelación requiere de tratamiento médico intensivo. En la figura 3 [51] se puede observar la congelación de pie.



**Figura 3.** Congelación [51]

### **2.3.2.3 Síndrome de Raynaud**

Como respuesta al frío o al estrés emocional se puede producir un vasoespasmo de partes de la mano que ocasiona molestias y cambios de color reversibles, desde la palidez extrema a una coloración azulada (cianosis) en uno o varios dedos [52], como puede observarse en la figura 4 [53]. También, pueden verse afectadas otras zonas como la lengua y la nariz.

Para casos sencillos, su tratamiento consiste en evitar el frío, el estrés y el tabaco. Siempre es recomendable ser atendido por el médico.



**Figura 4.** Síndrome de Raynaud [53]

#### **2.3.2.4 Reacciones alérgicas al frío**

Se produce una alergia física. Las alergias físicas son desencadenadas por factores físicos, dentro de los cuales se encuentran el frío, la luz, el calor, las vibraciones [54]. Los síntomas aparecen cuando se produce la exposición al estímulo. Requiere de tratamiento médico y evitar los estímulos que las provocan.

#### **2.3.2.5 Riesgo de lesiones por frío**

En el ambiente laboral, el riesgo de lesiones por frío aumenta cuando el lugar de trabajo es húmedo, el tipo de actividad produce deshidratación y/o agotamiento, o cuando una parte del cuerpo entra en contacto con superficies mojadas, húmedas o metálicas. El riesgo aumenta aún más, si la alimentación no es la adecuada o el oxígeno no es suficiente.

Para prevenir las lesiones por frío, la persona debe mantenerse caliente con varias capas de ropa, de ser posible de material aislante e impermeable. Además, tener una adecuada ingesta de alimentos y bebidas, en lo posible calientes para brindar calor y prevenir la deshidratación.

Sin perjuicio de las acciones mencionadas para prevenir las lesiones por frío, contar con un ambiente de trabajo acondicionado térmicamente en forma apropiada, brinda al personal un estado de confort psicofísico y social.

### **2.3.3 Estrés térmico por calor**

Para evaluar los riesgos laborales, cuando las condiciones de trabajo por acción del calor ponen en riesgo la salud y seguridad del trabajador, se utiliza el concepto de estrés térmico [55], que se define como la carga neta de calor a la que está expuesto un trabajador como consecuencia de las contribuciones combinadas del gasto energético por el tipo de actividad, de los factores ambientales (temperatura del aire, humedad, calor radiante y velocidad del aire) y las características de la ropa o equipos de protección personal (EPP) [55,56].

Asimismo, se denomina tensión térmica a la respuesta fisiológica global como consecuencia del estrés térmico [55]. Cuando al activarse los mecanismos fisiológicos de disipación del calor al medio ambiente ( sudor, aumento del ritmo cardíaco, mayor vasodilatación periférica) no se alcanza a mantener constante la temperatura corporal central, se produce una sobrecarga térmica y se desencadenan las enfermedades por calor, que pueden acarrear graves consecuencias para la salud [56].

Otro concepto a tener en cuenta, en esta evaluación de riesgos por calor, es la aclimatación o adaptación fisiológica gradual de la persona para soportar el estrés térmico.

#### **2.3.3.1 Equilibrio térmico**

Nuestro organismo es endotérmico, genera calor (calor metabólico) en forma constante. Para mantener el equilibrio térmico (homeostasis), se produce un intercambio constante de calor entre el cuerpo y el medio físico mediante la activación de mecanismos de termorregulación. El calor sobrante lo transfiere al ambiente.

Si nuestro cuerpo tiene una temperatura central estable de  $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  , su funcionamiento se considera normal y los mecanismos fisiológicos que se activan para mantenerla constante son la transpiración y la vasodilatación periférica.

Si con la activación de estos procesos se logra que la temperatura no supere los valores indicados en el párrafo anterior, este esfuerzo realizado por el organismo resulta positivo y su repetición graduada da como resultado la aclimatación.

En cambio, si los mecanismos de autorregulación no alcanzan para mantener el equilibrio térmico, el calor se acumula en el organismo y aumenta la temperatura. De persistir esta situación, el organismo seguirá intentando transferir el calor sobrante hacia el entorno a costa de la salud [56]

Cuando el exceso de calor no puede transferirse al ambiente, sus consecuencias posibles son:

- aumento en la probabilidad de accidentes de trabajo,
- agravamiento de enfermedades previas ( cardiovasculares, respiratorias, cutáneas, etc.)
- aparición de enfermedades relacionadas con el calor [57,58]

### **2.3.3.2 Enfermedades y muerte por calor**

Las enfermedades más comunes relacionadas con el calor que el cuerpo no puede transmitir al entorno [56,57,58] son:

- Erupción cutánea
- Edema
- Calambres
- Síncope por calor
- Deshidratación
- Agotamiento por calor
- Golpe de calor

La erupción cutánea (sarpullido) son pequeñas pápulas (manchas rojas). Se presentan, en general, en la cara, cuello, ingle, en la zona superior del pecho y debajo de él, debido a una excesiva sudoración o humedad ambiental. Produce molestias, picazón y pueden infectarse. Como prevención, cambiar la ropa húmeda por seca, ducharse regularmente y evitar las infecciones.

El edema por calor es una hinchazón de pies y tobillos. Indica que su cuerpo no está tolerando el estrés por calor y si persiste debe consultarse al médico.

Los calambres son espasmos musculares dolorosos, especialmente en piernas y brazos, debido a una pérdida excesiva de sales como consecuencia de la sudoración. La prevención de los calambres es una ingesta de sales adecuada.

El síncope por calor se manifiesta como un desvanecimiento, mareo o visión borrosa. Se produce en personas que han estado largos períodos de pie o se han levantado bruscamente de una posición sentada porque no llega suficiente sangre al cerebro. Suele afectar a los trabajadores no aclimatados durante los primeros días de exposición a altas temperaturas.

La deshidratación es una pérdida excesiva de agua por sudoración con deficiente ingesta de agua a nula. Si la pérdida de hidratación es de aproximadamente un 2% del peso corporal, disminuye la tolerancia al estrés térmico por calor y aumenta la temperatura corporal produciendo taquicardia y disminuyendo la capacidad laboral. Con una reducción del 5%, la situación en el ambiente de trabajo se torna peligrosa porque se reduce la eficacia del sudor como mecanismo de regulación térmica. Si la pérdida de hidratación es del 15% al 20%

del peso corporal sobreviene la muerte. Los síntomas son : sed, boca y mucosas secas, aturdimiento, fatiga, taquicardia, orina menos frecuente y de menor volumen, concentrada y oscura. La prevención consiste en beber agua en forma frecuente y abundante, aunque no se tenga sed y tener una adecuada ingesta de sal en las comidas.

El agotamiento por calor es una enfermedad de leve a moderada. Se caracteriza por sed intensa, pulso irregular, debilidad, fatiga, malestar, náuseas, ansiedad, mareos, y dolor de cabeza. La temperatura central se mantiene por debajo de los 39°C. No hay alteración del estado mental. En general, aparece durante la exposición de la persona a altas temperaturas en el ambiente de trabajo o como consecuencia de ejercicios o actividades de alto impacto. Se asocia a deshidratación. La prevención consiste en la hidratación (aunque la persona no tenga sed), la reposición de sales y la aclimatación. Puede desencadenar en un golpe de calor.

El golpe de calor es un problema grave. Acaece cuando en condiciones de estrés térmico por calor en trabajos continuados, la persona no está aclimatada y tiene antecedentes tales como obesidad, mal estado físico, alcoholismo, enfermedades cardiovasculares crónicas, deshidratación o proviene de un agotamiento de calor. Los síntomas principales son similares al agotamiento de calor, sumado a la pérdida de conciencia y confusión. La piel se encuentra caliente y seca, sin sudoración. También puede acaecer en forma repentina, sin ningún síntoma.

El cuerpo no puede controlar su temperatura y ésta puede alcanzar los 40°C o más. Se produce una inflamación interna severa que lesiona tejidos y órganos, principalmente riñones e hígado, y en su estadio más grave, una alteración profunda del sistema nervioso central. En estos casos, lo más importante es alejar al trabajador de la fuente calor y llamar urgentemente al médico porque esta enfermedad puede ser fatal. Mientras se espera la atención médica, aplicar medidas para bajar la temperatura. Como pautas de prevención, realizar chequeos médicos a los trabajadores sometidos a condiciones de estrés térmico por altas temperaturas, aclimatación, turnos rotativos si son necesarios, beber abundante agua y una apropiada ingesta de sal en las comidas. Se debe prestar atención a las olas de calor, cada vez más frecuentes, producto del cambio climático.

### **2.3.4 Evaluación del nivel de estrés térmico**

Existen diferentes métodos para la evaluación del estrés térmico, como por ejemplo el EVALTER-OBS. [59], que permite valorar las molestias térmicas y los riesgos debidos al estrés térmico por observación directa de las condiciones de

trabajo, o por métodos empíricos a partir de la Temperatura de Bulbo Húmedo (TBH) y Temperatura de Globo (TG ) [55]

A saber, en el método de evaluación del estrés por calor empleando el Índice de Temperatura globo y bulbo húmedo (TGBH), los valores se calculan utilizando una de las siguientes ecuaciones [55, 60] de acuerdo al tipo de exposición que tiene el trabajador:

- Con exposición directa al sol

$$TGBH = 0,7 TBH + 0,2 TG + 0,1 TBS$$

- Sin exposición directa al sol

$$TGBH = 0,7 TBH + 0,3 TG$$

En donde:

*TBH* = temperatura bulbo húmedo

*TG* = temperatura de globo

Dado que la medida TGBH es solamente un índice del medio ambiente, los criterios de selección han de ajustarse a las contribuciones de las demandas del trabajo continuo y de la ropa, así como al estado de aclimatación.

Los criterios TGBH adecuados con fines de selección se exponen en la tabla 1 [55].

**Tabla 1.** Criterios de selección para la exposición al estrés térmico (Valores TGBH en °C).

Exigencias de Trabajo	Aclimatado				Sin aclimatar			
	Ligero	Moderado	Pesado	Muy pesado	Ligero	Moderado	Pesado	Muy pesado
100% trabajo	29,5	27,5	26		27,5	25	22,5	
75% trabajo	30,5	28,5	27,5		29	26,5	24,5	
25% descanso								
50% trabajo	31,5	29,5	28,5	27,5	30	28	26,5	25
50% descanso								
25% trabajo	32,5	31	30	29,5	31	29	28	26,5
75% descanso								

Si el TGBH medido es menor que los valores indicados en la tabla 1, en función de las exigencias del trabajo, la aclimatación o no, de la persona y el tipo de ropa (que tendrá que considerarse en el cálculo del TGBH), se puede inferir que el riesgo es bajo, continuar con el trabajo y el control de las condiciones. Si es mayor, se debe hacer un análisis detallado de la situación y controles fisiológicos para determinar el nivel de riesgo.

Es importante la valoración correcta del tipo de trabajo y el ropaje utilizado. A medida que aumenta el gasto energético, los valores de la tabla N°1 disminuyen. El objetivo es asegurar que la temperatura corporal interna de la mayoría de los trabajadores no sea superior a los 38° C.

“La medida TGBH proporciona un índice útil del primer orden de la contribución ambiental del estrés térmico” [55]. Pero vale aclarar, que esta medida es una aproximación que se ve afectada por la temperatura del aire, la humedad y el calor por radiación y no tiene en cuenta “la totalidad de las interacciones entre una persona y el medio ambiente y no puede considerar condiciones especiales como el calentamiento producido por una fuente de radiofrecuencia/microondas” [55].

Una buena práctica de la higiene ocupacional es el control de los signos y síntomas de los trabajadores por estrés térmico debido al calor y en especial cuando la ropa de trabajo puede interferir en la transmisión del calor al entorno.

El objetivo primordial de la gestión del estrés térmico es prevenir el golpe de calor, que es la enfermedad más grave relacionada con el calor y una amenaza para la vida. En general, las demás enfermedades por calor, tienen una recuperación total con los cuidados correspondientes. Pero, el aumento de las exposiciones a niveles elevados de estrés térmico, pueden acarrear otras alteraciones como la infertilidad tanto del hombre (más afectado) como de la mujer, problemas durante el embarazo como muerte embrionaria, partos adelantados y bajo peso del bebé [56, 61]. Asimismo, es importante destacar que la probabilidad de accidentes y lesiones aumenta con el nivel del estrés térmico.

Los métodos de evaluación de riesgos por calor no brindan una línea definida entre los niveles seguros y peligrosos. Para asegurar una protección adecuada en cada situación, es necesario contar con la asistencia de un profesional de la salud y de la seguridad ocupacional, además de un programa de gestión del estrés térmico.

Las medidas de control a adoptar para gestionar el estrés térmico son de orden general y específicas del trabajo.

Las pautas generales consisten en:

- Capacitar al personal acerca del estrés térmico y sus consecuencias y brindar instrucciones claras y precisas tanto verbales como escritas sobre el tema.
- Permitir la autolimitación de las exposiciones
- Fomentar la observación por parte de los trabajadores de los síntomas de tensión térmica.
- Propiciar la ingesta de agua en forma periódica.
- Hacer un seguimiento de los trabajadores con enfermedades previas que podrían complicarse con la exposición al calor.
- Recomendar la aclimatación
- Propiciar estilos de vida sana.

En cuanto a las pautas por trabajo específico, se recomienda considerar adecuaciones de infraestructura que reduzcan los procesos de calor y liberación de vapor de agua, así como la reducción de las fuentes de calor radiante, y mejoramiento de la ventilación . En este punto, vale destacar, la importancia que reviste el proyecto y cálculo de las instalaciones de acondicionamiento del aire, con parámetros adecuados para lograr los niveles de confort.

Si la industria en general, contara con ambientes de trabajo en los cuales estuvieran garantizados los niveles de confort térmico, la aparición de enfermedades y accidentes de trabajo por efectos del estrés por calor disminuirían, mejorando la calidad de vida de los trabajadores. Además, ambientes laborales térmicamente saludables, aumentan el rendimiento de la persona y mejoran su productividad.

### **2.3.5 Cambio climático y olas de calor**

El cambio climático está causando un calentamiento global del planeta. Además del aumento de las temperaturas medias de la Tierra, se está produciendo otro fenómeno cada vez con mayor frecuencia e intensidad, que son las “olas de calor”.

Las “olas de calor” son sucesos de calor extraordinario en una zona determinada, respecto a las condiciones climáticas de temperatura y humedad normales en cada estación del año. Dentro de estos episodios de calor extremo, las llamadas “ islas de calor urbanas” intensifican el impacto de las “olas de calor”. Las grandes áreas urbanas (construcciones, asfaltos, etc.) absorben el calor producto de las altas temperaturas y la radiación solar durante el día. Por la noche, el calor absorbido se libera muy lentamente en el entorno, lo que eleva la temperatura nocturna por encima de las temperaturas promedio de la región. Este efecto deteriora las condiciones de descanso y afecta el bienestar y la salud de las

personas [56] y como consecuencia, agrava los riesgos que enfrenta el trabajador en su vida laboral.

Como se ha visto [56,57,58,59,60,61,62], el calor excesivo es un riesgo para la salud y la seguridad ocupacional, disminuye las capacidades físicas y por lo tanto la capacidad productiva. Al aumentar la temperatura [62] por encima de los 26°C, la capacidad productiva disminuye y superados los 33 o 34°C, esa pérdida de producción está en un 50%. Si bien afecta a los trabajadores en todas las áreas, los mayores riesgos están en aquellas actividades de mayor esfuerzo físico o las que se desarrollan en el exterior. También, existe una alta incidencia en aquellos trabajadores que desempeñan su actividad en fábricas y/o talleres, cuando las temperaturas no se regulan adecuadamente, dado que altas temperaturas, además, producen fatiga psíquica aún en actividades livianas. Por ello, toma relevancia adoptar medidas para garantizar los niveles de confort térmico mediante el acondicionamiento del aire en el lugar de trabajo.

Según un informe de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) [62,63] el aumento de las temperaturas del planeta generará un incremento del estrés térmico y este efecto se convertirá en un problema habitual cuyas consecuencias serán la pérdida de empleos y de productividad tanto sea porque hace calor excesivo para trabajar o porque el ritmo de trabajo disminuya por el efecto de carga térmica. Se estima, para el año 2030, una pérdida de productividad equivalente a 80 millones de puestos de trabajo, a tiempo completo en todo el mundo y si el calentamiento global continúa más adelante del 2030, se estima una pérdida de productividad aún mayor.

Según Kjellstrom, T. et al. “ Se ha estimado que las pérdidas económicas debidas al estrés por calor alcanzaron los 280000 millones de dólares de los Estados Unidos en 1995; se prevé que esta cifra aumente a 2,4 billones (2400000 millones) en 2030, cuyo impacto será más acentuado en los países de ingresos más bajos y de ingresos medios bajos” [62].

Las consecuencias del cambio climático son mayores en los países con déficit de trabajo decente, con altos índices de pobreza y empleo informal, profundizando la brecha entre los países desarrollados y los subdesarrollados. El pronóstico para el 2030 indica que “cuanto mayor sea el número de horas de trabajo perdidas como resultado del estrés térmico, menor será la cobertura de sus sistemas de protección social” [62].

Entonces, ¿cómo dar respuesta a los efectos del calentamiento global desde la óptica del mundo del trabajo? Para responder a esta pregunta, las propuestas son generar políticas y programar acciones que permitan proteger a los trabajadores de las condiciones resultantes del aumento de las temperaturas del planeta como

así también, planificar medidas que permitan anticipar y mitigar los riesgos por efecto del cambio climático.

Para ello, los gobiernos, los trabajadores y los empleadores son los principales actores para trabajar en los cambios necesarios para la adaptación del hombre a esta nueva condición térmica, como así también, en la atenuación de sus efectos en el medioambiente laboral, profundizando el diálogo social, como lo recomienda la OIT en las Directrices de política para una transición justa hacia economías y sociedades ambientalmente sostenibles para todos [64].

Así, a través del diálogo social, planificar e implementar medidas que se adecuen a las necesidades reales y específicas del trabajador en su ambiente laboral frente a la acción y consecuencias del calentamiento global. En síntesis, “adoptar un enfoque coherente para un desarrollo económico sostenible” [56].

## **Capítulo 3**

### **Confort Térmico**

## Capítulo 3. Confort térmico

### 3.1 Introducción

Como antecedente principal del tema, se puede citar el método de Fanger [17] publicado en la Revista Británica de Medicina Industrial (1973), que luego la Norma ISO 7730: 2005 toma como base [6]. Valora el confort térmico en función del Voto Medio Estimado (PMV) y el Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPD). La estimación del Voto Medio se realiza en función de la aislación de la ropa, la tasa metabólica y las características del ambiente (temperatura, temperatura radiante, humedad relativa y velocidad del aire). Este método, denominado modelo fisiológico, permite determinar el porcentaje de personas insatisfechas con el ambiente. Supuso un avance importante con respecto a otros índices de confort térmico al incluir en la valoración, las variables que influyen en los intercambios térmicos hombre-ambiente, pero al desarrollarse en cámaras controladas, con jóvenes en reposo, de origen europeo o norteamericano, no contempla el inconfort térmico local, las condiciones reales de operatividad o los hábitos de trabajo regionales. Según Diego-Mas, J.A.:

El cálculo del voto medio estimado y del porcentaje de personas insatisfechas permite identificar situaciones de incomodidad térmica percibidas por el cuerpo en su conjunto, sin embargo existen una serie de factores tales como las corrientes de aire, la diferencia de temperatura vertical, la existencia de techos, paredes o suelos fríos o calientes (asimetría de la temperatura radiante), que pueden provocar incomodidad al trabajador aun cuando la situación global haya sido valorada como satisfactoria por el método Fanger. Así pues, en tales casos debería completarse la evaluación con el estudio de la llamada "incomodidad térmica local" [18].

Otra de las limitaciones en la aplicabilidad del método Fanger, según las recomendaciones de la norma ISO 7730- Ergonomía del ambiente térmico [6] es que el índice del Voto medio estimado (PMV) sólo debería utilizarse para evaluar ambientes térmicos en los que las variables implicadas en el cálculo permanecieran comprendidas dentro de ciertos intervalos de tasa metabólica ( 46 W/m<sup>2</sup> y 232 W/m<sup>2</sup>), aislamiento de la ropa (0 y 0,31 m<sup>2</sup> K/W), temperatura del aire ( 10°C y 30°C), temperatura radiante media (10 °C y 40 °C), velocidad del aire ( 0 y 1 m/s) y presión del vapor de agua ( 0 y 2700 Pa).

Con otro enfoque, los modelos adaptativos ( Brager, G. y De Dear, R. [19], Nicol, F. y Humphreys. M. [20]) tienen en cuenta el clima exterior para determinar las preferencias de confort interior, donde la persona no es un receptor pasivo, sino que junto al ambiente conforma un sistema dinámico. Estos dos enfoques teóricos encontrados (Gómez-Azpeitia, L. et al., 2007) no han podido dar respuesta para establecer los parámetros de diseño de las instalaciones de acondicionamiento del aire [21].

Por otro lado, Atmaca y Koçak [65] encontraron que las condiciones ambientales térmicas son uno de los factores más importantes en la industria desde el punto de vista de la productividad, la seguridad laboral y la salud humana. En la simulación, utilizaron un modelo de balance energético para determinar la zona de confort térmico. Identificaron que la temperatura operativa óptima decrece a medida que se incrementan los niveles de la actividad metabólica. En este trabajo se tuvo en cuenta la velocidad del aire, pero no se evidencia la influencia de la humedad relativa.

Otro antecedente es la experiencia presentada por Sun et al., donde se hace foco en la combinación entre la temperatura del ambiente y la temperatura del local acondicionado en modo ventilación, por el equipo de acondicionamiento del aire. En este caso, fueron dieciocho los sujetos de prueba y tres combinaciones de temperaturas, con una baja velocidad del aire para reducir una variable. Los resultados implican que, en comparación con el modo de climatización tradicional, que crea un entorno confortable uniforme fijando la temperatura del aire en 26 °C, la adopción de la ventilación local podría mejorar el confort térmico consumiendo menos energía". [66].

Los resultados de un caso de estudio en el Museo de Historia de Valencia, España sobre el confort térmico de sus visitantes destacó las limitaciones del modelo de Fanger cuando se aplica a esa tipología de edificios, enfatizando la necesidad de mayor investigación en ese campo [67]. Se pone en evidencia la incidencia de la actividad, las condiciones que debe cumplir el edificio para la conservación de las obras y su repercusión en las personas, donde el ropaje de los visitantes está en función de la temperatura externa, pero esto no garantiza su confort dentro del edificio durante la temporada cálida.

Diversos estudios sobre confort térmico se llevaron a cabo en escuelas de diferentes niveles. En un estudio realizado por Singh, M.K. et al. (2019), que recopila 93 artículos de investigación sobre el tema, los autores encontraron, para todos los niveles educativos, que los estudiantes estaban insatisfechos con el ambiente térmico y preferían elegir una temperatura más fría. Este estudio proporciona evidencia sólida de que existe la necesidad de un conjunto separado de diferentes

pautas o estándares para estudiantes de diferentes edades en diferentes etapas de su educación [68].

Otro estudio realizado por Martínez-Molina et al. [69] sobre la evaluación del confort térmico post-ocupación en una escuela primaria, puso la atención en la adaptación y actualización energética del edificio. Se realizó una evaluación post-ocupacional (POE), cuyo tamaño de muestra fue el aula. Se calcularon los valores estándares de PMV y PPD, tanto para alumnos como profesores y luego se los encuestó con relación a su nivel de confort. Los resultados demuestran que el estado de confort térmico de los niños es diferente que para los adultos y se enfatiza la subjetividad del concepto. Aquí se pone en evidencia nuevamente la incidencia de la edad y es una muestra más de la necesidad de buscar otras herramientas que nos permitan acercarnos a la realidad.

Según los estudios realizados por Forgiarini, R. & Ghisi, E. [70] en edificios de oficinas con aire acondicionado y de modo mixto utilizando para el confort térmico los modelos analíticos y adaptativos, encontraron que el modelo analítico sobreestimó la sensación de frío de los usuarios, principalmente por el modo de ventilación natural y no predijo adecuadamente el porcentaje de insatisfacción térmica de los usuarios. Por ello recomendaron adoptar una gama más amplia de condiciones térmicas interiores que las recomendadas por ASHRAE 55-2013 durante el funcionamiento del aire acondicionado”, mientras que la aplicación del modelo adaptativo resultaría inadecuada para edificios con aire acondicionado, aunque este resultado no era concluyente debido a no contar con datos suficientes.

En la misma línea investigativa, Jia, X. et al., [71] observaron que: “... no existe consenso entre estudios previos sobre cómo evaluar el confort térmico de los ocupantes de los edificios de modo mixto (MM). Este estudio tiene como objetivo comparar la aplicabilidad del modelo PMV-PPD y el modelo adaptativo en edificios MM y verificar si la percepción térmica de los ocupantes varía con los diferentes modos de funcionamiento...” Los resultados que obtuvieron revelaron que el modelo analítico no era adecuado para edificios con MM, y el modelo adaptativo demostró una mejor aplicabilidad en el modo de enfriamiento con aire acondicionado como en el de ventilación natural.

Los estudios de Gallardo, A. et al. demostraron que el modelo PMV predice hasta cierto punto la sensación térmica de los ocupantes, pero no logra estimar la temperatura a la que los ocupantes se sienten cómodos [72].

Según Piasecki, M. et al. (2019) , en los edificios de energía nula o casi nula (ZEB/ NZEB), a partir de las mediciones y pruebas sensoriales térmicas, “[...] se observó que los panelistas mostraban una mejor sensación de confort térmico a temperaturas más bajas que la que resultaría de la distribución tradicional de

Fanger, por lo que los autores propusieron una función experimental de porcentaje de insatisfechos (PPD) = f(PMV)" [73]. Otro caso que pone de manifiesto la necesidad de revisar la metodología de evaluación del confort térmico ante los nuevos retos.

En base a los antecedentes presentados, la investigación sobre el confort térmico se ha realizado principalmente en base a dos modelos desde el punto de vista conceptual y también, metodológico: el modelo matemático y el modelo adaptativo.

### **3.2 Modelos de confort térmico**

#### **3.2.1 Modelo matemático o analítico**

En el modelo matemático o analítico, se estudian los intercambios de calor persona-medio ambiente midiendo las variaciones fisiológicas que experimentan los sujetos de prueba. Se desarrollan ecuaciones de balance térmico que relacionan con valores fisiológicos obtenidos experimentalmente para predecir la sensación de confort. Se basan en la respuesta obtenida de un grupo de personas, de características específicas y en cámaras controladas, donde se les pregunta sobre su sensación térmica.

El modelo analítico más conocido y utilizado es el método de Fanger [17], también denominado modelo fisiológico. Este modelo resulta adecuado para evaluar el confort térmico en edificios siempre acondicionados.

Se basa en dos indicadores para valorar el confort térmico:

- a) Voto Medio Estimado (PMV)
- b) Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPD)

El Voto Medio Estimado (PMV) expresa el valor más probable de la sensación subjetiva de confort de un grupo de personas. Las ecuaciones que se emplean para calcularlo están basadas en las publicaciones de Fanger y en la Norma ISO 7730 [6,17,18, 74,75,76,77].

Se parte de una ecuación de balance térmico del cuerpo humano:

$$M - W = K + R + C + E + C_{res} + E_{res}$$

donde:

*M*: Producción interna de calor ( W/m<sup>2</sup>)

*W*: Potencia mecánica efectiva ( W/m<sup>2</sup>)

*K*: Intercambio de calor por conducción entre el cuerpo y las superficies

en contacto ( W/m<sup>2</sup>).

*C*: Intercambio de calor por convección ( W/m<sup>2</sup>).

*R*: Intercambio de calor por radiación ( W/m<sup>2</sup>).

*E*: Pérdida de calor por evaporación a través de la superficie de la piel (W/m<sup>2</sup>)

*C<sub>res</sub>*: Pérdida de calor sensible debido a la respiración (W/m<sup>2</sup>)

*E<sub>res</sub>*: Pérdida de calor latente a través de la respiración (W/m<sup>2</sup>)

Si se asume que las personas se encuentran con sensación térmica neutra, la ecuación de balance térmico es:

$$M - W = K + R + C + E_c + C_{res} + E_{res}$$

siendo:

*E<sub>c</sub>*: Pérdida de calor por evaporación en la piel con sensación térmica neutra ( W/m<sup>2</sup>)

Se calcula el Voto Medio Estimado ( PMV):

$$PMV = (0,303 * e^{-0,036 * M} + 0,028) * [(M - W) - K - R - C - E_c - C_{res} - E_{res}]$$

En la tabla 2, se puede determinar la sensación térmica en función del Voto Medio Estimado (PMV) [17]:

**Tabla 2:** Escala de Sensación Térmica

PMV	Sensación Térmica
+3	Muy caluroso
+2	Caluroso
+1	Ligeramente caluroso
0	Neutro
-1	Ligeramente fresco
-2	Fresco
-3	Frío

Para calcular el Porcentaje de Personas Insatisfechas, se utiliza la siguiente expresión:

$$PPD = 100 - 95 * e^{-(0,03353*PMV^4+0,2179*PMV^2)}$$

También, puede determinarse el Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPD) utilizando la figura 5:

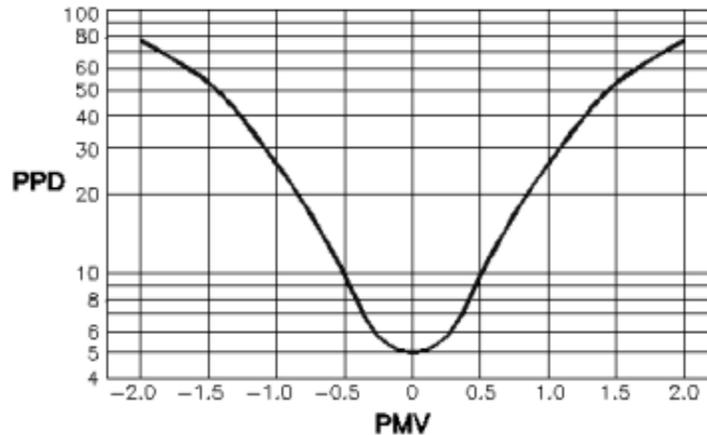


Figura 5: PPD en función PMV

Según Povl Ole Fanger, su ecuación de confort y el índice PMV son válidos para todas las personas, pero se ha comprobado a través de diferentes estudios de casos, en condiciones reales, que las preferencias térmicas de las personas no son las mismas y que dentro de estas preferencias, tiene influencia una componente geográfica.

### 3.2.2 Modelos adaptativos

Los modelos adaptativos se basaron en métodos cualitativos utilizando para la recopilación de datos: la observación, las encuestas y/o entrevistas en entornos reales de operatividad, generalmente en oficinas y viviendas, registrando todos los detalles posibles en cuanto al tipo de ropa utilizada, las características de las personas, la actividad y la temperatura. En general, las herramientas utilizadas para este modelo fueron estadísticas, cuyo objetivo fue determinar las temperaturas a las cuales la mayoría de las personas estarían en estado de confort, en función de la temperatura exterior, pero sin tener en cuenta parámetros de diseño como la humedad relativa interior.

Se basan en una extensa base de datos, obtenida de una exploración de campo. La muestra se toma, en general, en edificios de vivienda y oficinas, sin y con acondicionamiento del aire por sistemas mecánicos.

Según Gómez-Azpeitia, L. et al. [21] , los trabajos de Humphreys (1978) permitieron establecer dos conceptos fundamentales para el desarrollo posterior de los modelos adaptativos:

- a) la temperatura de neutralidad ( $t_n$ ), denominada también temperatura de confort,
- b) la relación de dependencia entre la temperatura de neutralidad ( $t_n$ ) y la temperatura media exterior ( $t_{em}$ ).

Esta relación entre la temperatura de neutralidad y la temperatura media exterior se determina en la mayoría de los modelos de adaptación por regresión lineal excepto, por ejemplo, en el modelo de Nicol y Roaf [21], donde se utilizó una herramienta de regresión exponencial.

Los modelos obtenidos por regresión lineal tienen la forma de:

$$t_n = m \cdot t_{em} + b$$

Siendo:

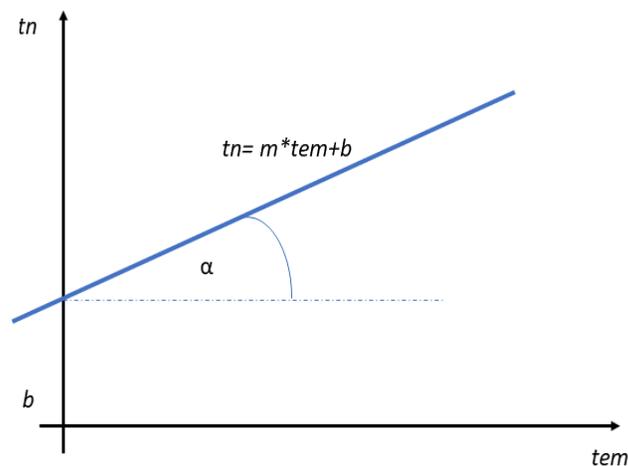
$t_n$  : temperatura de neutralidad o confort

$m = \tan \alpha$  : pendiente de la recta de regresión

$t_{em}$  : temperatura exterior media

$b$  : ordenada al origen de la recta de regresión

En la figura 6, se grafican los parámetros de la recta de regresión lineal:



**Figura 6.** Ecuación de la Recta de Regresión.

A continuación, en la tabla 3 se exponen diferentes modelos adaptativos [21] y se indica la recta de regresión, obtenida según sus autores:

**Tabla 3-** Temperaturas de confort (tn) obtenidas a partir de diferentes modelos adaptativos.

Autor	$tn = m(\text{tem}) + b$
Humphreys(1976) [21]	$tn = 0.534(\text{tem}) + 11.9$
Auliciems (1981) [21]	$tn = 0.31(\text{tem}) + 17.6$
Griffiths (1990) [21]	$tn = 0.534(\text{tem}) + 12.1$
Nicol et al.(1993) [21]	$tn = 0.38(\text{tem}) + 17.0$
Brager- De Dear ( 1998) [21]	$tn = 0.31(\text{tem}) + 17.8$
Humphreys-Nicol (2000) [21]	$tn = 0.54(\text{tem}) + 13.5$

Los modelos adaptativos dificultan la generalización al existir una gran cantidad de datos, si bien se puede realizar un metaanálisis que permite combinar estadísticamente múltiples estudios. De todas formas, aún se puede presentar un problema de sesgo de publicación, al no tomar en cuenta estudios con resultados negativos o que no hayan tenido la posibilidad de ser publicados

### 3.2.3 Análisis comparativo entre modelos de confort térmico

A continuación, en la Tabla 4 se hace un cuadro resumen de los autores, modelos y sus limitaciones:

**Tabla 4 -** Modelos de Confort Térmico y sus Limitaciones.

AUTOR	MODELO	MÉTODO	TÉCNICAS	HERRAMIENTAS	LIMITACIONES
Fanger, P.O. [17]	Matemático/ Analítico	Cuantitativo	Experimental	Experimento de laboratorio. Condiciones controladas para la recolección de datos a través de mediciones.	Modelo estático de intercambio de calor. Personas en estado de reposo. Edificios acondicionados mecánicamente. No es específico para industrias. No contempla la adaptabilidad del ser humano a su ambiente.

---

Brager, G. y De Dear, R. [19]	Adaptativo	Cualitativo	De Campo	Utilizan modelos estadísticos, en general, regresión lineal.	Es subjetivo.  Brindan la Temperatura de confort en función de la temperatura exterior de Bulbo seco.  No toman en cuenta la RH%.  No son específico para industria.
Nicol , F. y Humphreys, M. [20]					
Gomez- Azpeitia, L. et al. [21]  Singh, M.K. et al. [68]	Artículos de revisión	Búsqueda y localización de la información  Criterios de decisión.	Análisis y evaluación	Realizan una revisión y comparación de los enfoques cuantitativo y cualitativo predominantes.  Exponen diferentes modelos de enfoque cualitativos.	Los artículos de revisión del estado del arte evidencian las limitaciones de los modelos utilizados, que no alcanzan para brindar la comodidad higrotérmica.

---

Los métodos cuantitativos y cualitativos analizados ponen en evidencia que aún no se ha podido satisfacer el tema del confort térmico [21]. Si bien el modelo adaptativo indicaría dar mejor respuesta al problema respecto del método de Fanger dada su sencillez, su gran desventaja es la diversidad de variables del dominio que entran en juego, que han sido puestas de manifiesto por estudios de casos, algunos de los cuales por su impacto en el estudio de las variables se han presentado como antecedentes en esta memoria, y que se resumen a continuación en la tabla 5:

**Tabla 5-** Aportes a los Modelos de Confort Térmico.

AUTORES	CARACTERÍSTICAS	LIMITACIONES
Atmaca, I. y Koçak , S. [65]	Los autores presentan estudios de casos para diferentes tipos de edificios y/o destinos específicos, con acondicionamiento mecánico, en modo ventilación natural o mixto.	. A partir de estos estudios se desprende que aún existen muchas áreas del dominio que no están contempladas en el análisis del confort térmico.
Sun et al [66]		
Martínez-Molina [67, 69]	Aplican el método cualitativo y/o cuantitativo para determinar el nivel de confort térmico o realizan comparaciones y/o verificaciones entre ambos métodos.	. Se ponen en evidencia las limitaciones que tienen ambos enfoques; tanto el cualitativo como el cuantitativo
Forgiarini, R. Y Ghisi, E. [70]		
Jia, X.( 2020) [71]		
Gallardo, A. [72]		
Piasecki, M. [73]		

Como puede observarse a partir de los antecedentes sobre los modelos de análisis de confort térmico y sus limitaciones presentados, las investigaciones se han basado en el método de Fanger [17,18], en técnicas estadísticas [19,20,21, 68] y/o en estudios de casos comparados [65,66,67,69,70,71,72,73] .

Como consecuencia de lo expuesto anteriormente, también resulta de interés analizar los antecedentes normativos sobre el tema, a los efectos de conocer el alcance que tienen las normas en este sentido, especialmente en el ámbito industrial, de relevancia para la seguridad y salud ocupacional.

### **3.3. Normativas españolas y argentinas**

Esta revisión teórica inicia con un análisis de las normas y reglamentos que regulan el confort térmico industrial en España y Argentina.

Para llevar a cabo la tarea, se han considerado los siguientes documentos para su estudio:

### 3.3.1. Normativa española

- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), 2007-BOE 207 [78]
- Norma ISO 7730-2005: Ergonomía del ambiente térmico [6]
- Nota Técnica de Prevención (NTP) 74: Confort térmico - Método de Fanger para su evaluación [79]
- Nota Técnica de Prevención (NTP) 501: Ambiente térmico e incomfort térmico local. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo, 1998 [80]
- Ley de prevención de riesgos laborales (LPRL)- Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales: Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, (BOE 97 del 23 de abril de 1997) [81]

El primer documento en análisis, el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)-BOE 207 [78] es una medida de desarrollo del Plan de acción de la estrategia de ahorro y eficiencia energética en España (2005-2007).

Tiene un enfoque basado en prestaciones u objetivos en oposición al enfoque tradicional de los reglamentos prescriptivos. Indica los requisitos que deben satisfacer las instalaciones térmicas, pero no obliga al uso de una determinada técnica o material, ni impide la utilización de nuevas tecnologías, permitiendo aplicar soluciones innovadoras.

Este reglamento constituye el marco normativo que regula las exigencias de eficiencia energética y de seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas de los edificios y establece en su Parte I- Disposiciones Generales, art. 2- Ámbito de aplicación que:

A efectos de la aplicación del RITE se considerarán como instalaciones térmicas las instalaciones fijas de climatización (calefacción, refrigeración y ventilación) y de producción de agua caliente sanitaria, destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas." (Boletín Oficial del Estado 207, 2007, p.35934)

Por otro lado, en su Parte II- Instrucciones Técnicas (IT), establece que el ámbito de aplicación es el indicado en el art. 2 citado precedentemente y que el proceso de verificación de la norma contempla la exigencia de calidad del ambiente térmico, donde se establecen temperatura operativa, humedad relativa y velocidad media del aire. Según la I.T. 1.4.1.1.2. , las condiciones interiores de diseño de las instalaciones de acondicionamiento del aire se fijan " en base a la actividad

metabólica de las personas, su grado de vestimenta y el porcentaje estimado de insatisfechos (PPD),...” (Boletín Oficial del Estado 207, 2007, p.35945).

Brinda las condiciones interiores de diseño, para personas con actividad metabólica sedentaria de 1,2 met (unidad de índice metabólico) con grado de vestimenta 0,5 clo en verano y 1 clo en invierno, siendo el “clo” la unidad que mide las características térmicas del vestido, con un porcentaje estimado de insatisfechos entre 10% y 15%. El rango de temperaturas y de humedades relativas indicado es amplio.

Para otras condiciones de actividad metabólica, diferente grado de vestimenta y para otros PPD, se indica la aplicación de la norma ISO 7730 [6].

La norma ISO 7730: Ergonomía del ambiente térmico (ISO 7730:2005), basa el análisis del confort térmico en el Método Fanger, que originalmente fuera publicado en la Revista Británica de Medicina Industrial en 1973, y utilizado como recomendación en la NTP 74: Confort Térmico: Método de Fanger para su evaluación, del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (España) [79] , donde se exponen los principales aspectos del método. Valora el estado de confort térmico en función del Voto Medio Estimado (PMV) y el Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPD). La estimación del Voto Medio se realiza en función de la aislación de la ropa, la tasa metabólica y las características del ambiente (temperatura, temperatura radiante, humedad relativa y velocidad del aire). Este índice permite determinar el porcentaje de personas insatisfechas con el ambiente [17].

Asimismo, la NTP 501: Ambiente térmico: Inconfort térmico local [80], explicita que si bien en los trabajo de Fanger (NTP 74) se deben cumplir dos condiciones para que las personas manifiesten satisfacción con el ambiente térmico: a) balance térmico ; b) temperatura de la piel y cantidad de exudación entre ciertos límites, aún puede existir inconfort local por corrientes de aire, asimetría de planos radiantes, contactos con superficies frías o calientes y diferencias verticales de temperaturas. Esta recomendación conduce a la necesidad de tener en cuenta estas últimas variables, además de aquellas consideradas por Fanger.

La Ley 31/1995 del 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales-BOE 269, del 10 de noviembre de 1995-Última modificación: 29 de diciembre de 2014 (Referencia: BOE-A-1995-24292)- Edición actualizada al 13 de marzo de 2019 tiene:

por objeto la determinación del cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo, y ello en el marco de una

política coherente, coordinada y eficaz de prevención de los riesgos laborales. (Boletín Oficial del Estado 269, 1995, 5).

La norma reglamentaria que entiende sobre el tema que nos ocupa, es el Real Decreto 486/1997 del 14 de abril, (BOE de 23 de abril de 1997) [81], donde se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. En su anexo III, Condiciones ambientales de los lugares de trabajo, establece que en los lugares cerrados deben cumplirse las siguientes condiciones:

En los locales de trabajo cerrados deberán cumplirse, en particular, las siguientes condiciones: a) La temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27 °C. La temperatura de los locales donde se realicen trabajos ligeros estará comprendida entre 14 y 25 °C. b) La humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70 por 100, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será el 50 por 100. c) Los trabajadores no deberán estar expuestos de forma frecuente o continuada a corrientes de aire cuya velocidad exceda los siguientes límites: 1.º Trabajos en ambientes no calurosos: 0,25 m/s. 2.º Trabajos sedentarios en ambientes calurosos: 0,5 m/s. 3.º Trabajos no sedentarios en ambientes calurosos: 0,75 m/s. Estos límites no se aplicarán a las corrientes de aire expresamente utilizadas para evitar el estrés en exposiciones intensas al calor, ni a las corrientes de aire acondicionado, para las que el límite será de 0,25 m/s en el caso de trabajos sedentarios y 0,35 m/s en los demás casos (Boletín Oficial del Estado, 1997, 70).

Puede observarse que esta reglamentación no contempla el trabajo moderado y/o fuerte, que puede darse en la industria y solamente brinda recomendaciones en rangos de temperatura y humedad relativa.

### **3.3.2. Normativa argentina**

- Ley N° 19587/72 de Higiene y Seguridad en el Trabajo [82] y su Decreto Reglamentario N° 351/79 [83].
- Resolución 295/2003- Anexo III [55]
- Ley 13059/03 de Ahorro Energético de la Provincia de Buenos Aires, reglamentada por el Decreto N° 1030/10, y cuyas normativas a cumplimentar están normalizadas por el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) [84].

- Ley N° 4458/12 sobre Normas de Acondicionamiento térmico en la construcción de edificios y cuyas especificaciones fueron incluidas en el Código de Edificación de la Ciudad de Buenos Aires [85].
- Norma ISO 7730: 2005: Ergonomía del ambiente térmico [6]

Si se analiza la normativa argentina, se cuenta con una Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo de orden nacional (Ley N° 19587) [82] y su Decreto Reglamentario N° 351/79 [83]. En su Anexo II (Anexo sustituido por el Anexo III de la Resolución N° 295/2003 [55] del Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social -B.O. 21/11/2003-) refiere solo al Estrés Térmico.

Por otro lado, se cuenta con reglamentaciones en el ámbito provincial y de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), tales como:

- Ley 13059/03 de Acondicionamiento Térmico de Edificios de la Provincia de Buenos Aires, reglamentada por el Decreto N° 1030/20 [84], y cuyas normativas a cumplimentar están normalizadas por el Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).
- Ley N° 4458/12 sobre Normas de Acondicionamiento Térmico en la construcción de edificios [85] y cuyas especificaciones fueron incluidas en el Código de Edificación de la Ciudad de Buenos Aires.

El Decreto reglamentario 1030/20 de la Ley 13059/03 estipula en el Anexo I, las normativas, alcances y disposiciones de diseño en edificios de habitación humana.

La Normativa vigente a cumplimentar es la siguiente:

- Norma IRAM N° 11549. Aislamiento térmico de edificios. Vocabulario.
- Norma IRAM N° 11601. Aislamiento térmico de edificios. Propiedades térmicas de los materiales para la construcción. Método de cálculo de la resistencia térmica total.
- Norma IRAM N° 11603. Aislamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina.
- Norma IRAM N° 11604. Aislamiento térmico de edificios. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor.

- Norma IRAM N° 11605. Aislamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en viviendas. Valores máximos admisibles de Transmitancia Térmica “K” (como máximo los valores correspondientes a Nivel B).
- Norma IRAM N° 11625. Aislamiento térmico de edificios. Verificación del riesgo de condensación del vapor de agua superficial e intersticial en paños centrales.
- Norma IRAM N° 11630. Aislamiento térmico de edificios. Verificación riesgo de condensación intersticial y superficial en puntos singulares.” (Boletín Oficial de la Provincia de Buenos Aires N° 26406, 2010)

La Ley N° 4.458, sancionada el 13 de diciembre de 2012 y publicada en el Boletín Oficial de la Ciudad de Buenos Aires (BOCABA N° 4142 del 30/04/2013) incluye como exigencias, las mismas Normas IRAM que la Provincia de Buenos Aires, más las que se detallan a continuación:

- Norma IRAM N°11659-1. Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 1: vocabulario, definiciones, tablas y datos para determinar la carga térmica de verano.
- Norma IRAM N°11659-2. Acondicionamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 2: edificios para vivienda.
- Norma IRAM N° 11900. Etiquetado de Eficiencia Energética de Calefacción para Edificios.” (BOCBA N°4142, 2013)

La Norma ISO 7730: Ergonomía del ambiente térmico [6], no se encuentra exigida en las reglamentaciones argentinas analizadas.

### **3.3.3 Comparación entre las normativas españolas y argentinas.**

Las exigencias normativas españolas y argentinas toman en consideración los requisitos constructivos en cuanto a la resistencia térmica de paredes, pisos y techos, y el ahorro energético de edificios, pero se puede observar que no refieren específicamente a edificios industriales.

En España, la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales y el Real Decreto 486/1997, reglamenta en el Anexo III las condiciones ambientales de los lugares de trabajo, brinda rangos recomendados para los parámetros higrotérmicos, pero no contempla el trabajo moderado y/o fuerte, que puede producirse en la

industria, en condiciones reales de operatividad ni los hábitos regionales de trabajo. En la Ley Argentina N° 19587/72 de Higiene y Seguridad en el Trabajo y su Decreto Reglamentario N° 351/79, Anexo II sustituido por el Art. 3° de la Resolución 295/2003, brinda valores máximos permisibles para estrés térmico por frío y por calor, pero no valores higrotérmicos para confort.

Si bien las Notas Técnicas de Prevención ( NTP) son una herramienta de consulta en España, el inconfort térmico local se encuentra contemplado en la NTP 501. En el caso de Argentina, el inconfort térmico local no está especificado en las normativas analizadas en este estudio.

Por otro lado, si bien la Norma ISO 7730: Ergonomía del ambiente térmico es utilizada en Argentina, no se encuentra exigida en las reglamentaciones analizadas, a diferencia de España que está considerada en el RITE. Con respecto a los parámetros higrotérmicos a utilizar, Fanger produce un importante avance respecto de otros índices de evaluación del confort (uno de los más conocidos fue el de temperatura efectiva) al incluir en el método de valoración variables que influyen en los intercambios térmicos hombre-medio ambiente (nivel de actividad, características del vestido, temperatura de bulbo seco, humedad relativa, temperatura radiante media y velocidad del aire), pero este método fue desarrollado en cámaras controladas, con personas jóvenes en reposo y de origen europeo o norteamericano, sin ser específico para la industria. Es un modelo estático de intercambio de calor y no contempla la adaptabilidad del ser humano a su ambiente.

Asimismo, las normas en estudio, tampoco tienen en cuenta el enfoque cualitativo ni los modelos adaptativos.

Del análisis efectuado se desprende que, si bien existen reglamentaciones relacionadas con requisitos constructivos que se basan en optimizar la resistencia térmica de paredes, pisos y techos, existe una vacante normativa y de cálculo con relación al nivel de confort térmico en edificios industriales, que responda no solo a parámetros de diseño, sino además al tipo de actividad, rango horario, época del año, y región geográfica. (Benito, González-Gaya y Sebastián Pérez, 2019) [86].

A partir de estas consideraciones, surgen algunas preguntas tales como: ¿cuáles son los parámetros higrotérmicos de confort, específicos para condiciones laborales reales (rangos horarios/actividades) y climáticas regionales?, ¿se pueden determinar diferentes alternativas de pares de temperatura y humedad relativa para confort, en función de la actividad, horario, época del año y zona de estudio?

Para intentar dar respuesta a estos interrogantes, se propone a continuación, una metodología para el análisis de parámetros higrotérmicos de confort industrial.

### 3.4. Metodología propuesta

La metodología de investigación es el conjunto de técnicas y herramientas para llevar a cabo el proceso investigativo y recopilar los datos pertinentes. En el caso que nos ocupa, consiste en:

- Relevamiento de industrias en la zona en estudio. Se opta por aquellas empresas que puedan brindar información sobre el confort térmico en diferentes horarios y actividades, en verano e invierno.
- Encuesta sobre confort térmico en el lugar de trabajo.
- Análisis de los datos obtenidos y tratamiento de los errores (valores atípicos y faltantes). Construcción de gráficos de confort térmico en función de la temperatura interior, humedad relativa interior, horario, tipo de actividad, estación del año y región en estudio.
- Utilización de gráficos de caja y bigotes para mostrar el conjunto de datos a través de sus cuartiles y brindar valores recomendados.
- Preparación de datos, con su exploración y auditoria generando los archivos que serán explotados por las herramientas empleadas: WEKA [87] y ELVIRA [88].
- Aplicación de la herramienta WEKA para obtener los árboles de decisión para confort térmico en verano e invierno para la zona en estudio. Este software fue desarrollado en la Universidad de Waikato en Nueva Zelanda y es de código abierto emitido bajo la GNU (General Public License). Está definido como “una colección de algoritmos de aprendizaje automático y preprocesamiento de datos.” (Witten, I.et al. [89])
- A partir de los árboles de decisión, construcción de los ficheros de datos para obtener las redes de inferencia con Elvira. Este programa “está destinado a la edición y evaluación de modelos gráficos probabilistas, concretamente redes bayesianas y diagramas de influencias.” (Díez Vegas, F.,[90])
- Obtenidas las redes de inferencia, contrastación de las hipótesis.
- Validación de los resultados obtenidos, aportando las recomendaciones de confort térmico.

## **Capítulo 4**

# **Experimentación**

## Capítulo 4.- Experimentación

### 4.1. Contextualización

La Argentina, ubicada en América del Sur, tiene un territorio que se caracteriza por la diversidad climática debido a su extensa superficie. Sus puntos extremos continentales están dados en el Norte por la confluencia de los ríos Grande de San Juan y Mojinete en la Provincia de Jujuy (Latitud 21° 46' 52" S; Longitud 66° 13' 17" O) .Hacia el Sur, el punto extremo es el Cabo San Pío en la isla Grande de Tierra del Fuego, Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur (Latitud 55° 03' 21" S; Longitud 66° 31' 25" O). El punto Este, está dado por el Hito V (CONALI), punto situado en la localidad de Bernardo de Irigoyen, Provincia de Misiones (Latitud 26° 14' 59" S; Longitud 53° 38' 15" O) y en el Oeste, está ubicado en el Parque Nacional Los Glaciares, Provincia de Santa Cruz ( Latitud 50° 01' S; Longitud 73° 34' O) [91]. La diversidad climática es producto de la extensa longitud del territorio entre los puntos extremos Norte-Sur de 3694 Km y abarca desde los climas tropicales en el norte hasta los climas fríos en el sur del país.

Aunque la amplitud del territorio en la dirección Este-Oeste (1423 Km) no es tan extensa , la cordillera de los Andes, condiciona fuertemente el clima regional en el oeste, que sumado a la distancia que se encuentra del Océano Atlántico, le da características continentales hacia el noroeste. Hacia el sur, la cordillera es más baja y los vientos del oeste producen precipitaciones sobre una franja del lado argentino, aunque luego siguen secos hacia la Patagonia. En Cuyo, zona oeste central, el clima tiene veranos cálidos e inviernos fríos, con variaciones importantes de temperatura entre el día y la noche,especialmente en invierno mientras en la zona este, que abarca las provincias de La Pampa, parte de Santa Fé, Córdoba y Entre Ríos, la provincia de Buenos Aires y la Ciudad Autónoma ( C.A.B.A.), el clima es templado.

Si bien el clima predominante es el templado, se presentan en la figura 7, las cuatro grandes zonas climáticas del país.

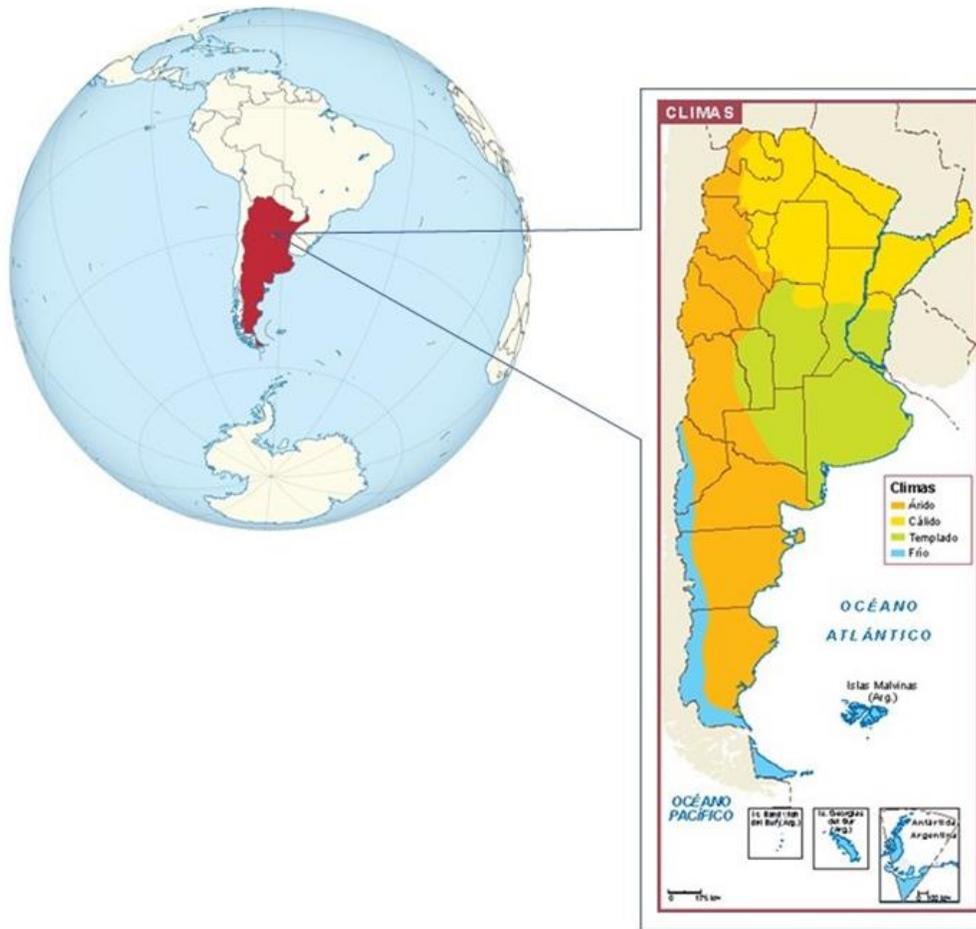


Figura 7. Zonas climáticas de Argentina [92,93]

#### 4.2. Experiencias previas en Argentina

Benito y Agnoli [94] realizaron un estudio sobre los niveles de confort térmico en la región de Buenos Aires y Ciudad Autónoma (C.A.B.A.). En esta oportunidad, fueron relevadas y seleccionadas industrias del área. Se registraron los datos obtenidos a través de una encuesta de confort térmico en dos etapas: verano e invierno. Se confeccionaron tablas y gráficos de temperatura de bulbo seco y humedad relativa en función del tipo de trabajo, porcentaje de confort, rango horario y época del año.

Este estudio permitió obtener estadísticamente valores recomendados para la región, rango horario, actividad y estación del año, indicados en la tabla 6, y realizar la contrastación en un entorno real al reproducirse los resultados obtenidos utilizando los equipos de acondicionamiento del aire existentes en el lugar de trabajo.

**Tabla 6:** Valores recomendados para la zona este de Argentina

<i>Trabajo Físico</i>	<i>Verano</i>	<i>Invierno</i>
Leve	26°C/46%	21°C/45%
Moderado	25°C/50%	20°C/55%
Fuerte	22°C/65%	18,5°C/48%

Benito, P. y Agnoli, D. (2011). Niveles de confort térmico regionales para distintas condiciones en el ambiente de trabajo. *Revista de Seguridad*, 70 (410), 26 - 28.

Por otro lado, el Grupo de Estudio sobre Energía (G.E.S.E) de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) presentó en el Seminario Nacional UTN- Regional Mendoza (2012) un proyecto de investigación en el que proponían la elaboración de un mapa bioclimático, que ofreciera índices de confort para la Ciudad y provincia de Buenos Aires [95].

Otro estudio de caso [96] se llevó a cabo en la zona oeste del país, cuyos resultados infieren relaciones específicas entre el confort térmico y variables tales como el ámbito regional, la época del año, el horario y la actividad, dando respuesta a parámetros de diseño interior específicos para condiciones laborales reales y climáticas de una región, que se indican en tabla 7:

**Tabla 7:** Valores recomendados para la zona oeste de Argentina

Trabajo Físico	Verano	Invierno
Leve	27,0°C/63%	25,2°C/46,8%
Moderado	24,5°C/52%	24,0°C/34,5%
Fuerte	22,0°C/60%	23,0°C/42,0%

Benito, P. et al. (2018). Climate Change, Environment and Biosphere: Thermal Comfort Levels. *Revista de investigaciones científicas de la Universidad de Morón*, 2 (3), 45-49.

También, en esta ocasión y a los efectos de verificar los valores recomendados se usaron los equipos de aire acondicionado existentes en el lugar de trabajo en condiciones reales de operatividad y se pudo corroborar, a través de encuestas, el estado de confort del personal.

Al realizarse la contrastación en el lugar de trabajo surge un problema. Si bien la temperatura interior puede regularse con cierta facilidad en los equipos de acondicionamiento del aire, no sucede así con la humedad. Esto pone en evidencia que no alcanza con los valores de temperatura y humedad interior recomendados,

porque si varía la humedad del ambiente, también varía la temperatura de confort. Por ello, se hace necesario contar con pares de valores de temperatura interior y humedad relativa interior que permitan brindar un estado de comodidad higrotérmica sin dejar de lado las variables ya mencionadas ni las condiciones subjetivas que se ponen en juego.

### **4.3. Casos a estudiar y planteamiento del estudio**

Con la finalidad de extender el desarrollo de este estudio a otras regiones de Argentina, se relevan las zonas norte y sur del país, con características climáticas diferentes, donde entre otras consideraciones, se pone de relevancia la latitud en la determinación de los parámetros higrotérmicos de confort.

La zona sur del país es una región de clima árido y semidesértico predominantemente frío. En verano, los días son despejados con temperaturas no tan bajas, pero en invierno los fríos son intensos. La inmediatez de los Océanos Atlántico y Pacífico actúa como regulador de la temperatura. (Ministerio del Interior, Argentina, [97].). La región norte de Argentina tiene un clima predominantemente subtropical. Hay zonas con estaciones húmedas, con niveles de humedad relativa superiores al 50% [98].

El objetivo de estos casos de estudio es intentar brindar respuestas a los problemas que se plantean en los estudios previos y en los antecedentes del tema.

#### **4.3.1. Planteamiento del estudio**

Al analizar los antecedentes presentados sobre comodidad higrotérmica sobresalen los siguientes ítems, que refuerzan el propósito de esta investigación:

- a) la subjetividad del concepto [6], que depende de factores varios.
- b) la importancia del tema para la salud ocupacional, según la OMS y la OIT [4, 5, 7],
- c) las normas y reglamentos sobre confort térmico contemplan los edificios en general, sin tener en cuenta las particularidades de la industria como ser el tipo de actividad, el horario en el que se desarrollan las tareas, la estación del año y la región específica [78,79,80,81,82,83,84,85],
- d) la relevancia que tiene el confort térmico para la seguridad en el trabajo y su repercusión en la productividad [4,5,7,8],

#### **4.3.2. Objetivos**

Los objetivos que se han planteado en esta investigación son:

- Mostrar que los parámetros higrotérmicos son específicos (temperatura interior y humedad relativa interior) para las

condiciones laborales y climáticas de cada una de las regiones geográficas.

- Explorar el comportamiento de técnicas bayesianas para predicción y mejor explotación de resultados, utilizando los datos colectados en la experimentación de campo, que en este caso está localizada en las zonas norte y sur de Argentina.

Para responder a estos objetivos, las preguntas que se formulan son:

- ¿Cuáles son los parámetros de confort térmico específicos (temperatura interior y humedad relativa interior) para las condiciones laborales (rangos horarios / actividades) y climáticas de la zonas norte y sur de Argentina?
- ¿Se pueden obtener otras alternativas de temperatura y humedad para las zonas en estudio, en función de la actividad, horario y época del año, que den también respuesta a niveles de confort en la región, mediante la aplicación de técnicas de inferencias bayesianas?

#### **4.3.3. Hipótesis**

Las hipótesis planteadas:

H1: Los Niveles de confort térmico industrial son específicos para cada actividad, rango horario y época del año, de acuerdo con la región geográfica considerada.

H2: La metodología de análisis aplicada, mediante técnicas de inferencias bayesianas permite obtener diferentes alternativas de temperatura y humedad relativa en función de las variables establecidas.

#### **4.4. Toma de datos**

La experimentación de campo se realiza en las zonas sur y norte de Argentina en empresas de diferentes rubros realizando la observación y registro de:

- Temporada del año (verano/invierno)
- Días y Horarios:

Para la temporada de verano, las cargas de refrigeración varían en función de la hora solar, por ello la recogida de datos se realiza en tres horarios: 10.00 h, 15.00 h y 18.00 h, a los efectos de tener en cuenta la influencia de esta variable.

En la temporada de invierno, la hora solar favorece a las cargas de calefacción, por ello se toman los datos en un solo horario: 10.00 h.

- Actividad (Leve- Moderado-Fuerte)
- Temperatura Interior ( °C)
- Humedad Relativa Interior (%)
- Región geográfica ( zona en estudio)
- Estado de confort térmico: Escala del 1 al 10 donde:

1: totalmente inconfortable

10: totalmente confortable.

La colección de datos se realiza a través de una sencilla entrevista sobre confort térmico, utilizándose el siguiente formulario que se identifica como tabla 8.

**Tabla 8-** Formulario para entrevista sobre Confort Térmico

PLANILLA DE CONFORT TÉRMICO - VERANO/INVIERNO			
REGIÓN:			
EMPRESA/INSTITUCIÓN:			
DIRECCIÓN:			
EMAIL:			
ÁREA:			
ACTIVIDAD:			
DÍA:			
PERSONAL	TEMPERATURA	HUMEDAD RELATIVA	ESTADO [1 a 10]
	°C	%	

Los requerimientos para la realización de la encuesta son:

- explicitar antes de realizar el sondeo que las respuestas tienen un tratamiento anónimo tanto para empleados como para la empresa, y que sus resultados son utilizados al solo efecto de este proceso investigativo.
- Tiempo mínimo de respuesta para no interferir con las actividades del personal.
- Considerar que las personas encuestadas tienen ropaje similar o el uniforme de trabajo.
- Se considera que la velocidad del aire no tiene una influencia determinante (Quadri, [15])
- La medición de la temperatura y humedad relativa se realiza con un higrómetro especialmente diseñado para el seguimiento a largo plazo de las condiciones climáticas interiores. Este medidor de la calidad del aire tiene un sensor de temperatura con un rango de medición entre 0 - 50 ° C- resolución 0,1°C ( $\pm 0,15$  °C entre 0 - 20 °C y  $\pm 0,1$  °C entre 20 - 50 °C) y un sensor de humedad relativa con un rango de medición entre 0-100% RH- resolución 0,1%RH ( $\pm 1,5$  % RH entre 0- 80 % RH)
- Se clasifica el estado de confort en tres categorías:
  - Confort Bajo: Estados del 1 al 4
  - Confort Medio: Estados 5, 6 y 7
  - Confort Alto: Estados 8, 9 y 10

En el caso de la zona sur de Argentina, los datos recopilados se detallan en el Anexo A . Para la zona norte de Argentina, en el Anexo B

#### **4.5. Análisis de los datos**

Para realizar el análisis de los datos recopilados, se procede de la forma que se detalla a continuación:

- La elección de la muestra es simplemente aleatoria. Una vez registrados los datos de los dos períodos (verano e invierno), se procede a su clasificación. Se consideran tres niveles de confort térmico

Estado 1 a 4=confort térmico bajo

Estado 5 a 7=confort térmico medio

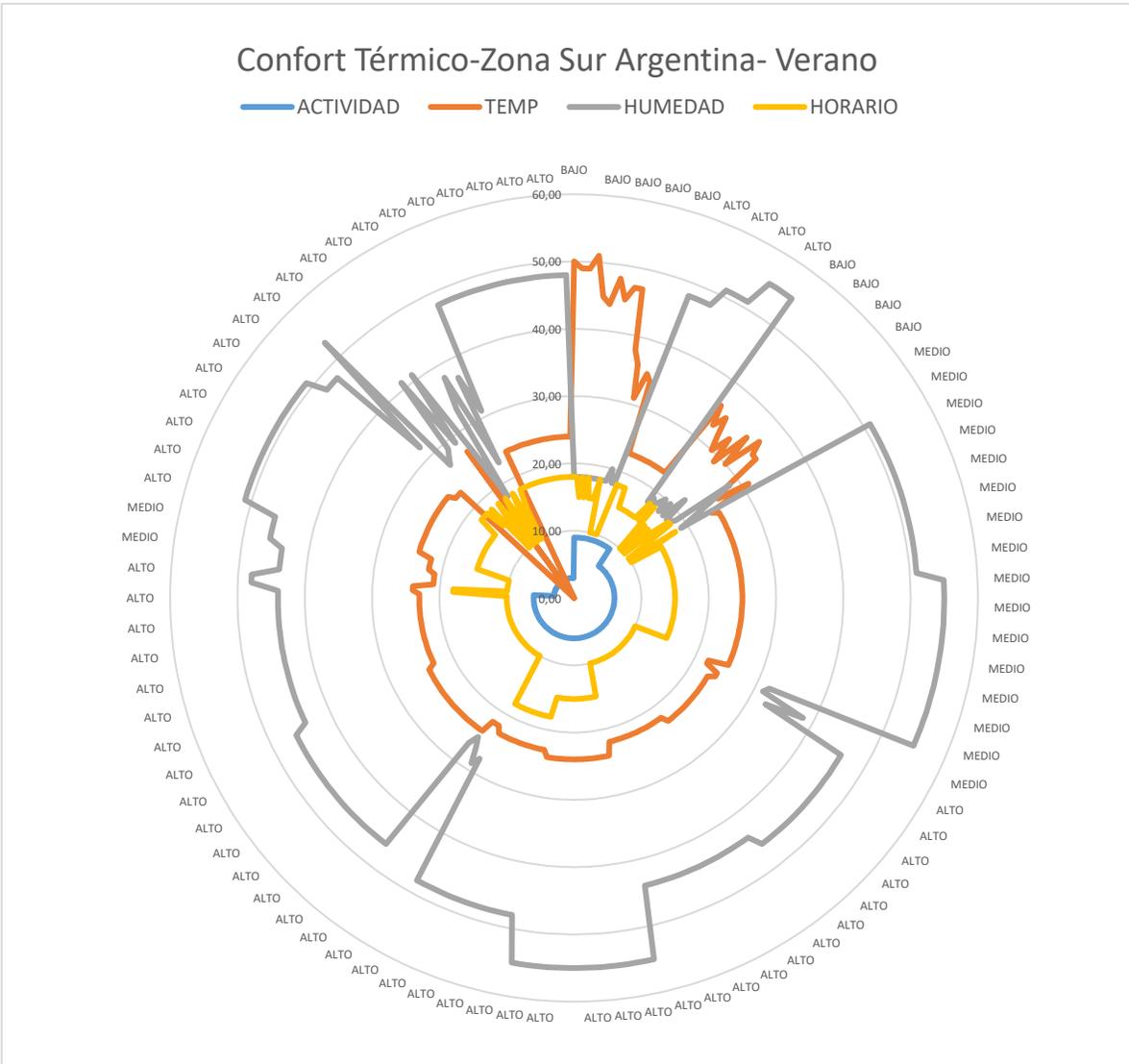
Estado 8 a 10=confort térmico alto

- Se elaboran gráficos de confort térmico para la zona en estudio, a los efectos de contar con pares de valores de temperatura interior y humedad relativa interior en función de la actividad, horario, y época del año para diferentes estados de confort, los que se muestran en las

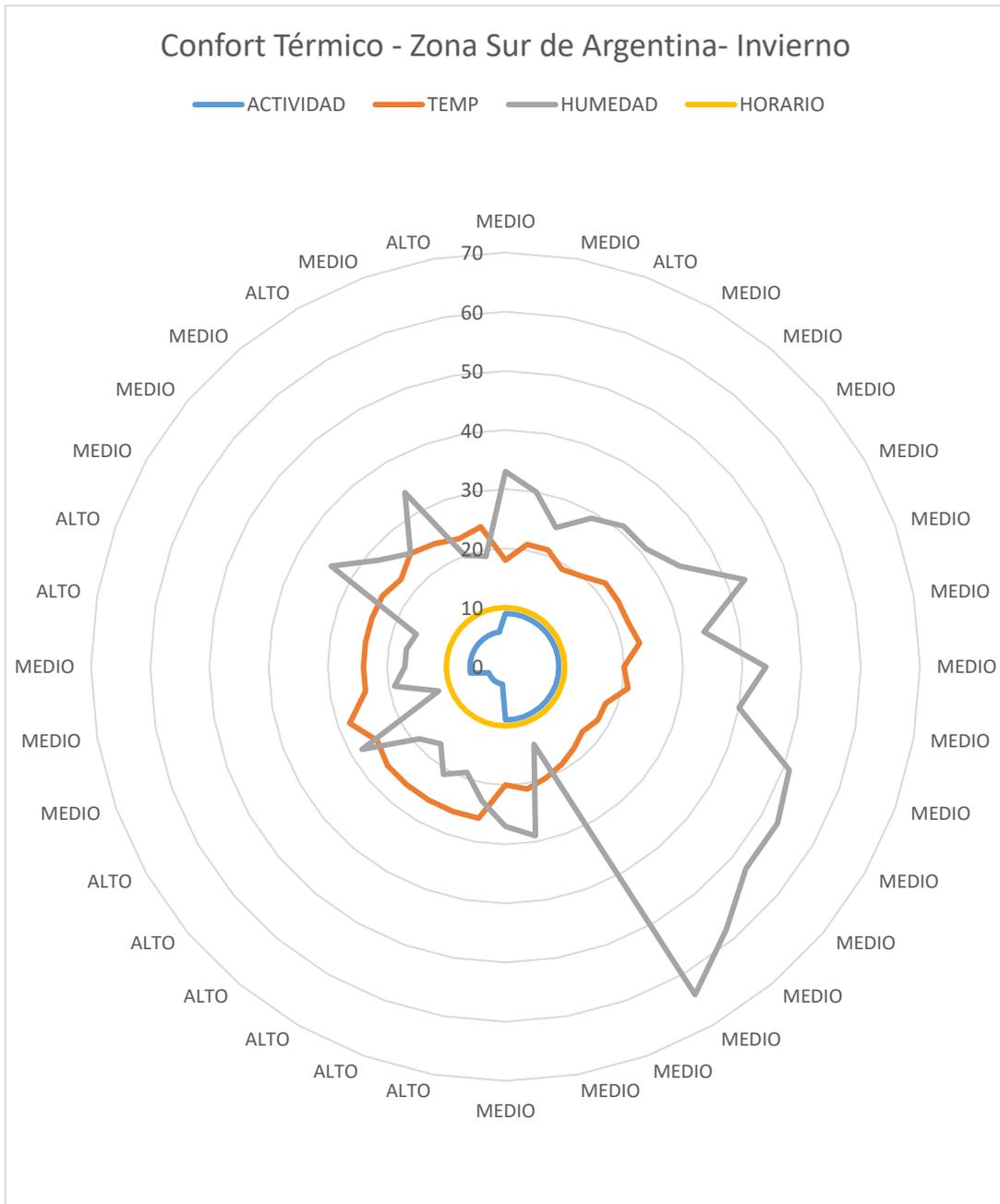
figuras 8 y 9 para la zona sur, y en las figuras 10 y 11 para la zona norte de Argentina.

- Se realiza el análisis y tratamiento de los errores (valores atípicos y ausentes) para determinar los parámetros recomendados de temperatura y humedad relativa interior. Se calcula la media o valor más probable, la mediana y la moda, la desviación estándar y los errores máximos que permitan realizar la eliminación de observaciones atípicas.
- Se utilizan gráficos de caja y bigotes para mostrar el conjunto de datos a través de sus cuartiles. Los cuartiles son aquellos valores que dividen una distribución de datos en cuartos. El primer cuartil es el valor de la variable para el cual el 25% de las observaciones son inferiores o iguales a él. El tercer cuartil es el valor para el cual el 75% de las observaciones son inferiores o iguales a él y la mediana es el segundo cuartil, valor ubicado en el medio de la distribución.

En estos gráficos se visualizan los valores del cuartil inferior, el cuartil medio (mediana), el cuartil superior, el valor más probable o medio, representado por una cruz (x), los valores mínimos y máximos de la distribución y los valores atípicos. En las figuras 12 y 13 se muestran los gráficos de Cajas y Bigotes de los datos de verano e invierno respectivamente, para la zona sur y en las figuras 14 y 15 para la zona norte del país.



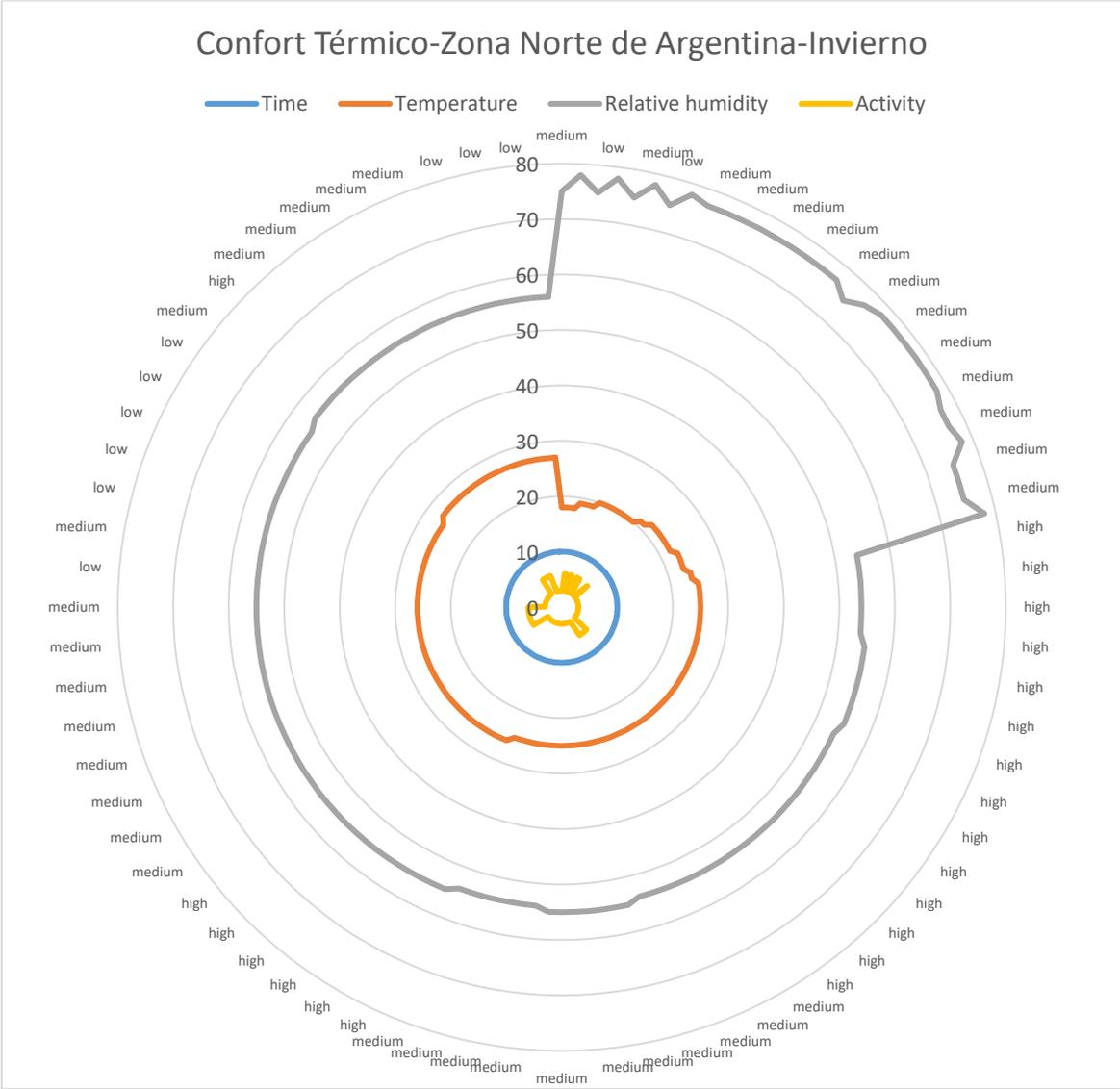
**Figura 8.** Confort térmico en función de la actividad, temperatura interior, humedad relativa y horario. Verano. Zona sur de Argentina



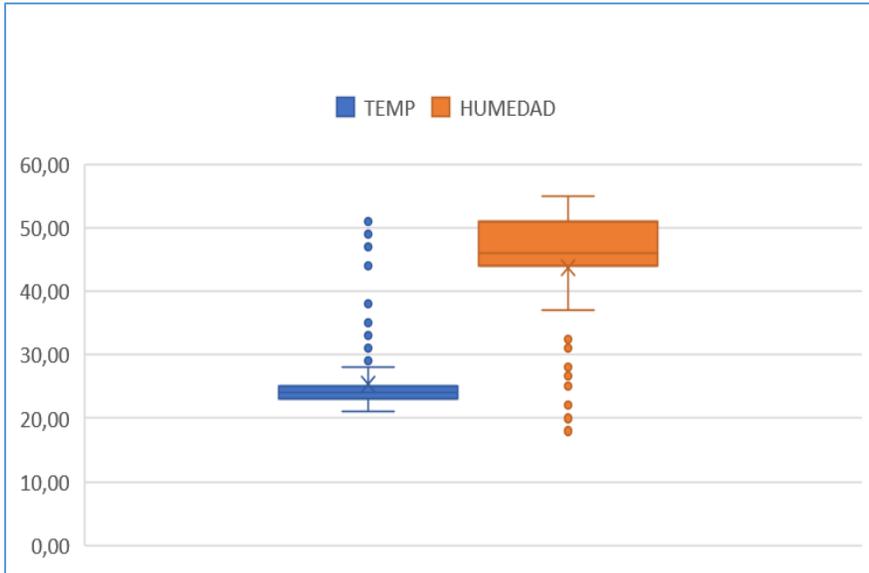
**Figura 9.** Confort térmico en función de la actividad, temperatura interior, humedad relativa y horario. Invierno. Zona sur de Argentina



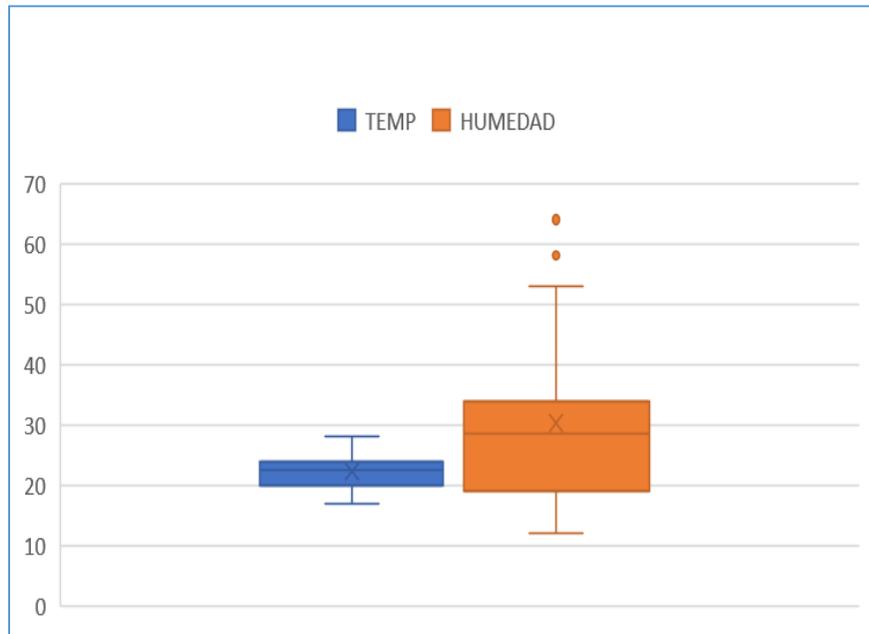
**Figura 10.** Confort térmico en función de la actividad, temperatura interior, humedad relativa y horario. Zona norte de Argentina. Verano



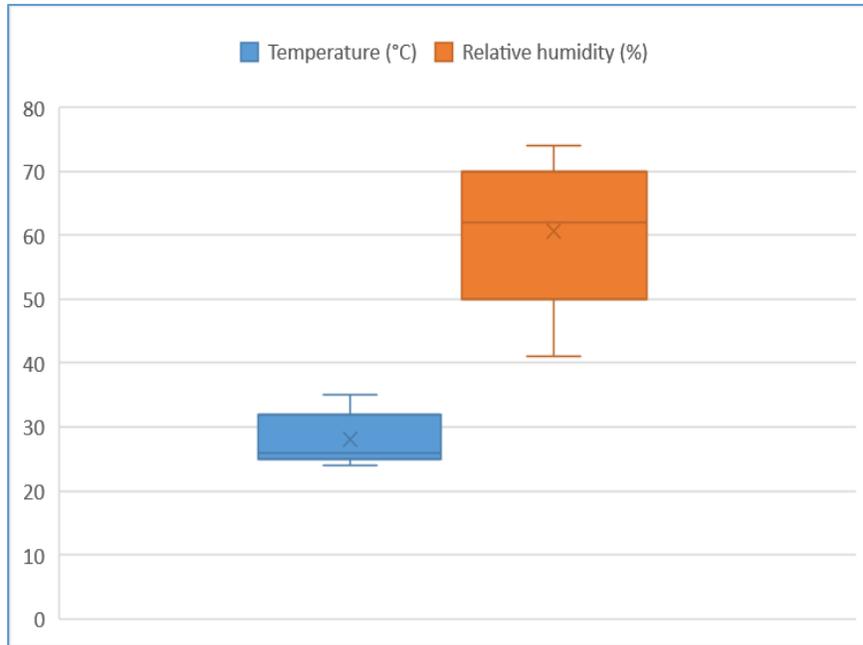
**Figura 11.** Confort térmico en función de la actividad, temperatura interior, humedad relativa y horario. Zona norte de Argentina. Invierno



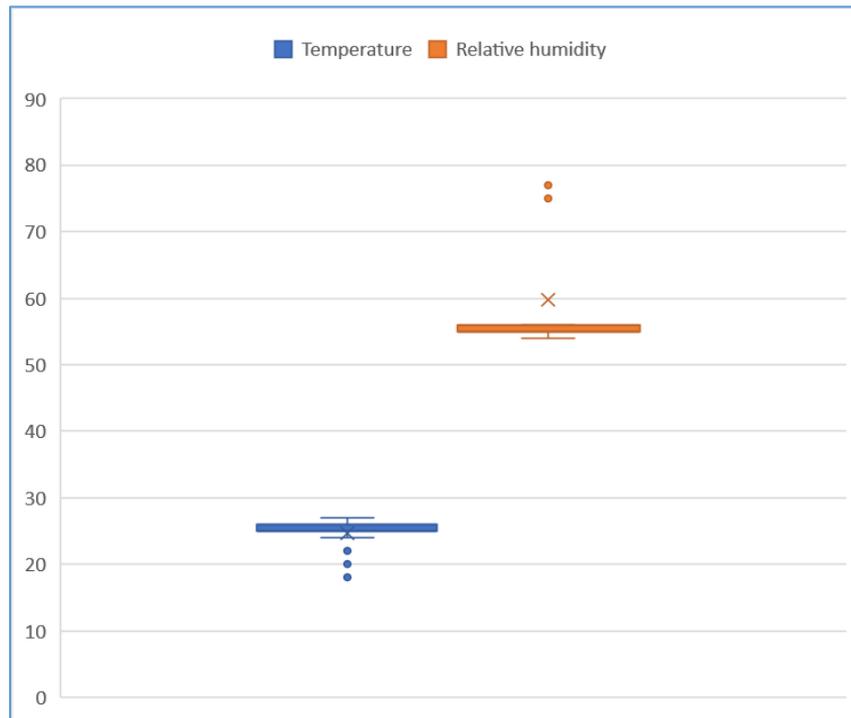
**Figura 12.** Gráficos de Cajas y Bigotes para verano. Zona sur de Argentina



**Figura 13.** Gráficos de Cajas y Bigotes para invierno. Zona sur de Argentina



**Figura 14.** Gráficos de Cajas y Bigotes para verano. Zona norte de Argentina



**Figura 15.** Gráficos de Cajas y Bigotes para invierno. Zona norte de Argentina

#### 4.6. Recopilación

Como puede observarse a partir de los antecedentes presentados, las investigaciones se han basado en el modelo de Fanger, modelo fisiológico o cuantitativo (con las limitaciones ya indicadas en la tabla 4) [17,18], en técnicas estadísticas (modelo adaptativo) [19,20] y/o en estudios de casos comparados, no han podido dar respuesta al problema del confort térmico industrial [66,67,69,70,71,72,73].

Si bien los modelos adaptativos dificultan la generalización, al existir una gran cantidad de datos se puede realizar un metaanálisis que permite combinar estadísticamente múltiples estudios. De todas formas, aún se puede presentar un problema de sesgo de publicación al no tomar en cuenta estudios con resultados negativos o que no hayan tenido la posibilidad de ser publicados.

Según se presentaron en las tablas 3, 4 y 5 por síntesis del estado del arte, en los casos analizados, los métodos utilizados presentan limitaciones en dar respuesta a la comodidad higrotérmica.

Si además se tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- la subjetividad del concepto,
- la relevancia del tema para la salud ocupacional,
- la importancia que tiene el confort térmico para la seguridad e higiene en el trabajo y su repercusión en la productividad,
- que los modelos utilizados hasta la actualidad no alcanzan a dar respuesta al problema del confort térmico en la industria,
- y la optimización de los recursos energéticos aplicados al confort térmico,

se pone en evidencia la necesidad de nuevas alternativas para estudiar el complejo entramado de relaciones a la hora de determinar los parámetros de confort industrial.

Para ello se capitalizaron experiencias previas de estudios en zonas del oeste y este de Argentina [94,96] y se analizaron las normas y directrices que regulan el confort térmico [78,79,80,81,82,83,84,85]. Este estudio pone de manifiesto la falta de normativa para las instalaciones de climatización en edificios industriales en cuanto a los parámetros de diseño interior, en los que la región geográfica, la estación del año, el horario, la actividad y el valor subjetivo son fundamentales a tener en cuenta.

Como señalan Kralikova y Wessely [99], los seres humanos han intentado crear espacios térmicamente confortables durante muchos años, y que los componentes para hacerlo con éxito incluyen la temperatura del aire, la humedad y la velocidad del aire dentro del espacio, pero añaden que la comprensión de lo que hace que un espacio sea confortable sigue evolucionando, y estamos descubriendo que estos componentes sólo representan una parte del enigma del confort térmico.

Frente a este problema, y tratando de ofrecer una solución a estas vacantes, se propone el uso de técnicas probabilísticas.

## **Capítulo 5**

### **Métodos y herramientas**

## 5. Métodos y herramientas

### 5.1 Redes Bayesianas

Vista la complejidad del tema y la necesidad de aportar respuestas a los interrogantes que hacen al confort térmico, en cuanto a su incidencia en la salud y seguridad ocupacional, a las posibilidades de un aumento de la productividad personal y para la industria, como así también un ahorro de energía producto de un uso eficiente de las instalaciones de climatización del aire, se propone el uso de técnicas de minería de datos a partir de los datos colectados, que puedan brindarnos utilizando las técnicas de inferencia bayesiana, valores de temperatura y humedad relativa para distintos estados de confort térmico en función de la región geográfica, el horario y la actividad.

Surgidas en el campo de la IA, las técnicas de inferencia bayesiana posibilitan trabajar con un gran número de variables con relaciones complejas entre ellas. Según Sucar, las redes bayesianas son una representación gráfica de dependencias para razonamiento probabilístico, en la cual los nodos representan variables aleatorias y los arcos representan relaciones de dependencia directa entre las variables [22].

Este razonamiento probabilístico reside en propagar los efectos de la evidencia a través de la red mediante el Teorema de Bayes, que obtiene la probabilidad posterior de cada clase,  $A_i$ , como el producto de la probabilidad a priori de la clase por la probabilidad condicional de los atributos (B) dada la clase, dividido por la probabilidad de los atributos. El clasificador bayesiano simple (naive Bayes classifier, NBC) asume que los atributos son independientes entre sí dada la clase.

$$P(A_i|B) = \frac{P(B|A_i)P(A_i)}{P(B)}$$

Los clasificadores bayesianos son muy empleados debido a las ventajas que presentan, tales como su facilidad de construcción y entendimiento, la confiabilidad en la evaluación de atributos irrelevantes y la toma en consideración de muchas propiedades para realizar la predicción final.

A continuación, se explica el uso de las herramientas WEKA [87] y ELVIRA [88] para el análisis y mejor explotación de los datos colectados.

### 5.2 Preparación, análisis y explotación de los datos

Se realiza la preparación de los datos, con su exploración y auditoría,

generando los archivos que serán explotados por las herramientas empleadas.

### 5.2.1 Aplicación de WEKA

WEKA es una colección de algoritmos de aprendizaje automático y preprocesamiento de datos (Frank, E., Hall, M. y Witten, I.[89]) que se desarrolló en la Universidad de Waikato en Nueva Zelanda y contiene herramientas para reprocesamiento de datos, clasificación, regresión, clustering, reglas de asociación y visualización. Es de código abierto emitido bajo la licencia pública general de GNU (GPL).

Cuando se ejecuta WEKA, en primer lugar, aparece una ventana que permite seleccionar la interfaz que se va a utilizar. En este caso se seleccionó “Explorer”. Según García Morate [100], el modo Explorador es el “modo más usado y más descriptivo” dado que permite realizar operaciones de preprocesado de los datos, aplicación de filtros, clasificación, selección de atributos y visualización de datos. Para comenzar a trabajar se debe definir el origen de los datos. El formato por defecto de WEKA es el “arff”, si bien soporta otras fuentes. En este estudio se utiliza el formato “csv”, que son archivos separados por comas, o punto y coma.

En la figura 16, se muestra a modo de ejemplo, la ventana principal con un archivo de datos cargados, con los datos de verano para la zona norte de Argentina (Anexo B1). Se replica el procedimiento para los datos de invierno de la misma zona y para el área Sur de Argentina (Anexos A.1, A.2 y B.2).

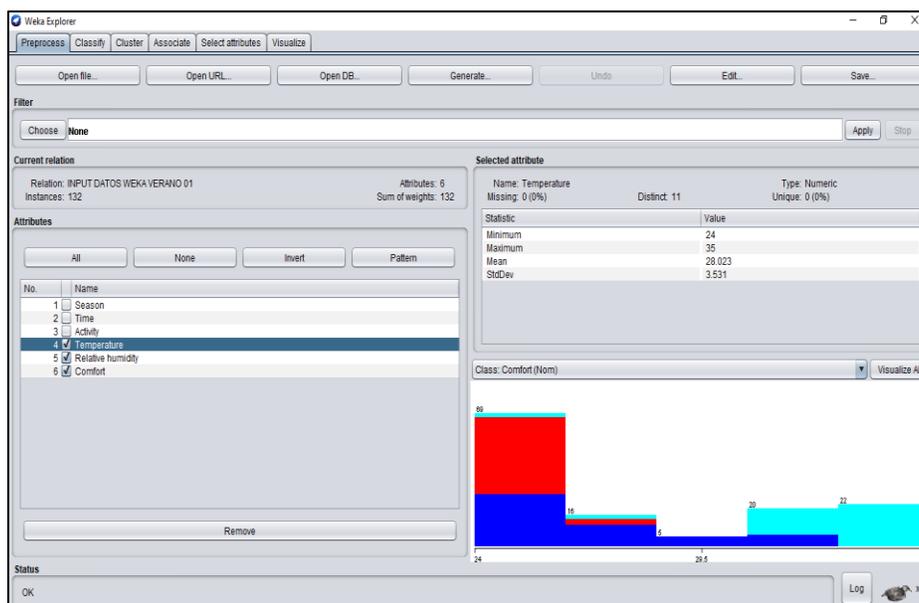


Figura 16 -Ventana principal de WEKA Explorer con un archivo de datos cargados

El segundo paso, es aplicar un algoritmo de clasificación, J48 [100], que permite armar un árbol de decisión. En este orden, considerando un mundo ideal, donde se cuente con infinitos casos, las predicciones sobre las medidas de calidad del comportamiento del modelo obtenido serían perfectas. En la práctica, el conjunto de datos debe dividirse. Para tal fin se utilizó la validación cruzada estratificada. Ésta se da cuando los datos se dividen en un número  $n$  de partes y, por cada partición se construye el clasificador con las  $n-1$  partes restantes y se prueba con esa. Se repite el procedimiento por cada una de las partes. Se dice que una validación cruzada es estratificada cuando cada una de las partes conserva las propiedades de la muestra original. Luego se selecciona el atributo de la muestra, generalmente el último de la lista, que es la variable que se quiere determinar en la clasificación.

En la figura 17, a modo ilustrativo se muestra una validación cruzada estratificada para el Clasificador J48.

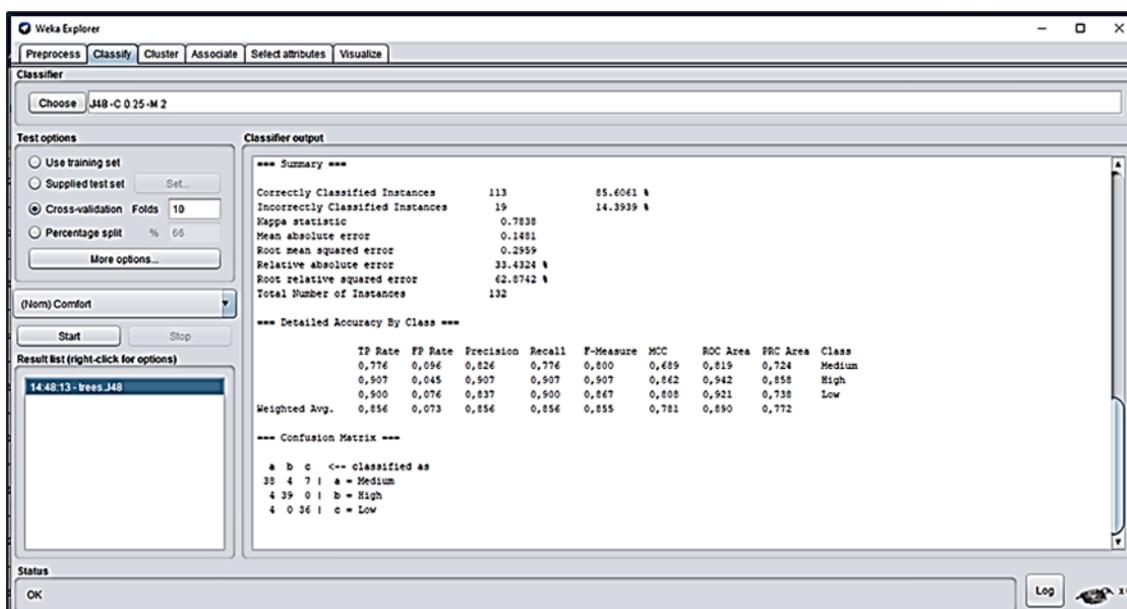


Figura 17. Validación cruzada. Clasificador J48.

Finalizada la validación cruzada, en la opción “Visualize tree” se obtiene el árbol de decisión, si es que éste se generó a partir del clasificador.

En las figuras 18, 19, 20 y 21 se muestra el árbol de decisión que se obtuvo para las zonas en estudio ( Sur y Norte de Argentina ) en verano e invierno, respectivamente.

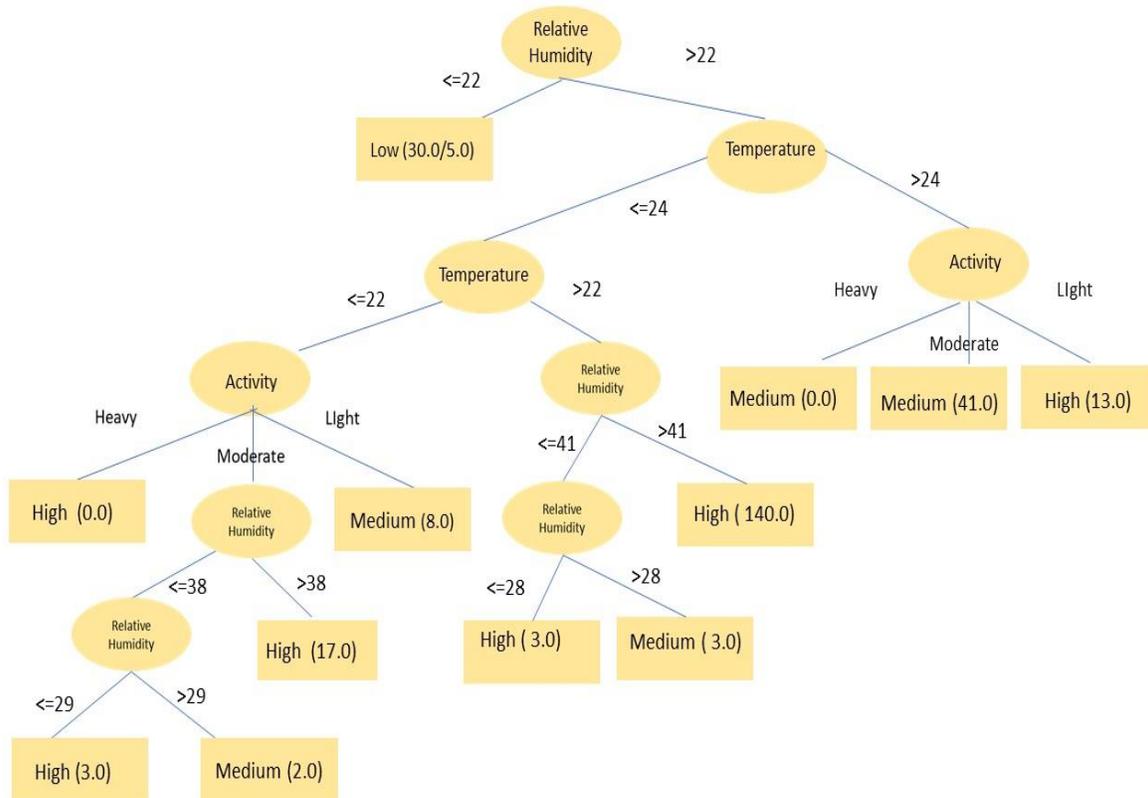


Figura 18. Árbol de decisión. Zona sur. Verano

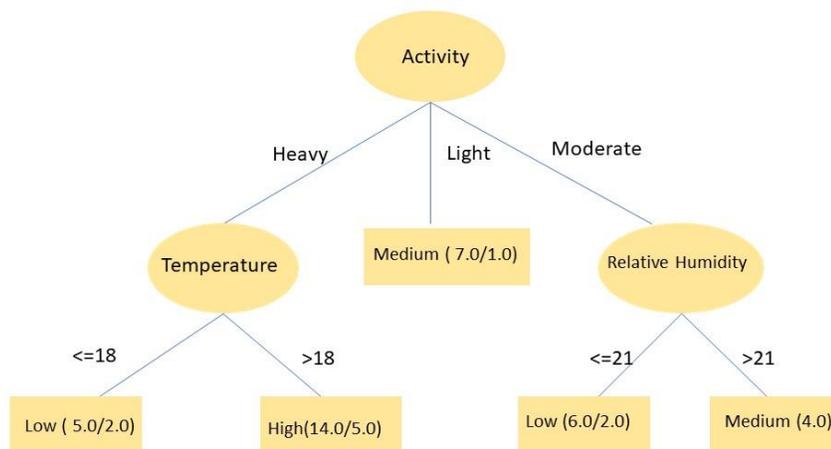
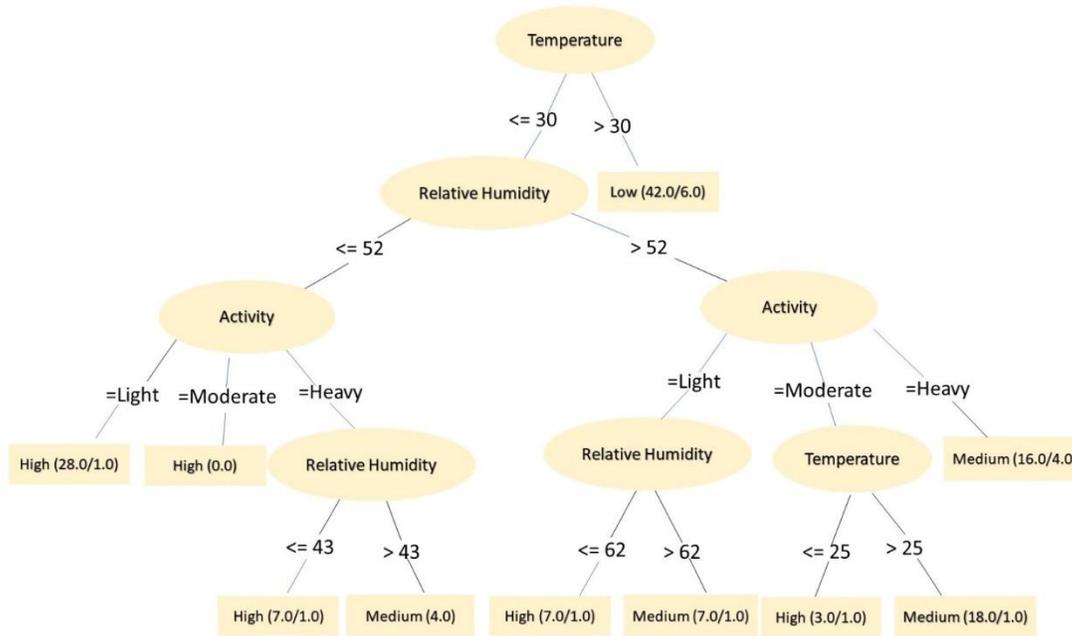
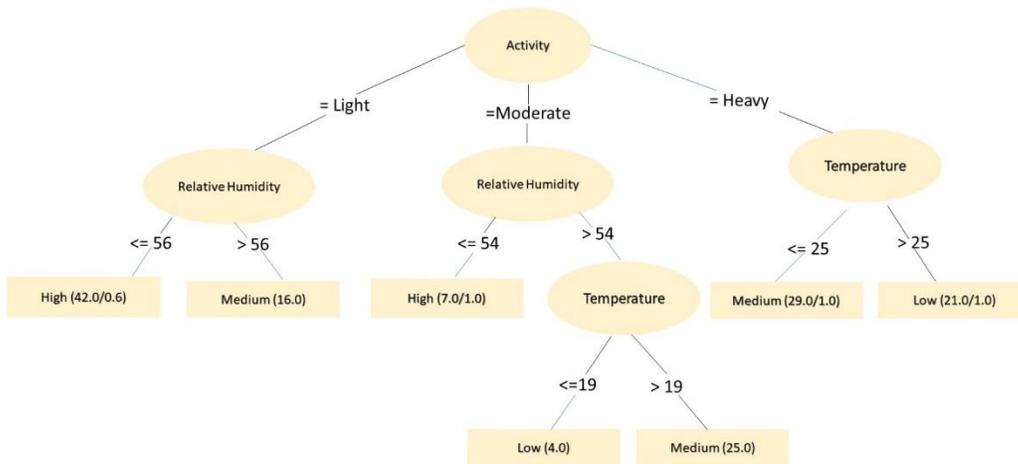


Figura 19. Árbol de decisión. Zona sur. Invierno



**Figura 20.** Árbol de decisión. Zona norte. Verano



**Figura 21.** Árbol de decisión. Zona norte. Invierno

En el Anexo C, se pueden visualizar las capturas de pantalla de la validación cruzada y el árbol de decisión para los archivos de datos de las áreas en estudio.

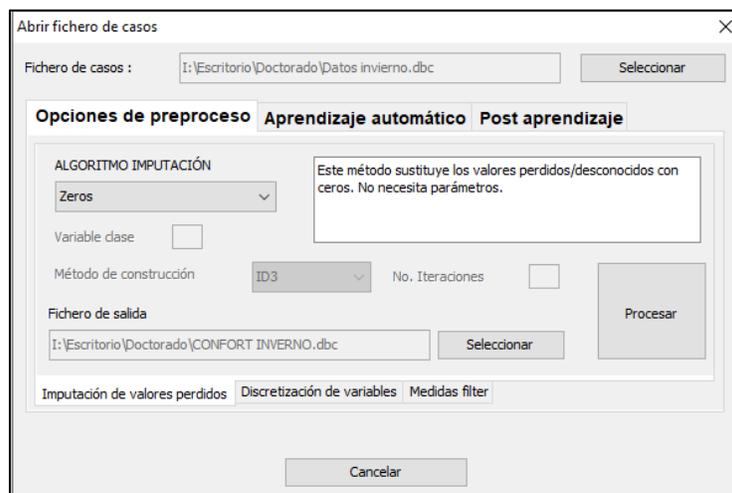
## 5.2.2 Aplicación de ELVIRA

La herramienta ELVIRA, surge de un proyecto financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y el Ministerio de Ciencia y Tecnología de España, en el que participaron investigadores de varias universidades españolas, dentro de las que se encuentra la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), “está destinada a la edición y evaluación de modelos gráficos probabilistas, concretamente redes bayesianas y diagramas de influencias.” (Díez Vegas, F. [90]).

Para ejecutar ELVIRA se construyen los archivos de datos a partir de los árboles de decisión de WEKA para las zonas en estudio, según lo explicado en “Evaluación, mediante algoritmos, de los niveles de confort térmico en el ámbito industrial de la región de Buenos Aires, Argentina” [101].

Para importar estos archivos, en la pantalla principal de ELVIRA se despliega un menú que permite realizar la importación utilizando un archivo de Excel con formato “csv”, para luego transformarlo en formato “dbc”.

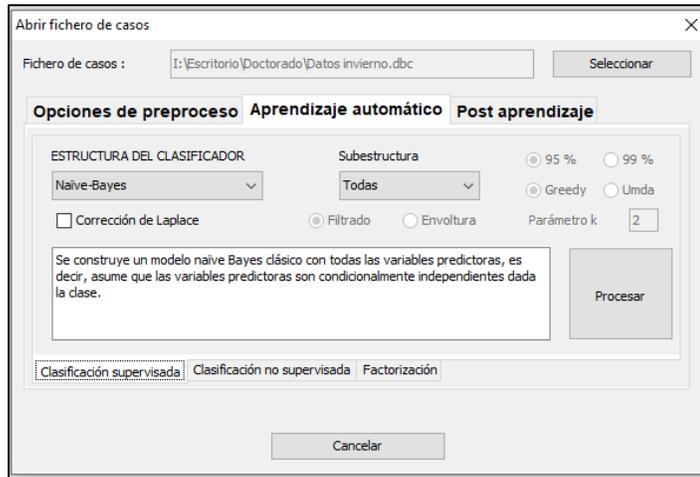
Una vez importado el archivo con éxito, se selecciona “Abrir Fichero”. Como se muestra en la figura 22, aparece una ventana que permite seleccionar el Fichero que se desea abrir, se pulsa “Opciones de preproceso”, se selecciona el fichero de salida e imputación de valores perdidos, y se pulsa “Procesar”.



**Figura 22:** Fichero de casos-Opciones de Preproceso

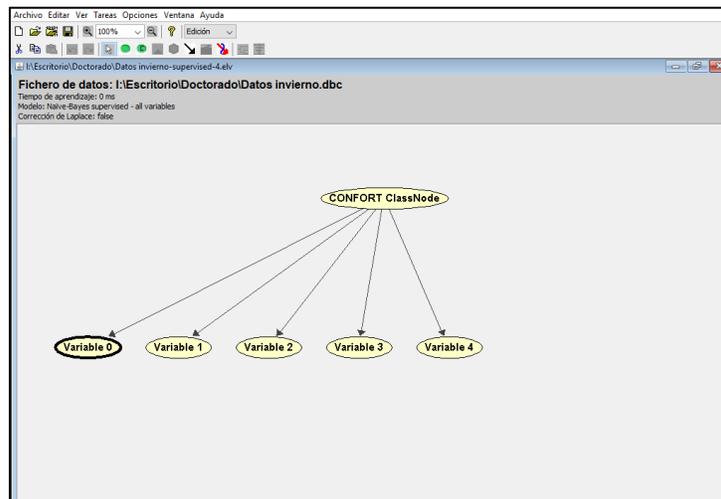
A continuación, se pulsa la solapa “Aprendizaje Automático” y en esta oportunidad se selecciona la estructura del clasificador Naive-Bayes, que es un clasificador

probabilístico simple, basado en el Teorema de Bayes. Se elige la solapa “Clasificación supervisada” y se procesa (figura 23).



**Figura 23:** Aprendizaje Automático

A continuación, en la barra secundaria de Elvira, se pulsa “Edición” y se obtiene una red bayesiana, a partir de los datos importados y preprocesados, como se observa en la figura 24.

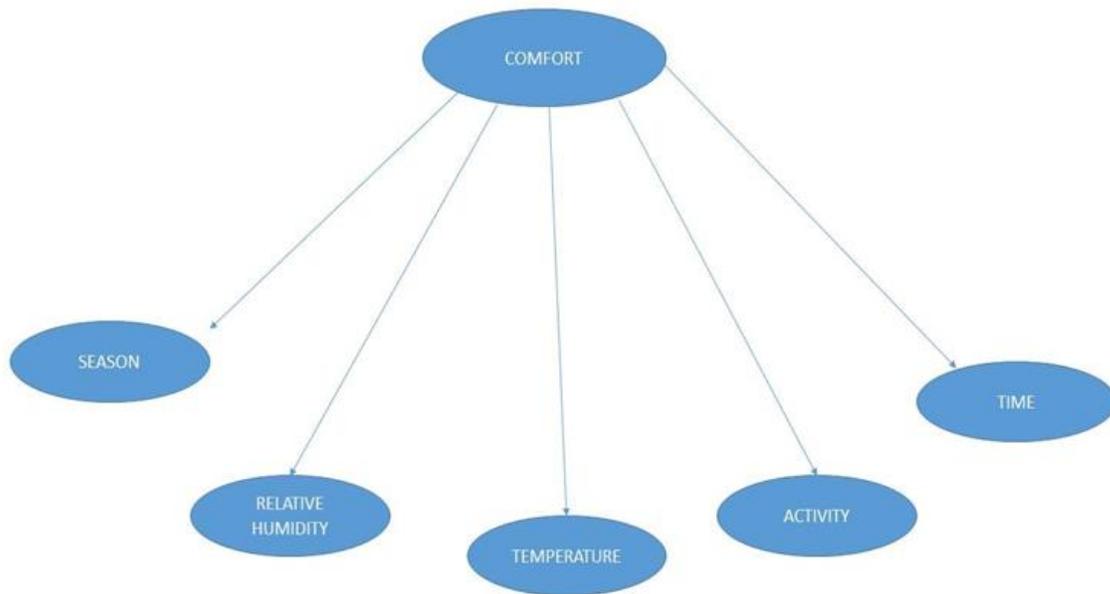


**Figura 24:** Red Bayesiana-visualización de edición

Como se indicó, ELVIRA permite editar y evaluar modelos de gráficos probabilísticos, especialmente redes bayesianas [90]. La inferencia bayesiana es un razonamiento probabilístico que consiste en propagar los efectos de la evidencia a través de la red para conocer la probabilidad a posteriori de las variables [22]. Los clasificadores bayesianos se pueden considerar como un caso especial de una red

bayesiana, donde hay una variable especial (la clase) y el resto de las variables son los atributos.

En este estudio se realiza el pre procesamiento de los datos, seguido de las operaciones de aprendizaje automático, donde se selecciona el clasificador Naive-Bayes (NBC). Este clasificador bayesiano simple admite que los atributos son independientes entre sí (no existen arcos entre ellos), como puede observarse en la figura 25, así que la probabilidad se puede obtener por el producto de las probabilidades condicionales individuales de cada atributo dado el nodo clase [22].



**Figura 25.** Red Bayesiana

A continuación, en modo “Inferencia”, ELVIRA muestra las redes con las probabilidades a priori [90] . A partir de estas redes de inferencia, seleccionando el tipo de actividad y la hora del día, es posible ensayar distintos valores de temperatura interior y humedad relativa interior, y obtener así el nivel de confort térmico para dichos parámetros.

Si bien el clasificador bayesiano simple funciona muy bien en muchas áreas del conocimiento, y tiene muy buena precisión, su rendimiento disminuye cuando los atributos no son condicionalmente independientes como se asume [22], cuestión que no se ha puesto en evidencia en este trabajo.

## **Capítulo 6**

### **Resultados y Discusión**

## 6. Resultados y Discusión

### 6.1 Resultados

#### 6.1.1. Resultados obtenidos del análisis de datos

A partir de los datos colectados se pueden determinar los parámetros higrotérmicos de temperatura interior y humedad relativa interior de confort, para cada zona en estudio, con las limitaciones propias de considerar que son recomendables aquellos parámetros higrotérmicos que dan como resultado en las encuestas el valor más probable para confort. A continuación, se muestran mediante gráficos de cajas y bigotes, las temperaturas y humedades relativas para confort en función de la actividad, en verano e invierno para las zonas en estudio. Se observa que son específicos para cada zona y tipo de actividad, aunque no esté contemplada la hora del día.

##### 6.1.1.1. Valores de confort para la zona sur

Se indican las temperaturas de confort en función de la actividad en los gráficos de cajas y bigotes de las figuras 26 y 28, para verano e invierno respectivamente. Las humedades relativas de confort, se muestran en las figuras 27 y 29.

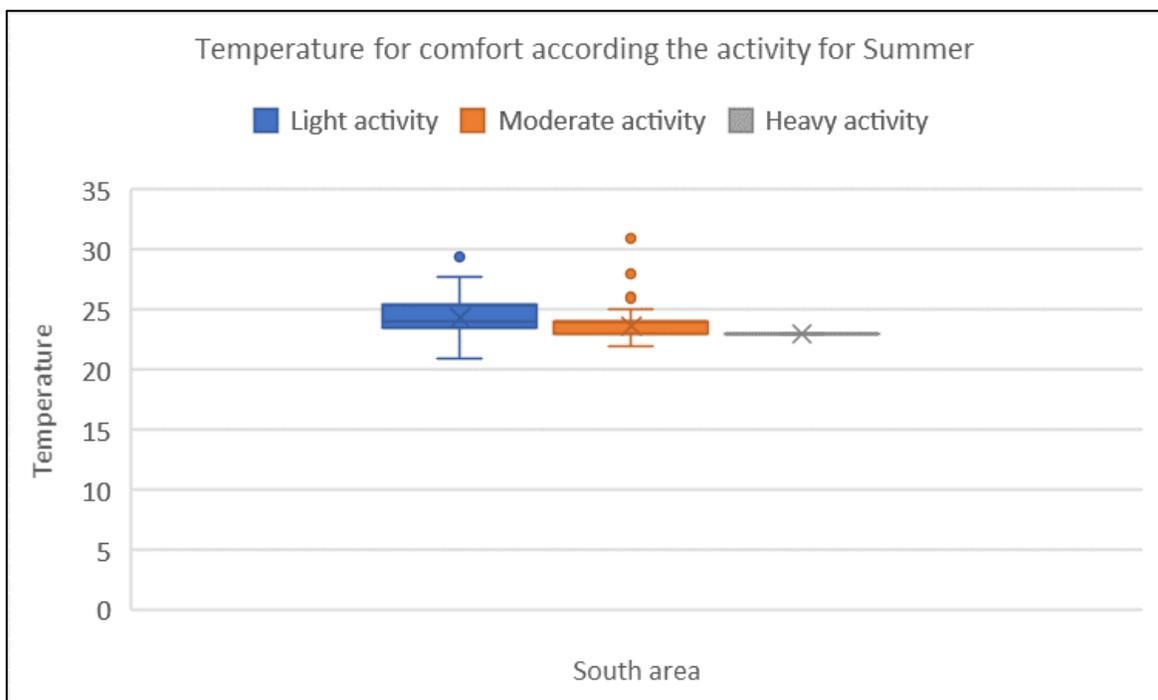
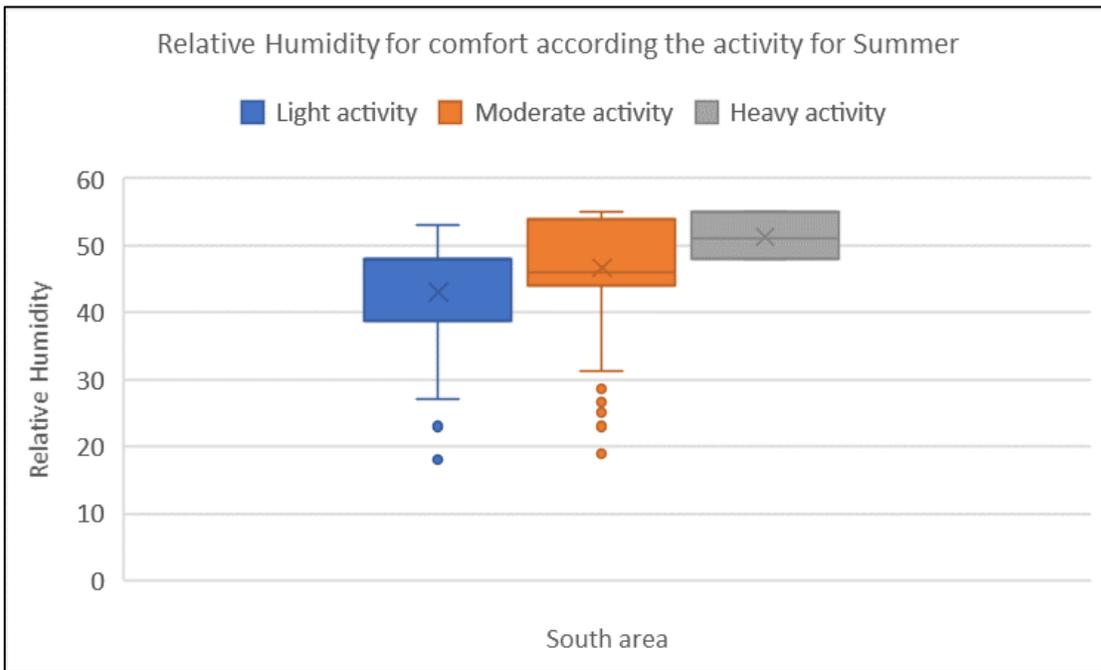
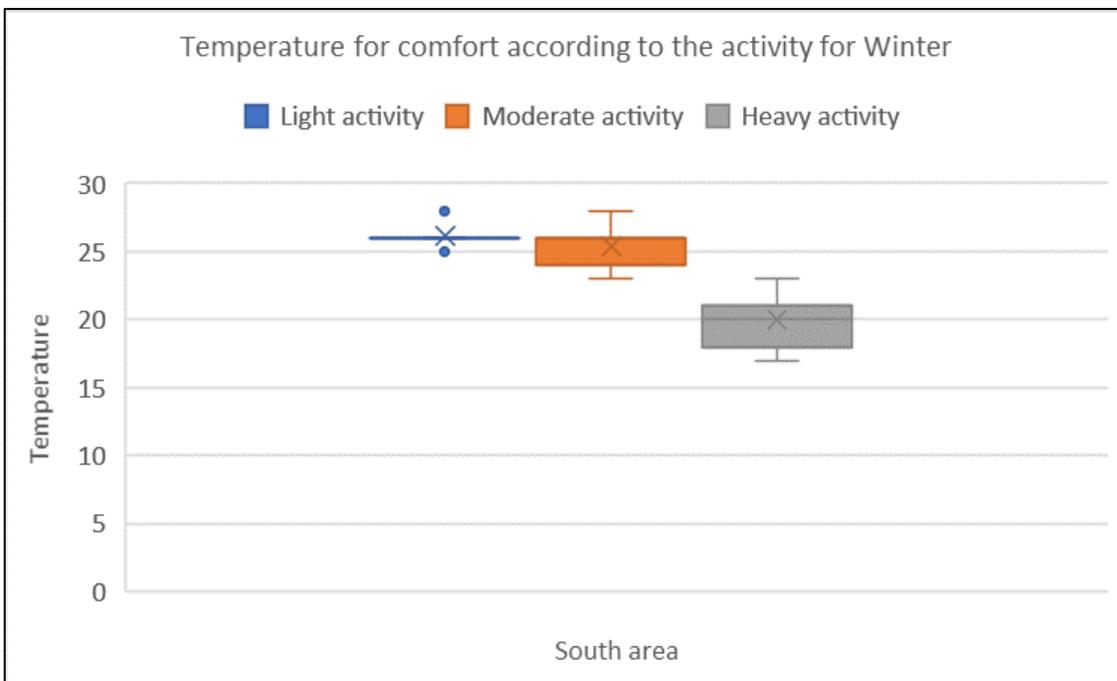


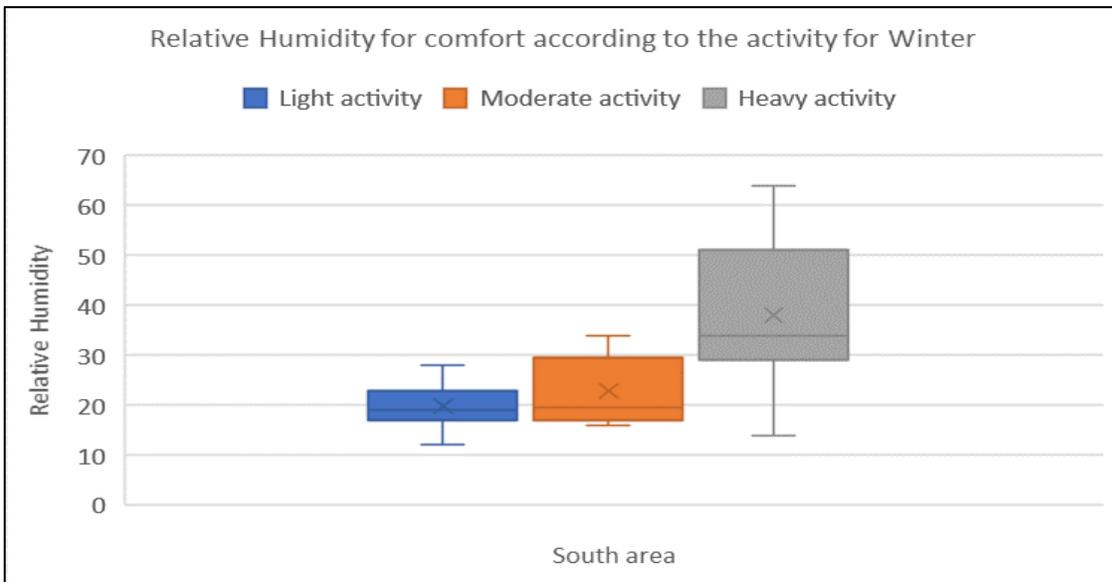
Figura 26. Temperatura de confort de acuerdo a la actividad. Verano. Zona sur



**Figura 27.** Humedad relativa de confort de acuerdo a la actividad. Verano- Zona sur



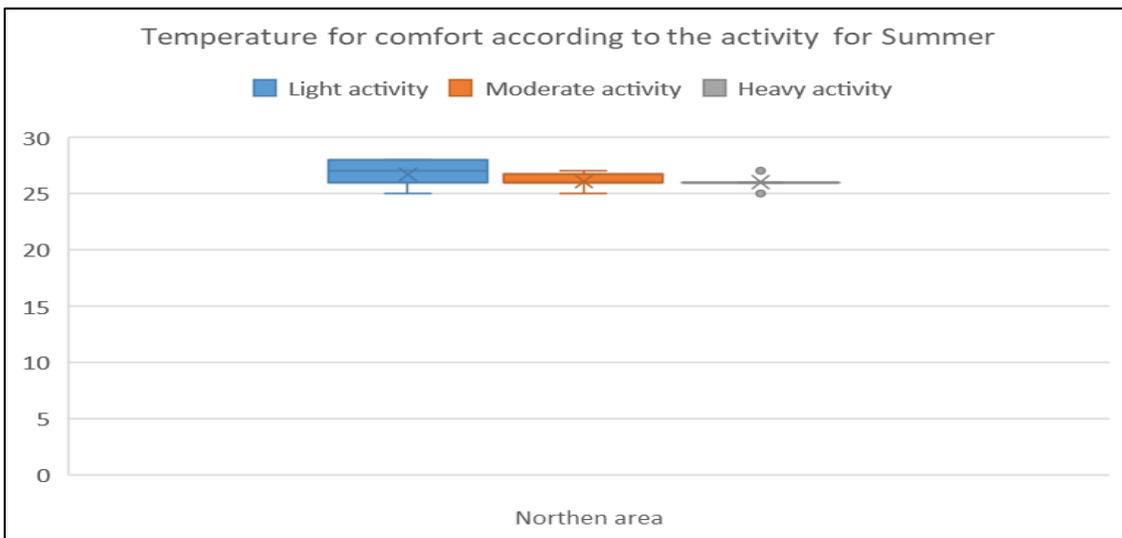
**Figura 28.** Temperatura de confort de acuerdo a la actividad. Invierno- Zona sur



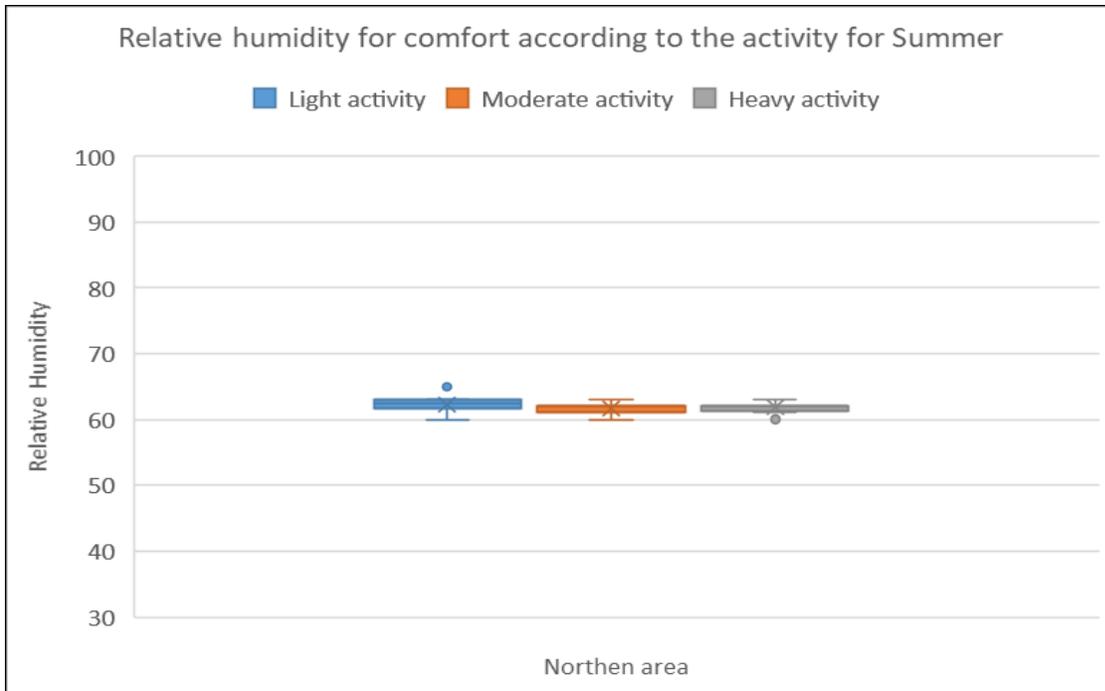
**Figura 29.** Humedad relativa de confort de acuerdo a la actividad. Invierno- Zona sur

### 6.1.1.2. Valores de confort para la zona norte

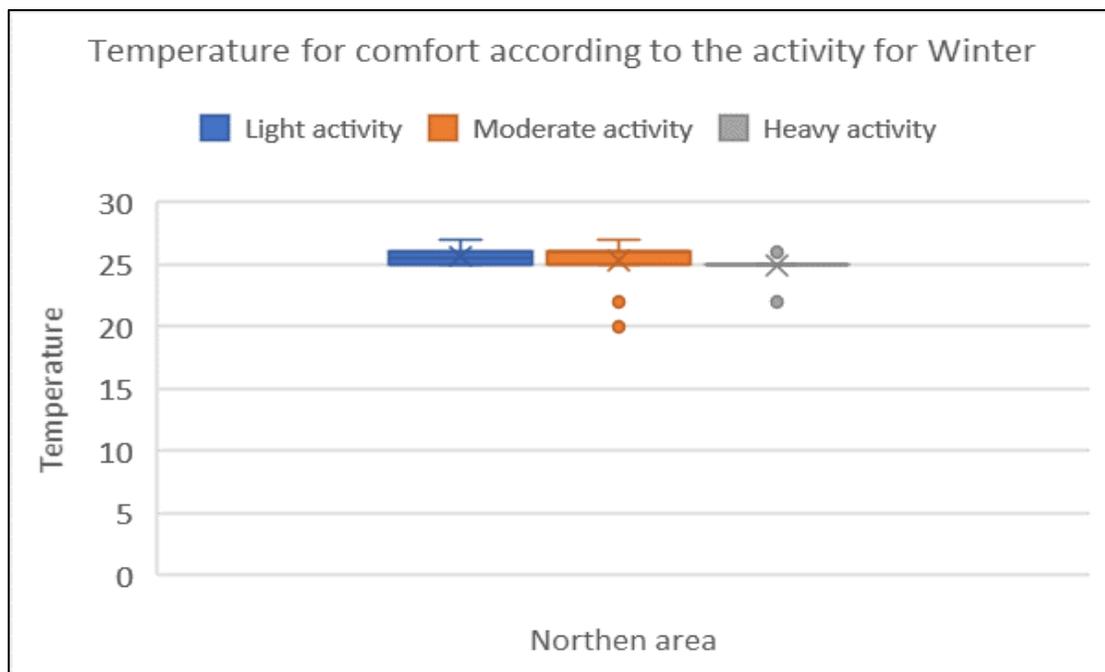
Las temperaturas de confort en función de la actividad se muestran en las figuras 30 y 32; las humedades relativas de confort, se muestran en las figuras 31 y 33 respectivamente para verano e invierno.



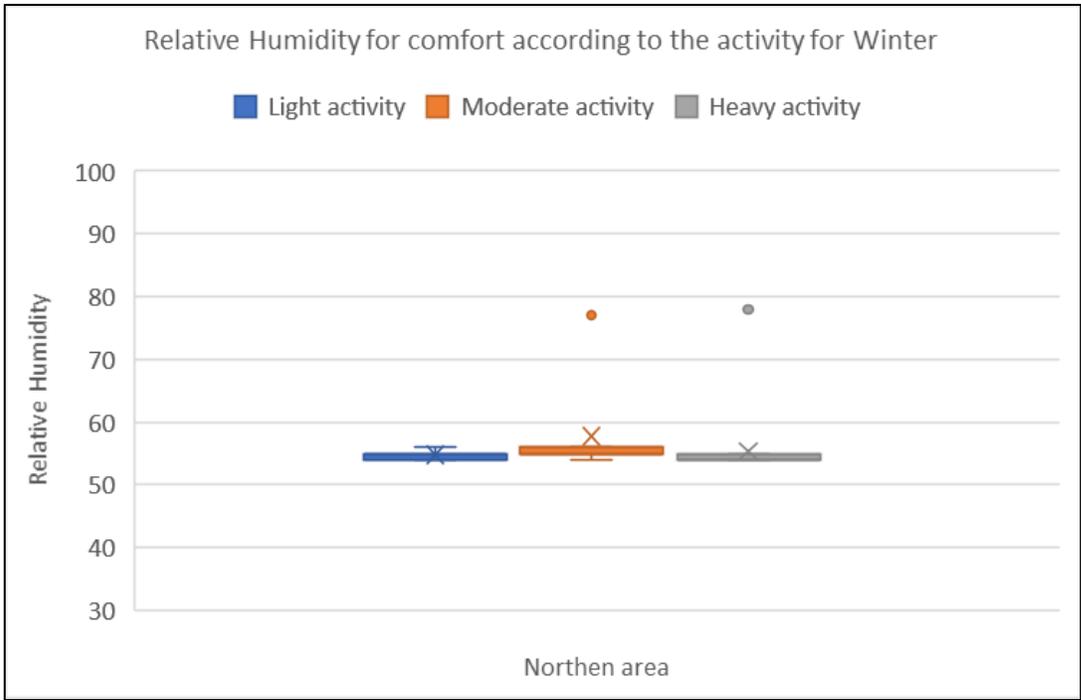
**Figura 30.** Temperatura de confort de acuerdo a la actividad. Verano- Zona norte



**Figura 31.** Humedad relativa de confort de acuerdo a la actividad. Verano- Zona norte



**Figura 32.** Temperatura de confort de acuerdo a la actividad. invierno- Zona norte



**Figura 33.** Humedad relativa de confort de acuerdo a la actividad. Invierno- Zona norte

A continuación, se procede a la verificación, a partir de los equipos de climatización de las empresas, hecho que puso de manifiesto una vez más, la necesidad de disponer de otros pares de valores de temperatura y humedad relativa que brinden un estado de confort frente a nuevos escenarios [94,96] .

**6.1.2 Resultados a partir de las redes de inferencia Bayesiana**

Los resultados de los niveles de confort térmico en función de la temperatura ambiental acondicionada y la humedad relativa, teniendo en cuenta las variables de actividad, hora del día y estación del año, se ilustran en las redes de inferencia que se muestran a continuación. La probabilidad de cada valor se muestra de dos formas: a) mediante un número y b) mediante una barra proporcional a la probabilidad.

**6.1.2.1. Redes de Inferencia de la zona sur de Argentina**

Las redes de las figuras 34 y 35 corresponden al “caso inicial” [102]. Al no haberse introducido nuevos datos, son probabilidades a priori (Díez Vegas, F. [90]), donde la única probabilidad calculada es el confort térmico. La figura 34 muestra las probabilidades a priori en verano y la figura 35, las correspondientes a invierno.

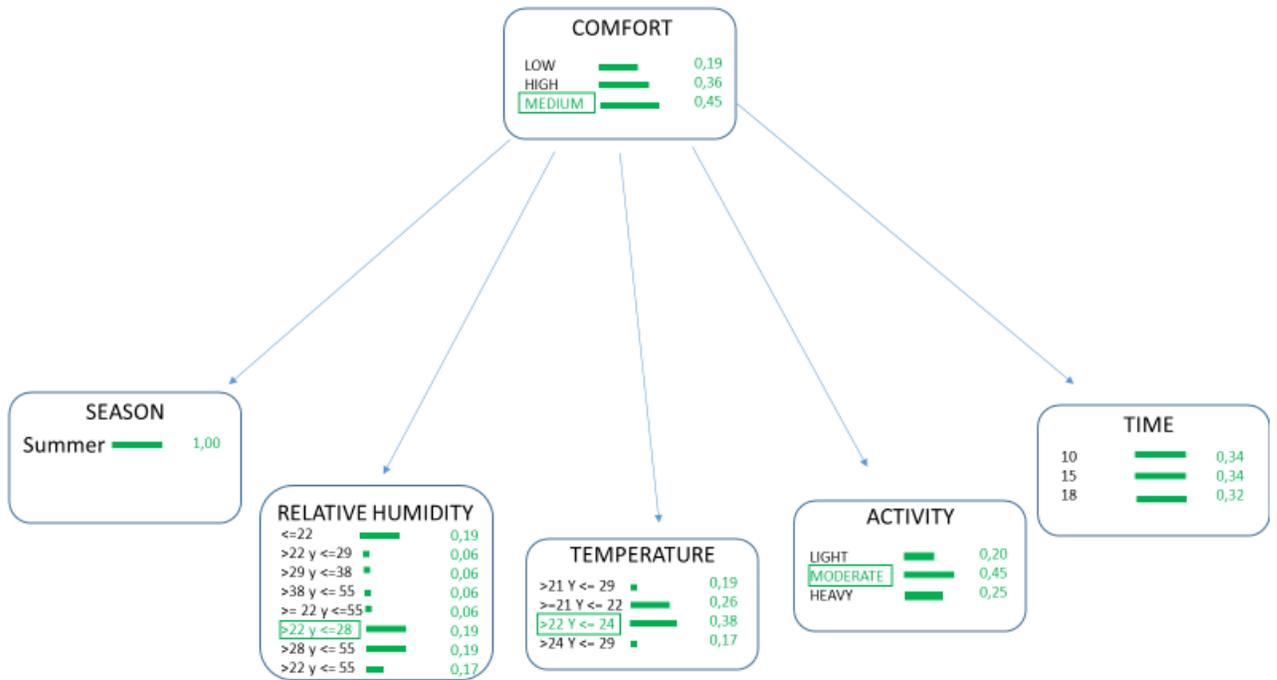


Figura 34. -ELVIRA- Red de Inferencia- Probabilidades a priori-Zona sur verano

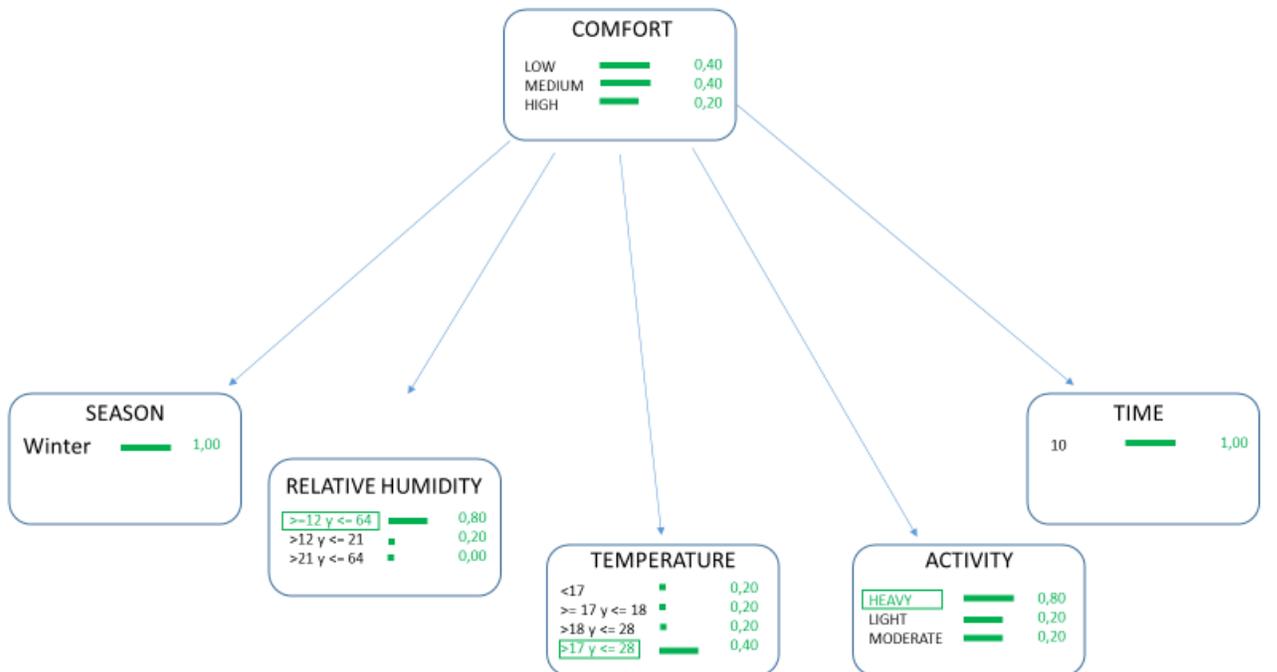


Figura 35.-ELVIRA- Red de Inferencia- Probabilidades a priori-Zona sur invierno

A partir de estas redes de inferencia, se probaron determinados valores de temperatura, humedad relativa, actividad, horario y temporada del año para conocer el valor predictivo del confort térmico. De esta forma, se generó el primer caso de evidencia que quedó identificado con un color. Si se intenta con otro conjunto de valores, se origina el segundo caso de evidencia, de otro color. Estos casos de evidencia se pueden archivar e impactan en la red. Se muestra en la figura 36 el primer caso de evidencia para verano.

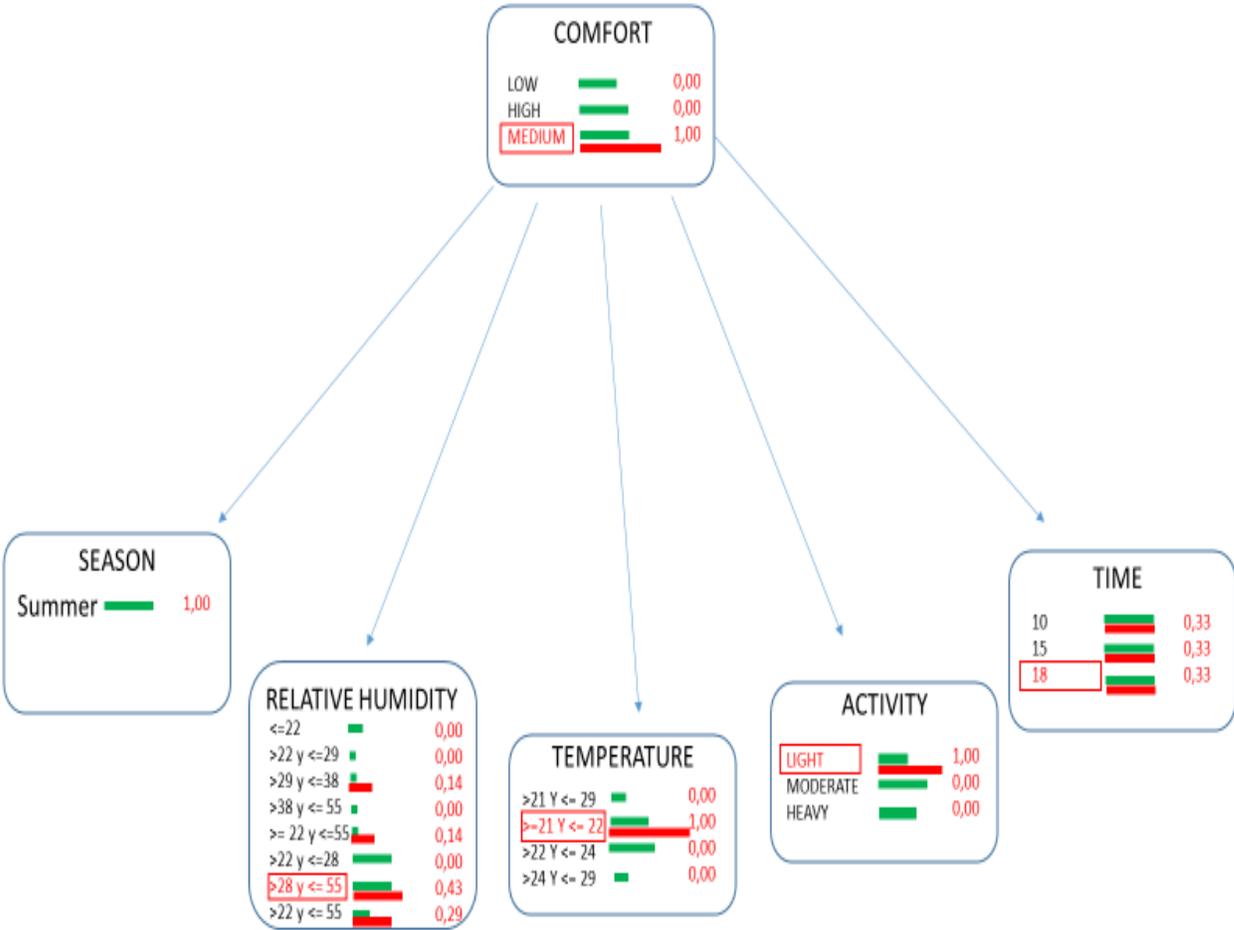


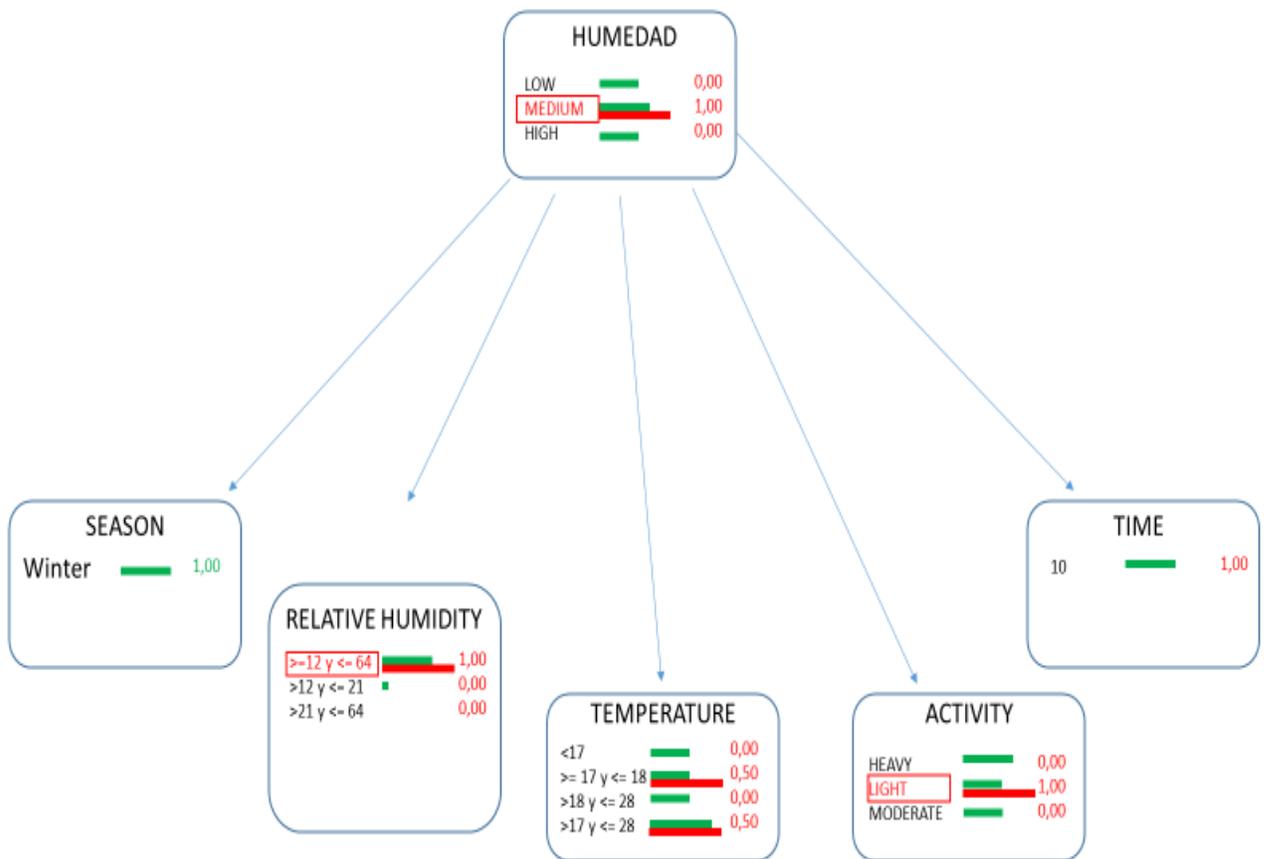
Figura 36. ELVIRA- Red de Inferencia- Primer caso de evidencia-Zona sur verano

En la tabla 9, se muestran los datos y probabilidades para el primer caso de evidencia, que se extraen de la red de inferencia de la figura 36:

**Tabla 9.** Resultados del primer caso de evidencia- Zona Sur Verano

Estación	Horario (h)	Temperatura (°C)	.H.R %	Actividad	Confort
Verano	18.00	>21 y <=22	>28 y <=55	Leve	100% Medio

En la figura 37, se presenta la red de inferencia con el primer caso de evidencia para la zona sur, en invierno.



**Figura 37.** ELVIRA- Red de Inferencia- Primer caso de evidencia- Zona sur invierno

En la tabla 10, se muestran los resultados obtenidos para el caso de evidencia en estudio:

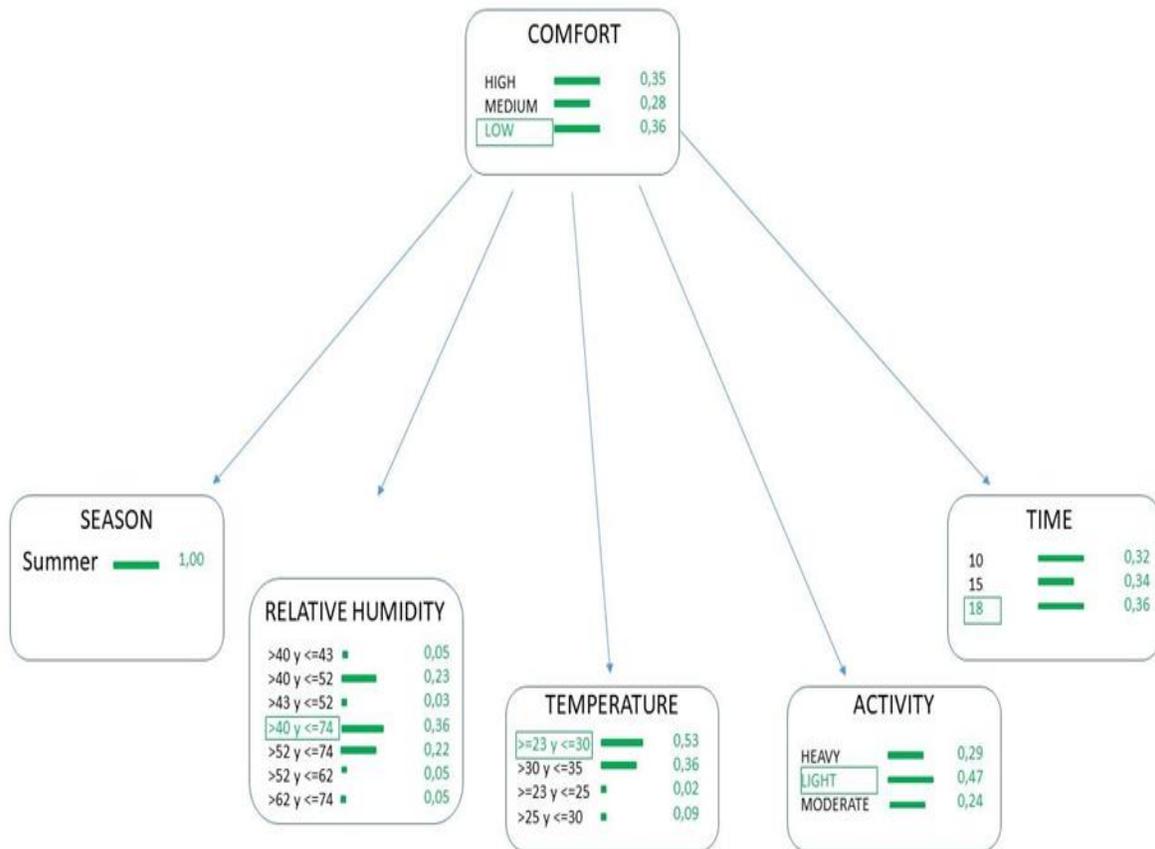
**Tabla 10.** Resultados del primer caso de evidencia- Zona Sur Invierno

Estación	Horario (h)	Temperatura (°C)	H.R %	Actividad	Confort
Invierno	10.00	>=17 y <=28	>=12 y <=64	Leve	100% Medio

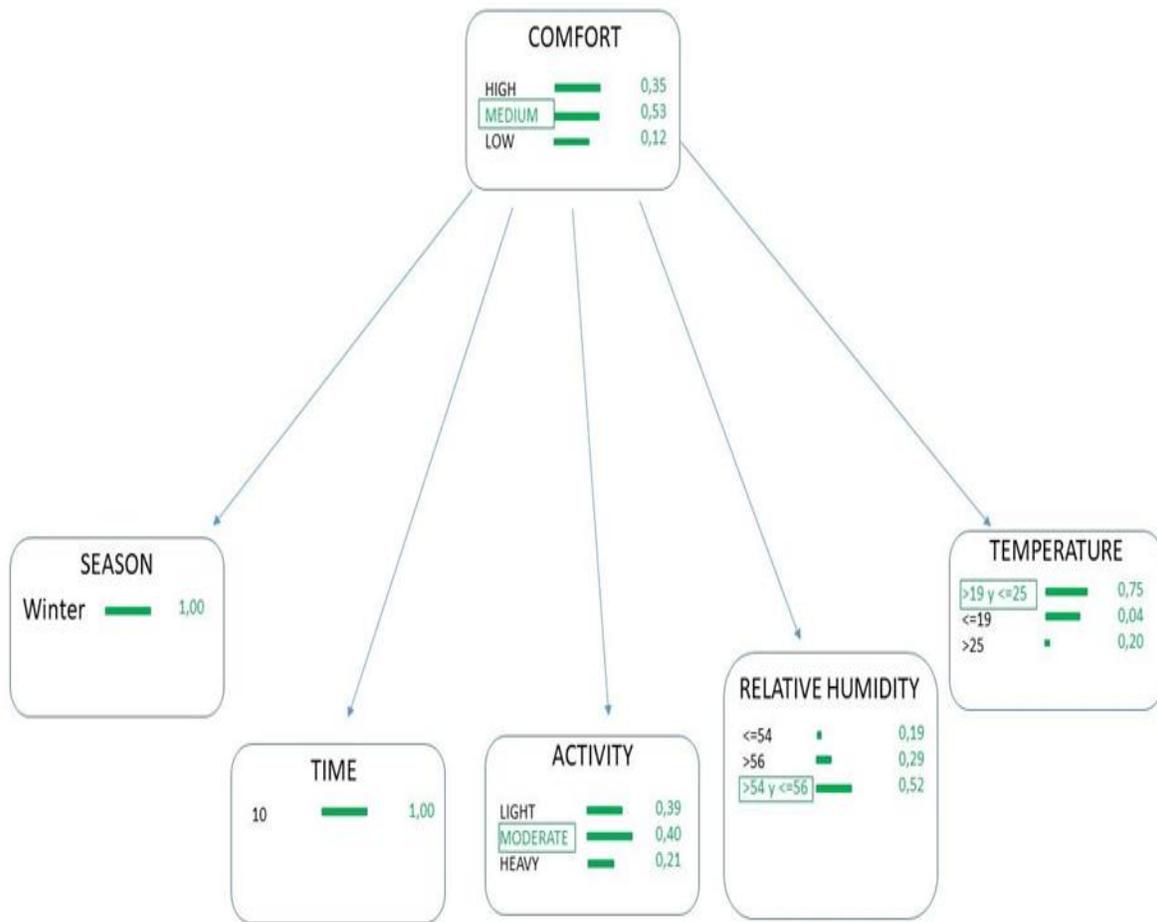
### 6.1.2.2. Redes de inferencia de la zona norte de Argentina

Seguidamente, se exponen los resultados obtenidos en la zona norte del país, publicados en Applied Sciences [103].

La figura 38, muestra la red de inferencia para los datos colectados en verano para la zona norte, con probabilidades a priori y la figura 39, para los datos de invierno.



**Figura 38.** ELVIRA- Red de Inferencia- Probabilidades a priori-Zona norte verano



**Figura 39.** ELVIRA- Red de Inferencia- Probabilidades a priori-Zona norte invierno

A continuación, se presentan las redes de inferencia con el primer caso de evidencia para verano, en la figura 40 y para invierno en la figura 41.

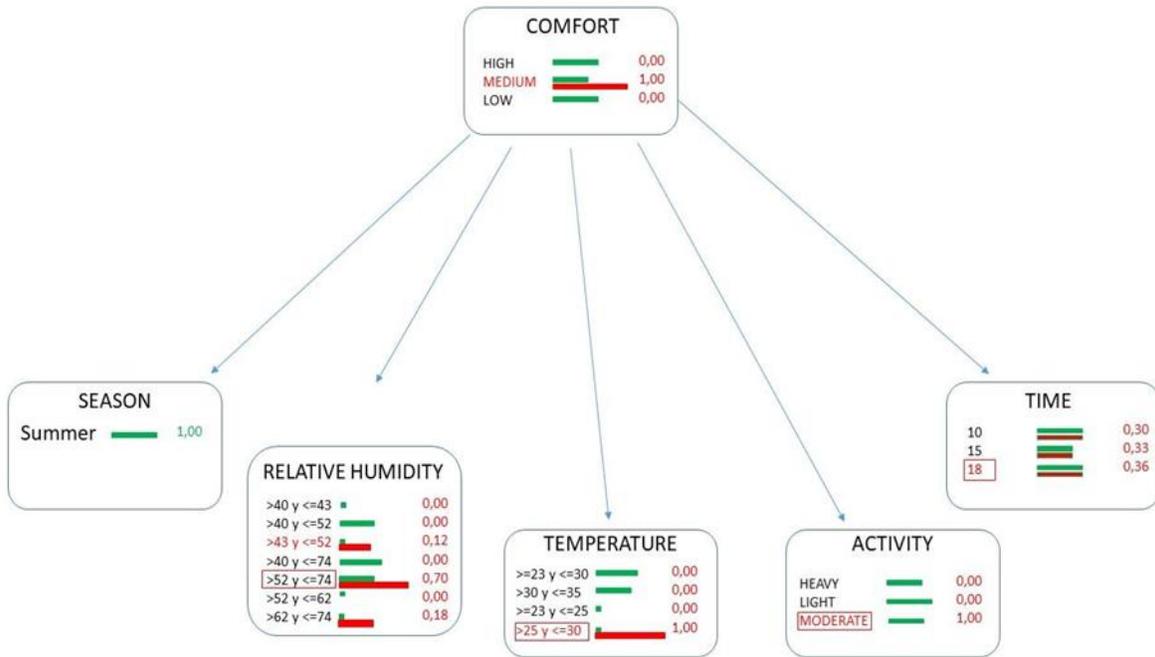


Figura 40. ELVIRA- Red de Inferencia- Primer caso de evidencia-Zona norte verano

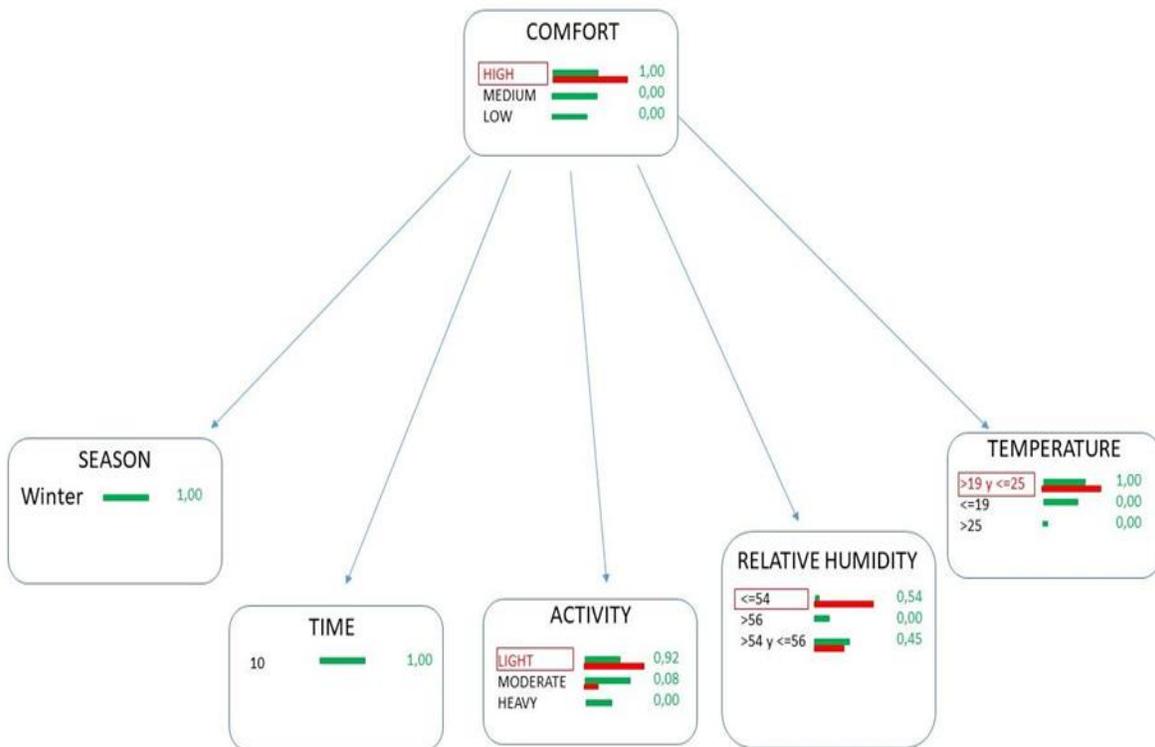


Figura 41. ELVIRA- Red de Inferencia- Primer caso de evidencia-Zona norte invierno

En la tabla 11, se resumen los datos y probabilidades para el primer caso de evidencia, que se extraen de la red de inferencia de las figuras 40 y 41 respectivamente:

**Tabla 11.** Resultados del primer caso de evidencia- Zona Norte

Estación	Horario (h)	Temperatura (°C)	H.R. %	Actividad	Confort
Verano	18.00	>25 y <=30	>52% y <=74	Moderado	100% Medio
Invierno	10.00	>19 y <=25	<= 54%	Leve	100% Alto

Por ejemplo, con los datos extraídos a partir del primer caso de evidencia para invierno en la zona norte del país, se obtiene la siguiente información: para las 10.00 h, y con temperaturas comprendidas entre 19 y 25 °C y humedades relativas menores o iguales al 54%, el confort es alto para actividades livianas, como se indica en la tabla 11.

De esta forma, se puede “observar gráficamente el impacto que cada hallazgo ejerce sobre las probabilidades de las demás variables, lo cual ayuda a comprender el funcionamiento de la red bayesiana y, en el caso de que deseemos mejorar la fiabilidad de la red, podemos corregir la estructura o las probabilidades cuando los resultados no sean los deseados” [90].

En el Anexo D, se pueden visualizar las capturas de pantalla de las redes de Inferencia Bayesiana (probabilidades a priori y primer caso de evidencia) para los archivos de datos de las áreas en estudio.

## 6.2 Discusión de los resultados

La experiencia desarrollada durante la realización de los estudios de casos en las diferentes áreas en estudio y los resultados colectados de las experiencias previas en las zonas de la provincia de Buenos Aires y la región cuyana, muestran que la obtención de los valores recomendados de temperatura y humedad relativa para condiciones de comodidad higrotérmica son específicos para cada región, contemplando la actividad, los hábitos regionales, el clima, las estaciones del año y la adaptabilidad del hombre a su ambiente [94,96,101,102,103,104], lo que permite validar la primera hipótesis.

Si se realiza una comparación entre los parámetros higrotérmicos recomendados, determinados a partir de las experiencias previas realizadas en las zonas este y oeste de Argentina [ 94, 96 ] y los obtenidos en las zonas sur y norte del país colectados en este estudio, se infieren las siguientes premisas:

- En latitudes similares, además de la posible optimización en el diseño de la construcción, el confort térmico depende del tipo de trabajo, la hora del día, la estación del año y el gradiente térmico.
- Para la zona oeste se necesita mayor temperatura interior para humedades relativas similares a las de la zona este, para tener grados de confort comparables durante el período de invierno. Se puede argumentar que la necesidad de una mayor temperatura interior compensa la variación térmica entre el día y la noche.
- Las temperaturas y humedades relativas de confort en verano para la zona sur del país son menores que las correspondientes a las áreas este y oeste. Aquí se evidencia la adaptabilidad del hombre a su ambiente. En invierno, como en la zona oeste, se requiere mayor temperatura para el estado de confort debido a la variación térmica entre el día y la noche como a la variación de la temperatura con la altura, si bien son valores menores a los de la zona oeste en función del clima de la región.
- En la zona norte de Argentina, con su clima subtropical cálido, el personal puede soportar temperaturas superiores a las de confort en las latitudes más templadas sin que sus niveles óptimos de confort se resientan en caso de actividad intensa. Muestra nuevamente la adaptabilidad del ser humano a sus climas ambientales.
- Otro punto a destacar en la zona norte es la similitud en los parámetros higrotérmicos de confort tanto para el verano como para el invierno con respecto a las diferentes actividades. Se podría deducir que esta particularidad se debe a la mencionada adaptabilidad. Se destaca que, para alcanzar un nivel comparable de confort higrotérmico, los niveles de temperatura necesarios en el norte no varían mucho, mientras que en invierno sí se hacen necesarios niveles más bajos de humedad relativa.
- En la zona norte, los trabajadores pueden soportar temperaturas máximas de hasta 30 °C dentro de los límites de humedad. Estos parámetros también están directamente relacionados con la adaptabilidad al entorno.
- La temperatura óptima de funcionamiento disminuye a medida que aumentan los niveles de actividad, según la investigación realizada por Atmaca y Koçak (2013) [65].
- En las zonas analizadas los datos se obtuvieron en condiciones reales

de trabajo, a diferencia de otros modelos donde los estudios se realizaron en ambientes controlados o simulaciones.

En cuanto a la segunda hipótesis considerada, la aplicación de técnicas de inferencia bayesiana ha permitido obtener diferentes alternativas de parámetros higrotérmicos en función de las variables establecidas [102,103]

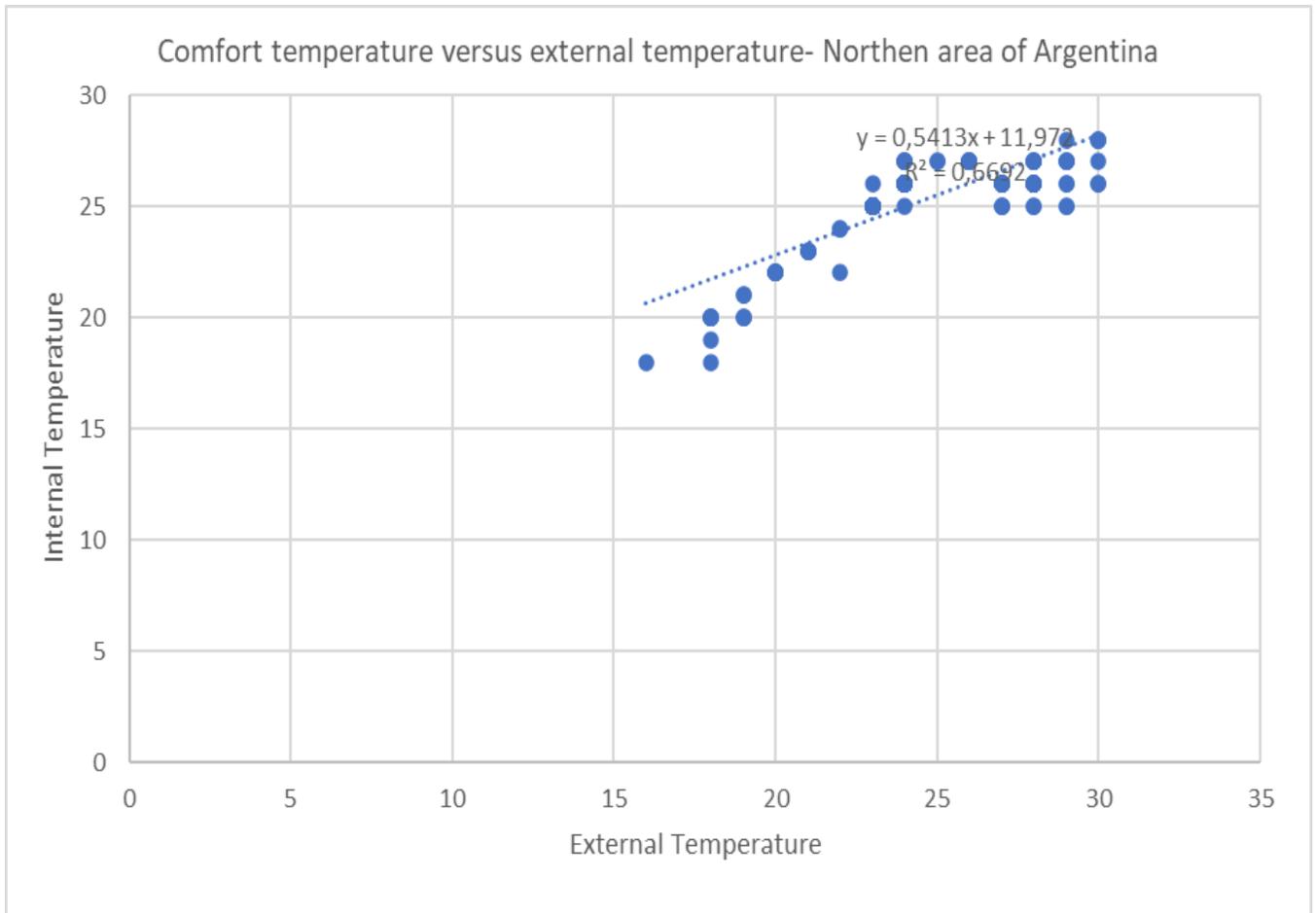
Los resultados de confort térmico provenientes de las redes de inferencia fueron contrastados en los lugares de trabajo seleccionados para la colección de datos, tanto en la zona sur como en la zona norte de Argentina, validando la segunda hipótesis.

Por otro lado, se probaron nuevos valores obtenidos a partir de encuestas realizadas en diferentes industrias de ambas regiones, generando nuevos casos de evidencia cuyos resultados son comparables a los aportados por el personal en el ambiente laboral, razón por la cual no fue necesario modificar las probabilidades en la red, dando respuesta al problema planteado.

El clasificador WEKA J48 brindó resultados que se correspondieron con los reportados en todas las zonas del estudio, y fue la base para la formulación de las redes mediante el software ELVIRA y la verificación de los resultados.

El uso de técnicas de inferencia bayesiana disminuye las posibilidades de error con respecto a los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico, y proporciona un mayor número de relaciones temperatura-humedad, en función de las variables (actividad, hora del día, estación del año), para obtener un nivel de confort específico.

Para corroborar lo anteriormente expresado, se realiza un estudio comparativo entre diferentes modelos adaptativos (Gómez-Azpeitia, L. et al. [21]) donde se calcula la temperatura de confort ( $t_n$ ) en función de la temperatura exterior ( $t_{em}$ ) [105] y los valores obtenidos a partir de los datos colectados para la zona norte del país [106], aplicando técnicas de regresión lineal [107] (figura 42) , sin diferenciar si los datos son de invierno o verano, tipo de actividad, horario o porcentaje de humedad relativa, indicados en las tablas 12 y 13; asimismo, se comparan con los valores obtenidos a partir de las redes bayesianas (tabla 11).



**Figura 42.** Temperatura de confort en función de la Temperatura. Zona Norte Argentina

**Tabla 12.** Temperaturas de confort (  $t_n$  ) para verano obtenidas a partir de modelos adaptativos y regresión lineal

Autor	$t_n = m \cdot (tem) + b$	tem (°C)	$t_n$ (°C)
Humphreys (1976) [15]	$t_n = 0.534 \cdot (tem) + 11.9$	27.8	26.7
Auliciems (1981) [15]	$t_n = 0.31 \cdot (tem) + 17.6$	27.8	26.2
Griffiths (1990) [15]	$t_n = 0.534 \cdot (tem) + 12.1$	27.8	26.9
Nicol et al.(1993) [15]	$t_n = 0.38 \cdot (tem) + 17.0$	27.8	27.6
Brager- De Dear ( 1998) [15]	$t_n = 0.31 \cdot (tem) + 17.8$	27.8	26.4
Humphreys-Nicol (2000) [15]	$t_n = 0.54 \cdot (tem) + 13.5$	27.8	28.5
Regresión Lineal Zona Norte	$t_n = 0.541 \cdot (tem) + 11.97$	27.8	27.0

**Tabla 13.** Temperaturas de confort (  $t_n$  ) para invierno obtenidas a partir de modelos adaptativos y regresión lineal.

Autor	$t_n = m \cdot (\text{tem}) + b$	tem (°C)	$t_n$ (°C)
Humphreys(1976) [15]	$t_n = 0.534 \cdot (\text{tem}) + 11.9$	22.6	24.0
Auliciems (1981) [15]	$t_n = 0.31 \cdot (\text{tem}) + 17.6$	22.6	24.6
Griffiths (1990) [15]	$t_n = 0.534 \cdot (\text{tem}) + 12.1$	22,6	24.2
Nicol et al.(1993) [15]	$t_n = 0.38 \cdot (\text{tem}) + 17.0$	22.6	25.6
Brager- De Dear ( 1998) [15]	$t_n = 0.31 \cdot (\text{tem}) + 17.8$	22.6	24.8
Humphreys-Nicol (2000) [15]	$t_n = 0.54 \cdot (\text{tem}) + 13.5$	22.6	25.7
Regresión Lineal Zona Norte	$t_n = 0.541 \cdot (\text{tem}) + 11.97$	22.6	24.2

Al analizar las tablas 12 y 13, se observa que las diferencias en los resultados obtenidos no resultan sustancialmente diferentes entre los modelos adaptativos y los obtenidos por regresión lineal en nuestro estudio de caso [106]. Pero hay que tener en cuenta que los resultados calculados por regresión lineal se obtuvieron a partir de un conjunto de datos recortado, dado que los modelos adaptativos, solamente brindan una temperatura de confort, sin contemplar variables como la época del año, el horario o la actividad en locales industriales acondicionados.

Si se comparan estos resultados con los obtenidos, por ejemplo, con el primer caso de evidencia por redes bayesianas de la zona norte (tabla 11) , se observa que están dentro del mismo rango, pero la red brinda mayor información. Es decir, no solo la temperatura, sino el porcentaje de humedad relativa, tipo de actividad, horario y época del año para una determinada probabilidad de confort.

Por otro lado, el método Fanger o cualitativo no contempla las condiciones reales de trabajo, dado que se basa en un modelo estático de intercambio de calor ni la adaptabilidad del hombre a su ambiente.

El aporte que hace el modelo por inferencia bayesiana es brindar un abanico de alternativas de parámetros de diseño ( relaciones temperatura interior/ humedad relativa porcentual) para distintas condiciones de trabajo en la industria, contemplando además el horario y la estación del año.

## **Capítulo 7**

### **Conclusiones y desarrollos futuros**

## 7. Conclusiones y desarrollos futuros

### 7.1 Conclusiones

A través de la memoria presentada, la evidencia ha mostrado la complejidad del tratamiento del confort térmico en lo que refiere a:

- la subjetividad del concepto [6].
- la incidencia en la salud ocupacional y seguridad del trabajador [7,8], tema expuesto en el Panel de Salud Ocupacional del “XIX Congreso Argentino de Seguridad, Salud Ocupacional, Recursos Humanos, Medio Ambiente y Comunidad” [108]
- ser considerado un tema de salud pública tanto para la OMS, como para la OIT y diversas organizaciones no gubernamentales [36,37].
- los diferentes modelos que estudian el tema y sus limitaciones [17, 18, 19, 20, 21, 68].
- las vacancias normativas en lo que hace principalmente a la industria [55, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84].
- las consecuencias que un ambiente térmicamente saludable genera en la productividad personal y de la empresa [38].
- la agenda 2030 de la ONU, que establece Objetivos de Desarrollo Sostenible dentro de los cuales se encuentra el confort térmico, las previsiones para mitigar y reducir las consecuencias del cambio climático y la adaptación de la infraestructura de las industrias/empresas para dar respuesta a esta problemática [9, 10, 11, 12, 13, 14].

Por ello, el desafío de obtener parámetros higrotérmicos de confort, que puedan dar respuesta a situaciones reales de trabajo de acuerdo con la actividad, el horario, la región geográfica y la actividad motivó este proceso investigativo.

Las TIC, y en particular las técnicas asociadas al empleo de IA en el contexto 4.0 representan una oportunidad para mejorar los niveles de confort térmico, en particular, la analítica de datos y sus algoritmos de predicción de probabilidad calculada, a partir de la colección de datos [1, 2, 3].

La aplicación de esta metodología de análisis ha demostrado que los parámetros higrotérmicos de confort son específicos para cada contexto, tomando en consideración el tipo de actividad, el horario, la estación del año, los hábitos regionales y la adaptabilidad del hombre a su ambiente, lo que infiere la validez de la H1.

Asimismo, ha permitido obtener diferentes pares de alternativas de temperatura interior y humedad relativa interior en función de las variables que se

presentan, para resolver distintos escenarios. Los datos obtenidos a partir de las redes de inferencia se corroboraron en el ambiente de trabajo de las zonas en estudio. Además, se probaron nuevos valores generando casos de evidencia que no requirieron modificar las probabilidades en la red. lo que infiere la validez de la H2.

En este marco, las técnicas de análisis empleadas pueden ser extendidas y replicadas para cualquier región geográfica si los softwares utilizados son alimentados con los datos y características correspondientes al lugar, permitiendo continuar con la validación externa o corregir las probabilidades y/o la estructura si es necesario, para mejorar la fiabilidad de la red en un proceso dinámico.

Disponer de una metodología de trabajo que permita determinar los parámetros tecnológicos para confort industrial, aplicables para cualquier región geográfica, en condiciones operativas, propicia un ambiente laboral térmicamente saludable, que permite mejorar la calidad del aire interior en el ambiente de trabajo, conforme al derecho que tiene cada persona de trabajar en un ambiente seguro y sano, para vivir con calidad de acuerdo con los principios de la salud ocupacional y la seguridad industrial.

A los profesionales de la seguridad, higiene y salud ocupacional les permite acceder a herramientas que posibilitan la mejora de los puestos de trabajo, contribuyendo a la prevención de riesgos, reducción de accidentes y enfermedades, con el fin de mejorar el bienestar y la calidad de vida de los empleados, con un aumento del rendimiento gracias al confort higrotérmico de los trabajadores [4, 5, 7].

De igual modo, este recurso posibilita a quienes proyectan las instalaciones de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), utilizar diferentes pares de temperatura y humedad relativa para obtener el mismo nivel de confort, o conocidos los parámetros higrotérmicos, determinar el porcentaje de confort en el ambiente, de acuerdo a las condiciones del mismo, en cuanto a las variables en juego.

Según un estudio sobre eficiencia energética realizado por Khalilnejad, A.; French, R. y Abramson, A. [109], los edificios comerciales "consumieron el 36% de la electricidad, o 1,35 billones de kWh, en los Estados Unidos de América en 2017, y casi el 30% de esta energía se desperdició. La mayor parte de este despilfarro puede atribuirse a sistemas ineficientes de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC). Si se mejoran las condiciones de funcionamiento, se puede conseguir un ahorro significativo".

En esta línea, optimizar la planificación de las instalaciones de HVAC mediante el uso de parámetros específicos como los que se pueden determinar

utilizando la metodología de trabajo aplicada en nuestro estudio supone un ahorro energético, ya que los sistemas no trabajarían en exceso, produciendo así un aumento de la eficiencia energética [110,111].

Este objetivo es compartido por el Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía de la República Argentina (Decreto 140/2007) [112], cuyo ítem correspondiente a la industria describe su objetivo de la siguiente manera "contribuir a incrementar la competitividad del sector a través de la introducción de herramientas de gestión que permitan reducir costos a partir del uso eficiente de los recursos energéticos y productivos."

Es importante mencionar que esta tesis está alineada con los objetivos y estrategias de la Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT) de Argentina, quien ha puesto en agenda el Proyecto de modificación y actualización de la Resolución 295/03 [55] y a cuya comisión de Estrés Térmico fui invitada a participar en nombre del Instituto Argentino de Seguridad. Se ha dado inicio a la primera revisión del documento de trabajo: proyecto Normativo Estrés por Calor donde en el Anexo VI, "Medidas Específicas de Gestión y Control del Riesgo" se indica "efectuar un estudio de los controles de ingeniería que reducen el gasto energético". Para este caso, mi aporte a esta problemática fue sugerir el análisis de los parámetros higrotérmicos de confort para cada actividad, rango horario, estación del año y zona geográfica, que permita generar las correcciones necesarias para optimizar el rendimiento del uso de la energía.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible que propone la Organización de las Naciones Unidas para el 2030 y dentro de ellos, el ODS 8-Trabajo decente y crecimiento económico, el ODS 9- Industria, innovación e infraestructura, y el ODS 13-Acción por el clima ya mencionados en este estudio, están íntimamente relacionados con esta investigación que procura la mejora de los ambientes térmicos en beneficio de la salud ocupacional y en la disminución de accidentes y enfermedades, teniendo en cuenta además, los cambios climáticos que se están produciendo, que de no alcanzarse las metas propuestas redundará en grandes pérdidas de puestos de trabajo y de productividad [62], en perjuicio del crecimiento económico personal y empresarial.

En función de lo expuesto, la contribución que realiza esta metodología de trabajo, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, es estimular la innovación en la industria en general, y en particular en el ámbito del confort mediante el uso de técnicas de IA, a través de la Inferencia Bayesiana para brindar parámetros tecnológicos de confort industrial, en aras de contribuir a la salud ocupacional, a la seguridad de las personas en su lugar de trabajo, al desarrollo sostenible, al aumento de la eficiencia energética y a la reducción de los problemas que trae aparejado el calentamiento global.

## **7.2. Desarrollos futuros**

Dado el carácter transversal de esta investigación en el entorno de los parámetros tecnológicos de salud ocupacional en la industria se abre un abanico de futuras líneas de investigación, que se pueden agrupar en :

- Monitorización de ambientes de trabajo industrial y tratamiento con técnicas de Big Data.
- Consideración de otras situaciones de ambientes industriales, como los de mayor desarrollo en situaciones de intemperie.
- Observación de otros parámetros tecnológicos y fisiológicos para el tratamiento de la salud ocupacional.
- Desarrollo de dispositivos para monitorear y modificar en forma autónoma las condiciones higrotérmicas del ambiente laboral.

## Referencias

## Referencias

1. Patiño Vengoechea, J. G. (2019). *La cuarta revolución industrial*. Ingenierías USBMed, 10(1), 1–1. <https://doi.org/10.21500/20275846.4032>
2. Montes, R., Melero, F.J., Palomares, I., Alonso, S., Chiachío, J., Chiachío, M., Molina, D., Martínez-Cámara, E., Tabik, S., Herrera, F. (2021). Artificial Intelligence and Digital Technologies for the SDGs. Publication of the Royal Academy of Engineering. Retrieved from [https://issuu.com/raing/docs/ia\\_y\\_tecnolog\\_as\\_digitales\\_para\\_los\\_ods](https://issuu.com/raing/docs/ia_y_tecnolog_as_digitales_para_los_ods) on March 2021.
3. Cotrino, A.; Sebastián, M.A.; Gonzalez-Gaya, C. Industry 4.0 Roadmap: Implementation for Small and Medium-Sized Enterprises. *Appl. Sci.* 2020, 10, 8566. <https://doi.org/10.3390/app10238566>.
4. Occupational Health, Ministry of Health, Argentina, 2020: Obtained from <https://www.argentina.gob.ar/salud/ocupacional> (consulted on 03/29/2021)
5. Guillén Subirán, C. (2014). El desafío de la gestión de las enfermedades profesionales. *Solvitas perambulium. Medicina y Seguridad en el Trabajo*, 60,supl.1. Versión On-line ISSN 1989-7790versión impresa ISSN 0465-546X. Obtenido de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0465-546X2014000500021](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0465-546X2014000500021)
6. ISO (2005). Reference number ISO 7730: 2005 (E) © ISO 2005 INTERNATIONAL STANDARD ISO 7730 Third edition 2005-11-15. Ergonomics of the thermal environment: analytical determination and interpretation of thermal comfort by calculating the PMV and PPD indices and the local thermal comfort criteria. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/39155.html>.
7. Picón-Jaimes, Y. A., Orozco Chinome, J.E., Molina-Franky, J., Franky-Rojas, M.P. (2020). Central control of body temperature and its alterations: fever, hypertemia and hypothermia. *MedUNAB.23(1):118-130*. Doi: 10.29375/01237047.3714
8. Thermal conditioning of buildings - *Law 13059 Application Manual* - Housing Institute - Buenos Aires. Infrastructure-BA. Retrieved from [https://procesosconstructivos.files.wordpress.com/2013/02/ley-13059-manual\\_ac\\_higrotermico.pdf](https://procesosconstructivos.files.wordpress.com/2013/02/ley-13059-manual_ac_higrotermico.pdf) on April 22, 2022
9. Memoria del Secretario General sobre la labor de la Organización ( 2015 ) . Naciones Unidas. Nueva York, 2015 \* Publicado nuevamente por razones técnicas el 2 de septiembre de 2015. ISSN 0252-0036. Disponible en : <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/228/31/PDF/N1522831.pdf?OpenElement>

10. ONU. Portada-Desarrollo sostenible  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/> Consultado el 19 de abril de 2022
11. ONU. Objetivos y metas de desarrollo.  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> Consultado el 19 de abril de 2022
12. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/economic-growth/>  
 Consultado el 19 de abril de 2022
13. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/> Consultado el 19 de abril de 2022
14. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>  
 Consultado el 19 de abril de 2022
15. Quadri, N., (2008). Air Conditioning and Heating Installations, Bs. As. Ed. Alsina. 8° Ed. Available in [https://www.academia.edu/44494893/Instalaciones\\_de\\_Aire\\_Acondicionado\\_y\\_Calefacci%C3%B3n\\_Quadri\\_N%C3%A9stor\\_P](https://www.academia.edu/44494893/Instalaciones_de_Aire_Acondicionado_y_Calefacci%C3%B3n_Quadri_N%C3%A9stor_P)
16. ASHRAE, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE Standard 55-2004, (2004).
17. Fanger, P. O. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice, British Journal of Industrial Medicine, 30, 313-324. <http://dx.doi.org/10.1136/oem.30.4.313> on April 17, 2021.
18. Diego-Mas, J. A. Evaluation of thermal comfort with the Fanger method. Ergonautas, Polytechnic University of Valencia, 2015. Retrieved from <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/fanger/fanger-ayuda.php> on April 16, 2021.
19. Brager, G. & De Dear, R. (1998). Thermal adaptation in the built environment: a literature review- Energy and Building, Volumen 27, Issue 1, pp 83-96. ISSN 0378-7788- [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00053-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00053-4) on April 15, 2021.
20. Nicol, Fergus & Humphreys, Michael. (2002). Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings. Energy and Buildings. 34. 563-572. Elsevier Ltd. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778802000063>. DOI 10.1016/S0378-7788(02)00006-3
21. Gómez-Azpeitia, L., Bojorquez, G. & Ruiz Torres, R. (2007). Thermal comfort: two confronted theoretical focuses. Journal of Scientific Research on Architecture. 2. 45-57. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/285832706\\_El\\_confort\\_termico\\_Dos\\_enfoques\\_teoricos](https://www.researchgate.net/publication/285832706_El_confort_termico_Dos_enfoques_teoricos) on April 15, 2021.

22. Sucar, L. Redes Bayesianas. Chapter 1. INAOE. Retrieved from <https://ccc.inaoep.mx/~esucar/Clases-mgp/caprb.pdf> on September 10, 2021
23. Skiba, M.; Mrówczyńska, M.; Sztubecka, M.; Bazan-Krzywoszańska, A.; Kazak, J.; Leśniak, A.; Janowiec, F. Probability estimation of the city's energy efficiency improvement as a result of using the phase change materials in heating networks. *Energy* 2021, 228, 120549. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120549>
24. Mazzafero, V.E.(1999). *Medicina y Salud Pública*. Eudeba. Bs.As.
25. Mazzafero , V.E., Wyszynski , D.F., Giacomini, H. ( 1996 ) *Condiciones de salud en Argentina: de cara al siglo XXI*. DOI: 10.1093/oxfordjournals.pubmed.a024485
26. Mazzafero, V.E y Wyszynski, D. F. (1996). Public health in Argentina. Letter to editor. *Rev. Saúde Pública* 30 (3). June 1996. <https://doi.org/10.1590/S0034-89101996000300014> Available in <https://www.scielo.br/j/rsp/a/WBDbq8ZJYS9t3Qr6wnXQysp/?lang=en>
27. Lugones Botell, M., Ramírez Bermúdez, M., Miyar Pieiga, E. (2013) "Paracelso". Medigraphic. Disponible en Paracelso: biografía y resumen de sus aportes a la ciencia (medicoplus.com)
28. Rostagno, H. Ramazzini, padre de la Medicina del Trabajo <http://www.empresaludng.com.ar/revista/nota/ramazzini-padre-de-la-medicina-del-trabajo/>
29. Ramazzini, B. De Morbis Artificum Diatriba [Diseases of Workers]. *Am J Public Health*. 2001 September; 91(9): 1380–1382. doi: 10.2105/ajph.91.9.1380
30. Historia del mundo contemporáneo. La Revolución Industrial: de las sociedades agrarias a las industriales. Disponible en : [http://ocw.innova.uned.es/epica/his\\_contempo/contenidos/html/unidad2/unidad001\\_1.html](http://ocw.innova.uned.es/epica/his_contempo/contenidos/html/unidad2/unidad001_1.html). Consultado el 17 de marzo de 2022
31. Oliver, T. (1908). *Diseases of Occupation from the legislative, social, and medical points of view*. London, Methuen & co. [https://ia802604.us.archive.org/7/items/diseasesofoccupa00olivrich/diseasesofoccupa00olivrich\\_bw.pdf](https://ia802604.us.archive.org/7/items/diseasesofoccupa00olivrich/diseasesofoccupa00olivrich_bw.pdf)
32. Historia de la OIT. Disponible en: <https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/history/lang--es/index.htm>
33. C161 - Convenio sobre los servicios de salud en el trabajo, 1985 (núm. 161). Disponible en: [https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100\\_ILO\\_CODE:C161](https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C161). Consultado el 18/03/2022

34. R171 - Recomendación sobre los servicios de salud en el trabajo, 1985 (núm. 171). Disponible en: [https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:55:0::NO::P55\\_TYPE,P55\\_LANG,P55\\_DOCUMENT,P55\\_NODE:REC,es,R171,%2FDocument](https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:55:0::NO::P55_TYPE,P55_LANG,P55_DOCUMENT,P55_NODE:REC,es,R171,%2FDocument). Consultado 18/03/2022
35. Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (1992). Disponible en: <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm>. Consultado el 18/03/2022
36. OMS Estrategia Mundial sobre Salud Ocupacional para todos: El Camino a la Salud (1994). Beijing, China. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/291279265/OMS-Estrategia-Mundial-Sobre-Salud-Ocupacional-Para-Todos-El-Camino-a-La-Salud>. Consultado el 10/3/2022
37. Rodgers, G., Lee, E., Van Daele, S. y Van Daele, J. (2009). La Organización Internacional del Trabajo y la lucha por la justicia social, 1919-2009. Oficina Internacional del Trabajo – Ginebra: OIT, 2009. ISBN 978-92-2-321955-0. Disponible en: [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@dgreports/@dcomm/@publ/documents/publication/wcms\\_104680.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@dgreports/@dcomm/@publ/documents/publication/wcms_104680.pdf). Consultado el 10/3/2022
38. Salud Ocupacional para todos: propuesta para una estrategia mundial de la OMS. Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana 119(5), 1995. Disponible en: <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/15528/v119n5p442.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consultado el 10/3/2022
39. Mangosio, J. (2008). Higiene y Seguridad en el Trabajo (Vol1). Disponible en: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=uCHD9MsrM-8C&oi=fnd&pg=PT11&dq=carga+t%C3%A9rmica+del+hombre&ots=hM1s\\_\\_3NJR&sig=03YwchnNUAm4SPcG7UrLwX-tr9l#v=onepage&q=carga%20t%C3%A9rmica%20del%20hombre&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=uCHD9MsrM-8C&oi=fnd&pg=PT11&dq=carga+t%C3%A9rmica+del+hombre&ots=hM1s__3NJR&sig=03YwchnNUAm4SPcG7UrLwX-tr9l#v=onepage&q=carga%20t%C3%A9rmica%20del%20hombre&f=false). Consultado el 20/02/2022
40. Exposición al frío .Medicina familiar, ZHn8 nov-dic 2007 Navarra. Disponible en: <https://zonahospitalaria.com/exposicion-al-frio/> consultado el 26/02/2022
41. Danzl, Daniel F. (2021). Introducción a las lesiones producidas por el frío, University of Louisville School of Medicine, 2021. Disponible en: <https://www.msmanuals.com/es-ar/hogar/traumatismos-y-envenenamientos/lesiones-producidas-por-el-fr%C3%ADo/introducci%C3%B3n-a-las-lesiones-producidas-por-el-fr%C3%ADo> Consultado el 26/02/2022
42. Danzl, Daniel F.(2019) Generalidades de las lesiones por el frío, University of Louisville School of Medicine, 2019. Disponible en:

- <https://www.msmanuals.com/es-ar/professional/lesiones-y-envenenamientos/lesiones-por-fr%C3%ADo/generalidades-sobre-las-lesiones-por-fr%C3%ADo>, consultado el 26/02/2022
43. Danzl, Daniel F. (2021). Hipotermia, University of Louisville School of Medicine, 2021. Disponible en <https://www.msmanuals.com/es/hogar/traumatismos-y-envenenamientos/lesiones-producidas-por-el-fr%C3%ADo/hipotermia> consultado el 26/02/2022
  44. Danzl, Daniel F. (2019). Lesiones tisulares sin congelamiento, University of Louisville School of Medicine, 2019. Disponible en: [https://www.msmanuals.com/es/professional/lesiones-y-envenenamientos/lesiones-por-fr%C3%ADo/lesiones-tisulares-sin-congelamiento#v1114849\\_es](https://www.msmanuals.com/es/professional/lesiones-y-envenenamientos/lesiones-por-fr%C3%ADo/lesiones-tisulares-sin-congelamiento#v1114849_es), consultado el 26/02/2022.
  45. Tobón, M.X., Rodríguez, G. Eritema pernio: una enfermedad misteriosa. Rev CES Med 2013; 27(1): 113-126. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/cesm/v27n1/v27n1a13.pdf> Consultado el 27/02/2022
  46. Tucto, S. Eritema pernio y vasculitis linfocítica de los pabellones auriculares: reporte de dos casos. Folia Dermatol 2004; 15(2): 98-104. 7.
  47. Corlett, W.T. Dermatitis hiemalis. A recurrent inflammation of the skin associated with cold weather. JAMA 1902; 39(25):1583-8. DOI:10.1001/JAMA.1902.52480510023001E-Corpus ID: 71997986
  48. Disponible en: [https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRQAcfhV9cGZol8Oliagn0Ax83hX5zF5v\\_nrz79TsRO0y2HovnVgz-3-Un3UmopMVtloFI&usqp=CAU](https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRQAcfhV9cGZol8Oliagn0Ax83hX5zF5v_nrz79TsRO0y2HovnVgz-3-Un3UmopMVtloFI&usqp=CAU). Consultado el 27/02/2022
  49. <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTPERXzE549Wx5rBjWPvfVuk9avS wkbyE5mGvpku2AG4mXWD34dfALGwdhiw11ZtS0heS8&usqp=CAU>. Consultado el 27/02/2022
  50. Tafoya Arreguín, G.A.(2013) -Lesiones por congelamiento “Frostbite”. Vol 9. Num.2. <https://www.medigraphic.com/pdfs/orthotips/ot-2013/ot132h.pdf>
  51. Danzl, Daniel F. (2019). Congelación - Lesiones y envenenamientos - Manual MSD versión para profesionales (msmanuals.com). Disponible en: <https://www.msmanuals.com/es/professional/lesiones-y-envenenamientos/lesiones-por-fr%C3%ADo/congelaci%C3%B3n>. Consultado el 27/02/2022
  52. Teo, Koon K. Síndrome de Raynaud, 2019. Disponible en: <https://www.msmanuals.com/es/professional/trastornos->

cardiovasculares/enfermedades-arteriales-perif%C3%A9ricas/s%C3%ADndrome-de-raynaud.Consultado el 27/02/2022

53. Teo, Koon K. Síndrome de Raynaud, 2019. Versión para público en general. Disponible en: [https://www.msmanuals.com/es/hogar/trastornos-del-coraz%C3%B3n-y-los-vasos-sangu%C3%ADneos/arteriopat%C3%ADa-perif%C3%A9rica/s%C3%ADndrome-de-raynaud\\_](https://www.msmanuals.com/es/hogar/trastornos-del-coraz%C3%B3n-y-los-vasos-sangu%C3%ADneos/arteriopat%C3%ADa-perif%C3%A9rica/s%C3%ADndrome-de-raynaud_) Consultado el 27/02/2022
54. Delves, Peter J. Alergia Física (2020). Disponible en: <https://www.msmanuals.com/es/hogar/trastornos-inmuno%C3%B3gicos/reacciones-al%C3%A9rgicas-y-otros-trastornos-de-hipersensibilidad/alergia-f%C3%ADsica>. Consultado el 27/02/2022
55. Argentina. Resolución 295/2003- Anexo III. Recuperado de: <https://www.argentina.gov.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-295-2003-90396/texto> el 28/02/2022
56. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS-CCOO).Exposición laboral a estrés térmico por calor y sus efectos en la salud. ¿Qué hay que saber? QAR Comunicación, SA, 2019. Disponible en : <https://istas.net/sites/default/files/2019-04/Guia%20EstresTermico%20por%20exposicion%20a%20calor.pdf> consultado el 28/02/2022.
57. España. Instituto de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Calor y Trabajo. Prevención de riesgos laborales debido al estrés térmico por calor. Disponible en: <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/AF2BD786-0A6D-4564-9076-BE42220B4843/225685/calorytrabajoprofesional.pdf> , consultado el 28/02/2022
58. UGT- Madrid. Informe: Estrés térmico por calor. Disponible en: [https://madrid.ugt.org/sites/madrid.ugt.org/files/node\\_gallery/Galeria%20Publicaciones/Estres%20termico%202011.pdf](https://madrid.ugt.org/sites/madrid.ugt.org/files/node_gallery/Galeria%20Publicaciones/Estres%20termico%202011.pdf) consultado el 28/02/2022
59. Armendáriz Pérez de Ciriza, P. EVALTER-OBS: Método Simple de Evaluación de Molestias Térmicas y Riesgos debidos al Estrés Térmico por observación directa de las condiciones de trabajo. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. España. Disponible en: <https://www.insst.es/documents/94886/96076/EVALTER-OBS.+M%C3%A9todo+simple+de+evaluaci%C3%B3n+de+molestias+t%C3%A9rmicas+y+riesgos+debidos+al+estr%C3%A9s+t%C3%A9rmico+por+observaci%C3%B3n+directa+de+las+condiciones+de+trabajo/801990f3-e4ec-4112-8e84-ba92e9224a8c?t=1560048667676> Consultado el 01/03/2022
60. ISO (Organización Internacional de Normalización). 2017. Ergonomics of the thermal environment: Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index, ISO 7243:2017

61. Zhang, W. et al. (2019). Projected Changes in Maternal Heat Exposure During Early Pregnancy and the Associated Congenital Heart Defect Burden in the United States. *Journal of the American Heart Association*. 2019; <https://doi.org/10.1161/JAHA.118.010995> Disponible en: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/JAHA.118.010995>, consultado el 01/03/2022
62. Kjellstrom, T., Maître, N., Saget, C., Otto, M. and Karimova, T. Informe: Trabajar en un planeta más caliente: El impacto del estrés térmico en la productividad laboral y el trabajo decente. OIT, 2019. Impreso: ISBN: 978-92-2-031464-7. ISBN Web: 978-92-2-031465-4. Disponible en [https://www.ilo.org/global/publications/books/WCMS\\_768707/lang-es/index.htm](https://www.ilo.org/global/publications/books/WCMS_768707/lang-es/index.htm). Consultado el 01/03/2022
63. OIT. Nuevo informe: El aumento del estrés térmico podría llevar a una pérdida de productividad equivalente a 80 millones de empleos, 2019. Disponible en: [https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS\\_711946/lang-es/index.htm#:~:text=El%20nuevo%20informe%20de%20la,a%20escalas%20nacional%2C%20regional%20y](https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_711946/lang-es/index.htm#:~:text=El%20nuevo%20informe%20de%20la,a%20escalas%20nacional%2C%20regional%20y), consultado el 01/03/2022
64. OIT. Directrices de política para una transición justa hacia economías y sociedades ambientalmente sostenibles para todos. (2015). [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_emp/---emp\\_ent/documents/publication/wcms\\_432865.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_ent/documents/publication/wcms_432865.pdf), consultado el 06/03/2022
65. Atmaca, I. y Koçak, S. (2013). İçletmelerde Farklı Metabolik Aktivite Düzeylerinde Çalışanlar İçin Isıl Konfor Bölgelerinin Tespiti. *Mühendis y Makina*, 54 (638), 26-32. [https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/a9bd1307845e536\\_ek.pdf](https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/a9bd1307845e536_ek.pdf) on March 2, 2021.
66. Sun, C., Lian, Z., Lan, L. & Zhang, H. (2013). Research on the temperature range for thermal comfort in non-uniform environments. *HVAC and R Research*, 19 (2), 103-112. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10789669.2012.744927>
67. Martínez Molina, A., Boarin, P., Tort-Ausina, I. & Vivancos, J. (2018). Assessing visitors' thermal comfort in historic museum buildings: Results from a Post-Occupancy Evaluation on a case study. *Building and Environment* (132)311 - 322. Elsevier Ltd. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132318300696>. DOI: 10.1016/j.buildenv.2018.02.003 (JCR IF:4,54, 4/62 Q1).
68. Singh, MK, Ooka, R., Rijal, HB, Kumar, S., Kumar, A. y Mahapatra, S. (April 1, 2019). Progress in thermal comfort studies in classrooms over last 50 years

and way forward. *Energy and Building*. Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.051>

69. Martínez Molina, A., Boarin, P., Tort-Ausina, I. & Vivancos, J. (2017). Post-occupancy evaluation of a historic primary school in Spain: Comparing PMV, TSV and PD for teachers' and pupils' thermal comfort. *Building and Environment*, (117)328 - 319. Elsevier Ltd.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132317300963>.  
DOI: 10.1016/j.buildenv.2017.03.010 (JCR IF:4,54, 4/62 Q1).
70. Forgiarini, R. & Ghisi, E. (2017). Predicting thermal comfort in office buildings in a Brazilian temperate and humid climate. *Energy and Buildings*.144. pp 152-166. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.039>
71. Jia, X.; Cao, B., Zhu, Y. & Liu, B. (2020). Thermal comfort in mixed-mode buildings: A field study in Tianjin, China. *Building and Environment*. 185. Elsevier Ltd.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132320306156>.  
DOI: 10.1016/j.buildenv.2020.107244.
72. Gallardo, A., Palme, M., Lobato-Cordero, A., Beltran, RD, Gaona, G. (2016). Evaluation of thermal comfort in a naturally conditioned office in a temperate climate zone. *Buildings* 2016, 6, 27. <https://doi.org/10.3390/buildings6030027>  
on April 17, 2021.
73. Piasecki, M., Fedorczak-Cisak, M., Furtak, M. & Biskupski, J. (2019). Experimental Confirmation of the Reliability of Fanger's Thermal Comfort Model—Case Study of a Near-Zero Energy Building (NZEB) Office Building. *Sustainability* 11, no. 9: 2461. <https://doi.org/10.3390/su11092461>
74. Bartual Sánchez, J. y otros (1994). *Higiene industrial*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).  
<https://www.insst.es/documents/94886/96076/Higiene+industrial/eb2a1df4-baf4-4561-a172-deeefcfe48fcb>. Consultado 07/01/2022.
75. Castejón, E. (1974). Evaluación del ambiente térmico en higiene del trabajo. En *Revista de Medicina de Empresa*. Vol. IX, N° 4. Madrid.
76. <https://www.tesisred.net/bitstream/handle/10803/6104/08CAPITULO3.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
77. Arroyo, F. Salud y Seguridad laboral en ambientes térmicos.  
[http://www.ingenieroambiental.com/4014/lsi\\_cap10.pdf](http://www.ingenieroambiental.com/4014/lsi_cap10.pdf)
78. España. Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). [Internet] Boletín Oficial del Estado, núm. 207, de 29 de agosto de 2007, páginas 35931 a 35984 [consultado el 2 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-15820>

79. España. Normas Técnicas de Prevención. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. [Internet] NTP 74, 1983, Confort térmico - Método de Fanger para su evaluación [consultado el 15 de marzo de 2020]. Disponible en: [https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp\\_074.pdf/1a5d4655-f44d-4118-9516-281a452e820d](https://www.insst.es/documents/94886/326853/ntp_074.pdf/1a5d4655-f44d-4118-9516-281a452e820d)
80. España. Normas Técnicas de Prevención. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo. [Internet] NTP 501, 1998, Ambiente térmico e inconfort térmico local [consultado el 15 de marzo de 2020]. Disponible en: [https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp\\_501.pdf/24b8f22e-7ce7-43c7-b992-f79d969a9d77](https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_501.pdf/24b8f22e-7ce7-43c7-b992-f79d969a9d77)
81. España. Ley de prevención de riesgos laborales (LPRL)- Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales: Real Decreto 486/1997, de 14 de abril. [Internet] Boletín Oficial del Estado, 23 de abril de 1997 [consultado el 26 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/1997/BOE-A-1997-8669-consolidado.pdf>
82. Argentina. Ley N° 19587/72 sobre Seguridad y Salud en el Trabajo. Recuperado de: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/verNorma.do?id=17612>, el 29 de marzo de 2021
83. Argentina. Decreto Reglamentario N° 351/79. Recuperado de: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/30000-34999/32030/dto351-1979-anexo1.htm> el 29 de marzo de 2021.
84. Argentina. Ley 13059/03 reglamentada por el Decreto N° 1030/10. Recuperado de <https://normas.gba.gob.ar/documentos/VGONKpUW.html> el 21 de febrero de 2021.
85. Argentina. Ley N° 4458 sobre Normas de acondicionamiento térmico en la construcción de edificios. Consultado de: <http://www2.cedom.gob.ar/es/legislacion/normas/leyes/ley4458.html> el 17 de abril de 2021
86. Benito, P., Gonzalez Gaya, C. & Sebastián, M. A. (2019). Thermal industrial comfort analysis according to different regulations, Chapter 04 in B. Katalinic (Ed.), DAAAM International Scientific Book 2019, (pp.043-054). Published by DAAAM International, ISBN 978-3-903134-32-2, ISSN 1732-9687, Vienna, Austria. Retrieved from [https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/science\\_books\\_pdfs/2019/Sc\\_Book\\_2019-004.pdf](https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/science_books_pdfs/2019/Sc_Book_2019-004.pdf). DOI: 10.3107/daaam.scibook.2019.04 0
87. WEKA Download and Install. Available online: <https://sourceforge.net/projects/weka/> (accessed on 27 November 2021).
88. Elvira Software Installation. Available online: <http://www.ia.uned.es/~elvira/instalar/instalar.html> (accessed on 10 January 2021).

89. Witten, I.; Frank, E.; Hall, M.; Pal, C. The Weka WorkBench, Online Appendix for "Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques, 4th ed.; Morgan Kaufmann: Burlington, MA, USA, 2017. ISBN 9780128042915. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804291-5.00020-9>.
90. Díez Vegas, F. Elvira. Introductory Manual. Version 0.13. Available online: <http://www.ia.uned.es/~fjdiez/bayes/elvira/manual/manual.html> (accessed on 5 March 2021).
91. Clima. Argentina.gob.ar. <https://www.argentina.gob.ar/pais/territorio/clima>. Consultado el 26 /04/2022
92. <https://mapamundi.online/wp-content/uploads/2018/11/argentina-mapamundi.png>
93. <https://www.netmaps.es/wp-content/uploads/2016/03/Argentina-mapa-clima.png>
94. Benito, P. y Agnoli, D. (2011). Niveles de confort térmico regionales para distintas condiciones en el ambiente de trabajo. *Revista de Seguridad*, 70 (410), 26 - 28.
95. Bohri, J. et al, (2012), Análisis de Índices de Confort Térmico para las condiciones de la República Argentina, comenzando por C.A.B.A y la Provincia de Buenos Aires. Recuperado de [http://www.edutecne.utn.edu.ar/energia\\_ure\\_mendoza\\_2012/01-analisis-FRGP.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/energia_ure_mendoza_2012/01-analisis-FRGP.pdf)
96. Benito, P. et al. (2018). Climate Change, Environment and Biosphere: Thermal Comfort Levels. *Revista de Investigaciones Científicas de la Universidad de Morón*, 2 (3), 45-49. <https://doi.org/10.34073/36>
97. Argentina. Ministerio del Interior. (2021). Región de la Patagonia. [https://www.mininterior.gov.ar/municipios/gestion/regiones\\_archivos/Patagonia.pdf](https://www.mininterior.gov.ar/municipios/gestion/regiones_archivos/Patagonia.pdf). 2021 (Consultado el 14/03/2021)
98. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/regioneshumedbaja2.pdf>
99. Kralikova, R. & Wessely, E. (2018). Impact of the Environmental Factors and its Effects on Productivity and Health, Proceedings of the 29th DAAAM International Symposium, pp.0119-0124, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-20-4, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria. DOI: 10.2507/29th.daaam.proceedings.016. [https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings\\_2018/016.pdf](https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2018/016.pdf)
100. García Morate, D. WEKA Manual. (2004). Available online: <https://knowledgesociety.usal.es/sites/default/files/MANUAL%20WEKA.pdf> (accessed on 29 March 2021).
101. Benito, P.; González Gaya, C. & Sebastián Pérez, M. A. (2020). Evaluation, using Algorithms, of Thermal Comfort Levels in the Industrial Area of the

- Region of Buenos Aires, Argentina in ICPME 2020 [175]- 24 th International Congress on Project Management and Engineering. Alcoi, 7th – 10th July 2020. Available in <http://dspace.aepro.com/xmlui/handle/123456789/2555>
102. Benito, P., Gonzalez Gaya, C. & Sebastián, M. A. (2021). Methodology for the analysis of industrial thermal comfort levels and its application to the southern zone of Argentina in ICPME 2021 [163]- 25th International Congress on Project Management and Engineering. Alcoi, 6th – 9th July 2021. Available in <http://dspace.aepro.com/xmlui/handle/123456789/3027>
103. Benito, P.I.; Sebastián, M.A.; González-Gaya, C. Study and Application of Industrial Thermal Comfort Parameters by Using Bayesian Inference Techniques. *Appl. Sci.* 2021, 11, 11979. <https://doi.org/10.3390/app112411979>
104. Benito, P., Gonzalez Gaya, C. & Sebastián, M. A. (2021). Hygrothermal Parameters for Industrial Comfort. A case study in the southern area of Argentina. En VI Congreso Internacional de Innovación Tecnológica en Edificación (CITE 2021). Madrid, España, del 24 al 26 de marzo de 2021
105. AccuWeather. Available online: <https://www.accuweather.com/> (on April 17 2021).
106. Data Set—Comfort Temperature—Northern area of Argentina-Linear Regression, ResearchGate. 2021. Available online: [https://www.researchgate.net/publication/355652081\\_Data\\_set\\_-\\_Comfort\\_Temperature\\_-\\_Northern\\_area\\_of\\_Argentina-Linear\\_Regression](https://www.researchgate.net/publication/355652081_Data_set_-_Comfort_Temperature_-_Northern_area_of_Argentina-Linear_Regression) (on November 4 2021)
107. Carollo Limeres, M. Carmen. Regresión lineal Simple. Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Universidad de Santiago de Compostela, 2011-12. [http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat\\_50140116\\_Regr\\_%20simple\\_2011\\_12.pdf](http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat_50140116_Regr_%20simple_2011_12.pdf)
108. Benito, P. (2022) Estrés por calor y frío. Disertante. Panel de Salud Ocupacional. XIX Congreso Argentino de Seguridad, Salud Ocupacional, Recursos Humanos, Medio Ambiente y Comunidad. Buenos Aires, Argentina, 21 de abril 2022.
109. Khalilnejad, A.; French, R. & Abramson, A. (2020) Data-driven evaluation of HVAC operation and savings in commercial buildings. *Applied Energy*, 2020; 318 - Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115505> on March 29, 2021
110. Malinauskaite, J. et al (2020). Energy efficiency in the industrial sector in the EU, Slovenia, and Spain. *Energy*. 208. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118398> on April 17, 2021

111. Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of December 11, 2018 amending Directive 2012/27 / EU on energy efficiency. <https://www.boe.es/doue/2018/328/L00210-00230.pdf> on March 29,2021
112. Argentina. Decree 140/2007: National Program for the rational and efficient use of energy. Retrieved from <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/135000-139999/136078/norma.htm>, on January 18, 2021

# **ANEXO A**

## **Confort térmico- Área Sur de Argentina**

## ANEXO A. Confort térmico- Área sur de Argentina

### A.1. Datos de entrada- Confort térmico- Área sur de Argentina. Invierno

Estación	Actividad	Temp. (°C)	Humedad Relativa (%)	Horario	Confort
Invierno	Fuerte	18	33	10	Medio
Invierno	Fuerte	21	30	10	Medio
Invierno	Fuerte	21	25	10	Alto
Invierno	Fuerte	19	29	10	Medio
Invierno	Fuerte	20	31	10	Medio
Invierno	Fuerte	22	31	10	Medio
Invierno	Fuerte	22	34	10	Medio
Invierno	Fuerte	22	43	10	Medio
Invierno	Fuerte	23	34	10	Medio
Invierno	Fuerte	20	44	10	Medio
Invierno	Fuerte	21	40	10	Medio
Invierno	Fuerte	18	51	10	Medio
Invierno	Fuerte	18	53	10	Medio
Invierno	Fuerte	17	53	10	Medio
Invierno	Fuerte	18	58	10	Medio
Invierno	Fuerte	19	64	10	Medio
Invierno	Fuerte	20	14	10	Medio
Invierno	Fuerte	21	29	10	Medio
Invierno	Fuerte	20	27	10	Medio
Invierno	Leve	26	23	10	Alto
Invierno	Leve	26	19	10	Alto
Invierno	Leve	26	21	10	Alto
Invierno	Leve	26	17	10	Alto
Invierno	Leve	26	19	10	Alto
Invierno	Leve	25	28	10	Alto
Invierno	Leve	28	12	10	Medio
Invierno	Moderado	24	19	10	Medio
Invierno	Moderado	24	17	10	Medio
Invierno	Moderado	24	17	10	Alto
Invierno	Moderado	24	16	10	Alto
Invierno	Moderado	24	34	10	Medio
Invierno	Moderado	23	28	10	Medio
Invierno	Moderado	25	25	10	Medio
Invierno	Moderado	24	34	10	Alto
Invierno	Moderado	23	20	10	Medio
Invierno	Moderado	24	19	10	Alto

## A. 2. Datos de entrada-Confort térmico- Área sur de Argentina. Verano

Estación	Actividad	Temp. (°C)	Humedad Relativa (%)	Horario	Confort
Verano	Fuerte	50	18	18	Bajo
Verano	Fuerte	49	18	18	Bajo
Verano	Fuerte	49	18	15	Bajo
Verano	Fuerte	51	18	18	Bajo
Verano	Fuerte	45	18	15	Bajo
Verano	Fuerte	44	18	18	Bajo
Verano	Fuerte	48	18	15	Bajo
Verano	Fuerte	45	18	15	Bajo
Verano	Fuerte	47	18	15	Bajo
Verano	Fuerte	47	18	18	Bajo
Verano	Fuerte	38	18	10	Bajo
Verano	Fuerte	36	18	10	Bajo
Verano	Fuerte	31	20	10	Bajo
Verano	Fuerte	35	18	10	Bajo
Verano	Fuerte	34	18	10	Bajo
Verano	Fuerte	23	48	18	Alto
Verano	Fuerte	23	48	18	Alto
Verano	Fuerte	23	48	18	Alto
Verano	Fuerte	23	48	18	Alto
Verano	Fuerte	23	51	15	Alto
Verano	Fuerte	23	51	15	Alto
Verano	Fuerte	23	51	15	Alto
Verano	Fuerte	23	51	15	Alto
Verano	Fuerte	23	55	15	Alto
Verano	Fuerte	23	55	15	Alto
Verano	Fuerte	23	55	15	Alto
Verano	Fuerte	23	55	15	Alto
Verano	Moderado	36	18	15	Bajo
Verano	Moderado	33	19	18	Bajo
Verano	Moderado	35	18	15	Bajo
Verano	Moderado	32	19	18	Bajo
Verano	Moderado	30	20	10	Bajo
Verano	Moderado	33	18	15	Bajo
Verano	Moderado	29	20	10	Bajo
Verano	Moderado	35	18	15	Bajo
Verano	Moderado	30	22	10	Bajo
Verano	Moderado	36	18	15	Bajo
Verano	Moderado	34	18	18	Bajo



---

Verano	Moderado	25	55	15	Medio
Verano	Moderado	25	55	15	Medio
Verano	Moderado	25	55	15	Medio
Verano	Moderado	25	55	15	Medio
Verano	Moderado	22	32	10	Medio
Verano	Moderado	22	31.3	10	Medio
Verano	Moderado	24	38.4	10	Medio
Verano	Moderado	24	32.5	10	Medio
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	46	10	Alto
Verano	Moderado	22	44	10	Alto
Verano	Moderado	22	44	10	Alto
Verano	Moderado	22	44	10	Alto
Verano	Moderado	22	44	10	Alto
Verano	Moderado	22	44	10	Alto
Verano	Moderado	22	44	10	Alto
Verano	Moderado	22	44	10	Alto
Verano	Moderado	22	44	10	Alto
Verano	Moderado	22	44	10	Alto
Verano	Moderado	22	44	10	Alto
Verano	Moderado	22	44	10	Alto
Verano	Moderado	22	44	10	Alto
Verano	Moderado	22	44	10	Alto
Verano	Moderado	22	44	10	Alto
Verano	Moderado	22	44	10	Alto
Verano	Moderado	22	44	10	Alto
Verano	Moderado	22	44	10	Alto

---



---

Verano	Moderado	24	46	10	Alto
Verano	Moderado	24	46	10	Alto
Verano	Moderado	24	46	10	Alto
Verano	Moderado	24	46	10	Alto
Verano	Moderado	24	46	10	Alto
Verano	Moderado	24	46	10	Alto
Verano	Moderado	24	46	10	Alto
Verano	Moderado	24	46	10	Alto
Verano	Moderado	24	46	10	Alto
Verano	Moderado	24	46	10	Alto
Verano	Moderado	24	46	10	Alto
Verano	Moderado	24	46	10	Alto
Verano	Moderado	24	46	10	Alto
Verano	Moderado	24	46	10	Alto
Verano	Moderado	24	46	10	Alto
Verano	Moderado	24	46	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	23	44	10	Alto
Verano	Moderado	24	48	18	Alto
Verano	Moderado	24	48	18	Alto
Verano	Leve	21	44	10	Medio
Verano	Leve	21	44	10	Medio
Verano	Leve	21	44	10	Medio
Verano	Leve	21	44	10	Medio

---



---

Verano	Leve	24	48	18	Alto
Verano	Leve	24	48	18	Alto
Verano	Leve	24	48	18	Alto
Verano	Leve	24	48	18	Alto
Verano	Leve	24	48	18	Alto
Verano	Leve	24	48	18	Alto
Verano	Leve	24	48	18	Alto
Verano	Leve	24	48	18	Alto
Verano	Leve	24	48	18	Alto
Verano	Leve	24	48	18	Alto
Verano	Leve	24	48	18	Alto
Verano	Leve	24	48	18	Alto
Verano	Leve	24	48	18	Alto
Verano	Leve	24	48	18	Alto
Verano	Leve	24	48	18	Alto
Verano	Leve	24	48	18	Alto
Verano	Leve	24	48	18	Alto

---

## **ANEXO B**

### **Confort térmico- Área Norte de Argentina**

## ANEXO B. Confort térmico- Área Norte de Argentina

### B.1. Datos de entrada- Confort térmico- Área norte de Argentina. Verano

Season	Time (hour)	Activity	Temperature (°C)	Relative humidity (%)	Comfort
Summer	10	Moderate	25	60	Medium
Summer	10	Heavy	25	60	Medium
Summer	10	Moderate	26	60	Medium
Summer	10	Heavy	26	60	Low
Summer	10	Light	27	60	Medium
Summer	10	Light	27	60	High
Summer	10	Moderate	25	61	High
Summer	10	Moderate	25	61	High
Summer	10	Heavy	25	61	Medium
Summer	10	Heavy	25	61	Low
Summer	10	Moderate	26	61	Medium
Summer	10	Heavy	26	61	Medium
Summer	10	Moderate	27	61	Medium
Summer	10	Heavy	27	61	Low
Summer	10	Light	28	61	High
Summer	10	Light	25	62	High
Summer	10	Light	26	62	High
Summer	10	Light	26	62	High
Summer	10	Moderate	26	62	Medium
Summer	10	Moderate	26	62	High
Summer	10	Moderate	26	62	Medium
Summer	10	Moderate	26	62	Medium
Summer	10	Moderate	26	62	Medium
Summer	10	Moderate	26	62	Medium
Summer	10	Heavy	26	62	Medium
Summer	10	Heavy	26	62	Medium
Summer	10	Heavy	26	62	Medium
Summer	10	Heavy	26	62	Medium
Summer	10	Heavy	26	62	Medium
Summer	10	Heavy	26	62	Medium
Summer	10	Heavy	26	62	Medium
Summer	10	Light	27	62	High
Summer	10	Moderate	27	62	Medium
Summer	10	Moderate	27	62	Medium
Summer	10	Heavy	27	62	Medium
Summer	10	Heavy	27	62	Low

---

Summer	10	Light	26	63	Medium
Summer	10	Light	26	63	Medium
Summer	10	Moderate	26	63	Medium
Summer	10	Heavy	26	63	Medium
Summer	10	Light	27	63	Medium
Summer	10	Moderate	27	63	Medium
Summer	10	Heavy	27	63	Medium
Summer	10	Light	28	63	Medium
Summer	10	Light	28	63	Medium
Summer	10	Light	28	63	Medium
Summer	10	Light	25	65	High
Summer	15	Light	24	41	High
Summer	15	Light	24	43	High
Summer	15	Light	24	43	High
Summer	15	Light	25	43	High
Summer	15	Light	25	43	High
Summer	15	Light	25	43	High
Summer	15	Light	25	43	High
Summer	15	Light	26	43	High
Summer	15	Light	25	47	High
Summer	15	Light	25	47	High
Summer	15	Light	24	48	High
Summer	15	Light	24	48	High
Summer	15	Light	24	49	High
Summer	15	Light	25	50	High
Summer	15	Light	26	50	High
Summer	15	Moderate	32	70	Medium
Summer	15	Moderate	32	70	Low
Summer	15	Heavy	32	70	Low
Summer	15	Heavy	32	70	Low
Summer	15	Moderate	33	70	Low
Summer	15	Moderate	33	70	Low
Summer	15	Heavy	33	70	Low
Summer	15	Heavy	33	70	Low
Summer	15	Moderate	32	71	Medium
Summer	15	Moderate	32	71	Low
Summer	15	Heavy	32	71	Low
Summer	15	Moderate	33	71	Low
Summer	15	Heavy	33	71	Low
Summer	15	Moderate	32	72	Medium
Summer	15	Moderate	32	72	Low
Summer	15	Moderate	32	72	Low
Summer	15	Heavy	32	72	Low
Summer	15	Heavy	32	72	Low

---

---

Summer	15	Moderate	33	72	Low
Summer	15	Moderate	33	72	Low
Summer	15	Heavy	33	72	Low
Summer	15	Heavy	33	72	Low
Summer	15	Moderate	34	72	Low
Summer	15	Moderate	34	72	Low
Summer	15	Heavy	34	72	Low
Summer	15	Heavy	34	72	Low
Summer	15	Moderate	34	73	Low
Summer	15	Heavy	34	73	Low
Summer	15	Moderate	34	74	Low
Summer	15	Heavy	34	74	Low
Summer	18	Heavy	24	41	High
Summer	18	Heavy	24	43	High
Summer	18	Heavy	24	43	High
Summer	18	Heavy	25	43	High
Summer	18	Heavy	25	43	High
Summer	18	Heavy	25	43	High
Summer	18	Heavy	26	43	Medium
Summer	18	Light	25	47	High
Summer	18	Light	25	47	High
Summer	18	Heavy	25	47	Medium
Summer	18	Light	24	48	High
Summer	18	Light	24	48	High
Summer	18	Light	25	48	High
Summer	18	Light	24	49	High
Summer	18	Light	24	49	High
Summer	18	Heavy	24	49	Medium
Summer	18	Light	25	50	High
Summer	18	Heavy	25	50	Medium
Summer	18	Light	26	50	High
Summer	18	Heavy	26	50	Medium
Summer	18	Light	24	51	High
Summer	18	Light	26	51	High
Summer	18	Light	26	51	Medium
Summer	18	Light	24	52	High
Summer	18	Light	24	52	High
Summer	18	Moderate	30	69	Medium
Summer	18	Moderate	30	69	Medium
Summer	18	Moderate	30	69	Medium
Summer	18	Moderate	30	69	Medium
Summer	18	Moderate	31	69	Medium
Summer	18	Moderate	31	69	Low

---

Summer	18	Moderate	32	69	Low
Summer	18	Moderate	32	69	Low
Summer	18	Moderate	30	70	Medium
Summer	18	Moderate	31	70	Medium
Summer	18	Moderate	31	70	Low
Summer	18	Moderate	31	70	Low
Summer	18	Moderate	32	70	Medium
Summer	18	Moderate	34	70	Low
Summer	18	Moderate	35	70	Low
Summer	18	Moderate	35	72	Low
Summer	18	Moderate	35	73	Low

B. 2. Datos de entrada- Confort térmico- Área norte de Argentina. Invierno

Season	Time (hours)	Temperature (°C)	Relative humidity (%)	Activity	Comfort
Winter	10	18	75	Heavy	medium
Winter	10	18	78	Heavy	medium
Winter	10	18	75	Moderate	low
Winter	10	18	78	Moderate	low
Winter	10	19	75	Heavy	medium
Winter	10	19	78	Heavy	low
Winter	10	19	75	Moderate	low
Winter	10	19	78	Moderate	low
Winter	10	20	77	Heavy	medium
Winter	10	20	77	Heavy	medium
Winter	10	20	77	Heavy	medium
Winter	10	20	77	Moderate	medium
Winter	10	20	77	Moderate	medium
Winter	10	20	77	Moderate	medium
Winter	10	20	77	Light	medium
Winter	10	20	77	Light	medium
Winter	10	20	77	Light	medium
Winter	10	21	75	Light	medium
Winter	10	21	77	Light	medium
Winter	10	22	78	Heavy	medium
Winter	10	22	78	Moderate	medium
Winter	10	22	78	Light	medium
Winter	10	22	78	Light	medium
Winter	10	22	78	Light	medium
Winter	10	22	78	Light	medium
Winter	10	22	77	Light	medium

---

Winter	10	23	77	Light	medium
Winter	10	23	78	Light	medium
Winter	10	23	75	Light	medium
Winter	10	23	75	Light	medium
Winter	10	24	75	Light	medium
Winter	10	24	78	Light	medium
Winter	10	25	54	Light	high
Winter	10	25	54	Light	high
Winter	10	25	54	Light	high
Winter	10	25	54	Light	high
Winter	10	25	54	Light	high
Winter	10	25	54	Light	high
Winter	10	25	54	Light	high
Winter	10	25	55	Light	high
Winter	10	25	55	Light	high
Winter	10	25	55	Light	high
Winter	10	25	55	Light	high
Winter	10	25	55	Light	high
Winter	10	25	55	Light	high
Winter	10	25	55	Light	high
Winter	10	25	55	Light	high
Winter	10	25	55	Light	high
Winter	10	25	54	Light	high
Winter	10	25	54	Light	high
Winter	10	25	54	Light	high
Winter	10	25	54	Light	high
Winter	10	25	54	Light	high
Winter	10	25	54	Light	high
Winter	10	25	54	Light	high
Winter	10	25	54	Light	medium
Winter	10	25	54	Light	high
Winter	10	25	54	Moderate	high
Winter	10	25	54	Moderate	high
Winter	10	25	54	Moderate	high
Winter	10	25	54	Moderate	high
Winter	10	25	54	Moderate	high
Winter	10	25	54	Moderate	high
Winter	10	25	54	Moderate	high
Winter	10	25	54	Moderate	medium
Winter	10	25	54	Heavy	medium
Winter	10	25	54	Heavy	medium
Winter	10	25	54	Heavy	medium
Winter	10	25	54	Heavy	medium
Winter	10	25	54	Heavy	medium
Winter	10	25	54	Heavy	medium
Winter	10	25	54	Heavy	medium
Winter	10	25	55	Heavy	medium
Winter	10	25	55	Heavy	medium

---



---

Winter	10	26	55	Heavy	medium
Winter	10	26	55	Heavy	low
Winter	10	26	55	Heavy	low
Winter	10	26	55	Heavy	low
Winter	10	26	55	Heavy	low
Winter	10	26	55	Heavy	low
Winter	10	26	55	Heavy	low
Winter	10	26	55	Heavy	low
Winter	10	26	55	Heavy	low
Winter	10	26	55	Heavy	low
Winter	10	26	55	Heavy	low
Winter	10	27	56	Light	medium
Winter	10	27	56	Light	medium
Winter	10	27	56	Light	high
Winter	10	27	56	Light	high
Winter	10	27	56	Light	high
Winter	10	27	56	Light	medium
Winter	10	27	56	Light	high
Winter	10	27	56	Moderate	medium
Winter	10	27	56	Moderate	medium
Winter	10	27	56	Moderate	medium
Winter	10	27	56	Moderate	medium
Winter	10	27	56	Moderate	medium
Winter	10	27	56	Moderate	medium
Winter	10	27	56	Moderate	medium
Winter	10	27	56	Heavy	low
Winter	10	27	56	Heavy	low
Winter	10	27	56	Heavy	low
Winter	10	27	56	Heavy	low
Winter	10	27	56	Heavy	low
Winter	10	27	56	Heavy	low
Winter	10	27	56	Heavy	low

---

## **ANEXO C**

### **WEKA: Validación cruzada-Árbol de decisión**

# ANEXO C. WEKA: Validación cruzada y árbol de decisión

## C.1 WEKA: Validación cruzada y árbol de decisión. Zona sur

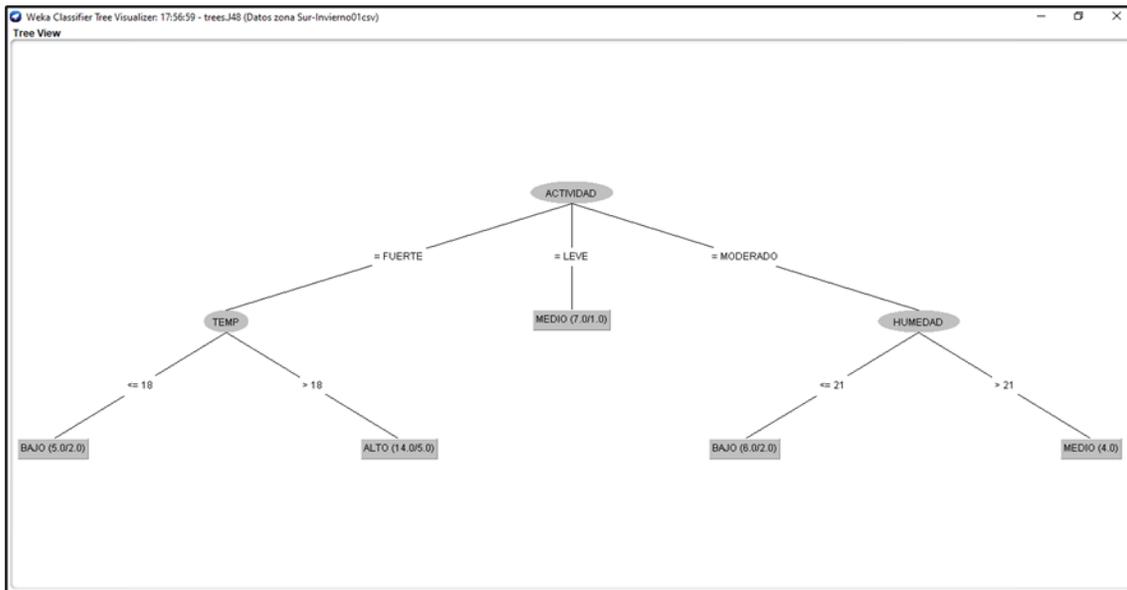
### C.1.1 WEKA: Validación cruzada y árbol de decisión. Zona sur. Invierno

The screenshot shows the Weka Explorer interface with the 'Classify' tab selected. The classifier chosen is 'J48 -C 0.25-M 2'. The 'Test options' section has 'Cross-validation' selected with 'Folds' set to 10. The 'Classifier output' pane displays the following results:

```
=== Stratified cross-validation ===
=== Summary ===
Correctly Classified Instances      22      61.1111 %
Incorrectly Classified Instances    14      38.8889 %
Kappa statistic                    0.3964
Mean absolute error                 0.302
Root mean squared error             0.4426
Relative absolute error             72.3647 %
Root relative squared error         96.8667 %
Total Number of Instances          36
Ignored Class Unknown Instances     1

=== Detailed Accuracy By Class ===
          TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Cla
          0,857   0,138   0,600     0,857   0,706     0,636   0,855    0,507    BAJ
          0,556   0,278   0,667     0,556   0,606     0,282   0,630    0,649    MED
          0,545   0,200   0,545     0,545   0,545     0,345   0,694    0,569    ALI
Weighted Avg.  0,611   0,227   0,617     0,611   0,607     0,370   0,693    0,597

=== Confusion Matrix ===
 a b c  <-- Classified as
 6 1 0 | a = BAJO
 3 10 5 | b = MEDIO
 1 4 6 | c = ALTO
```



## C.1.2 WEKA: Validación cruzada y árbol de decisión. Zona sur. Verano

**Weka Explorer**

Preprocess | Classify | Cluster | Associate | Select attributes | Visualize

Classifier: Choose **J48 -C 0.25 -M 2**

**Test options**

- Use training set
- Supplied test set
- Cross-validation Folds **10**
- Percentage split % 66

(Nom) CONFORT

Result list (right-click for options)

- 14:54:23 - trees\_J48

**Classifier output**

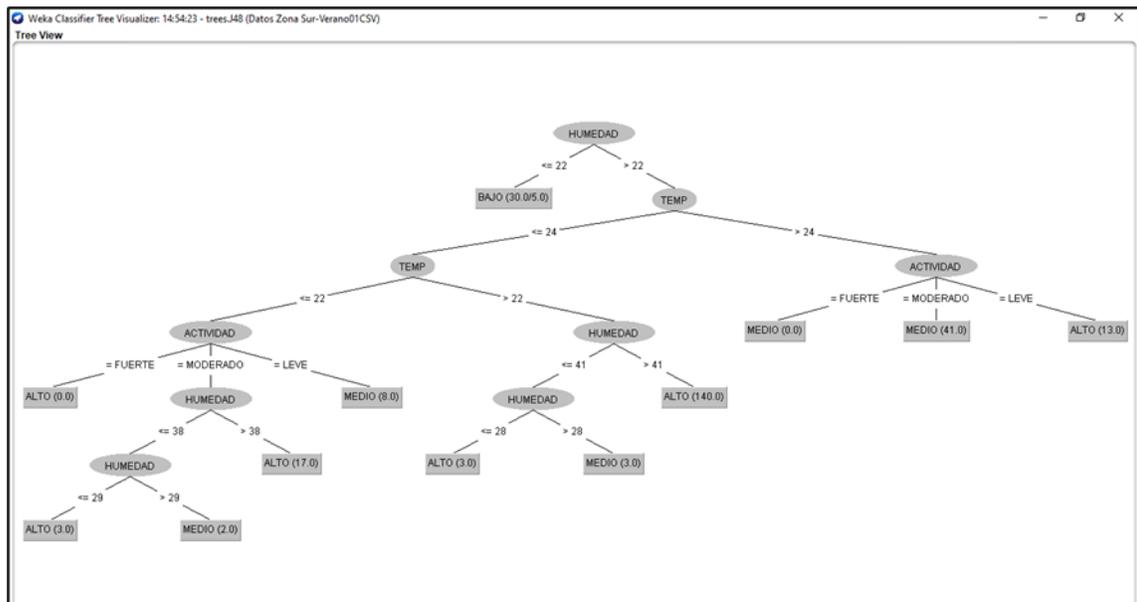
```

=== Stratified cross-validation ===
=== Summary ===
Correctly Classified Instances      249           95.7692 %
Incorrectly Classified Instances    11            4.2308 %
Kappa statistic                    0.9107
Mean absolute error                 0.0349
Root mean squared error             0.1596
Relative absolute error             10.8905 %
Root relative squared error        39.9893 %
Total Number of Instances          260

=== Detailed Accuracy By Class ===
          TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC   ROC Area  PRC Area  Cla
0,920  0,021  0,821  0,920  0,968  0,855  0,967  0,780  BAJ
0,862  0,010  0,962  0,862  0,909  0,887  0,966  0,924  MED
0,994  0,048  0,978  0,994  0,986  0,956  0,983  0,985  ALT
Weighted Avg.  0,958  0,037  0,959  0,958  0,957  0,931  0,977  0,952

=== Confusion Matrix ===
  a  b  c  <-- classified as
23  2  0 | a = BAJO
 4 50  4 | b = MEDIO
 1  0 176 | c = ALTO
    
```

Status



## C.2 WEKA: Validación cruzada y árbol de decisión. Zona norte

### C.2.1 WEKA: Validación cruzada y árbol de decisión. Zona norte. Verano

**Classifier**  
Choose: J48-C 0.25-M 2

**Test options**

- Use training set
- Supplied test set
- Cross-validation Folds: 10
- Percentage split %: 66

**Classifier output**

```

=== Summary ===
Correctly Classified Instances      113      85.6061 %
Incorrectly Classified Instances    19       14.3939 %
Kappa statistic                    0.7838
Mean absolute error                0.1481
Root mean squared error            0.2959
Relative absolute error             33.4324 %
Root relative squared error        62.8742 %
Total Number of Instances         132

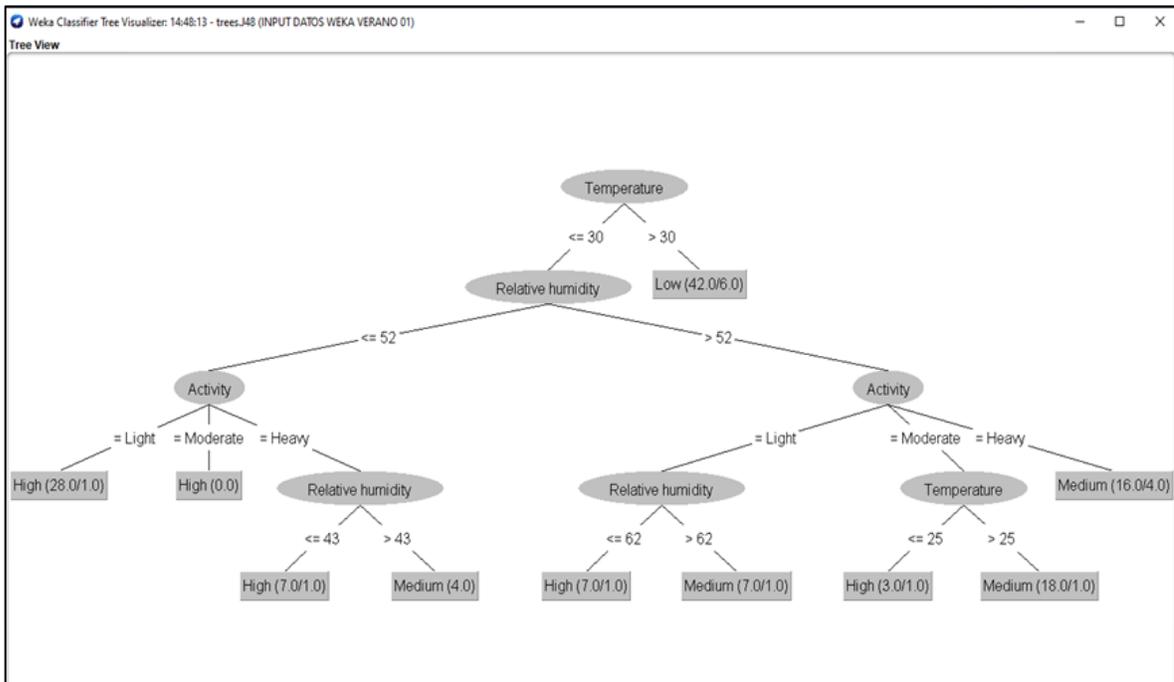
=== Detailed Accuracy By Class ===
          TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
          -----  -----  -
          0,776  0,096  0,826  0,776  0,800  0,689  0,819  0,724  Medium
          0,907  0,045  0,907  0,907  0,907  0,862  0,942  0,858  High
          0,900  0,076  0,837  0,900  0,867  0,808  0,921  0,738  Low
Weighted Avg.   0,856  0,073  0,856  0,856  0,855  0,781  0,890  0,772

=== Confusion Matrix ===
  a  b  c  <-- classified as
38  4  7  | a = Medium
 4 39  0  | b = High
 4  0 36  | c = Low
    
```

**Result list (right-click for options)**

- 14:48:13 - trees.J48

**Status**  
OK



## C.2.2 WEKA: Validación cruzada y árbol de decisión. Zona norte. Invierno

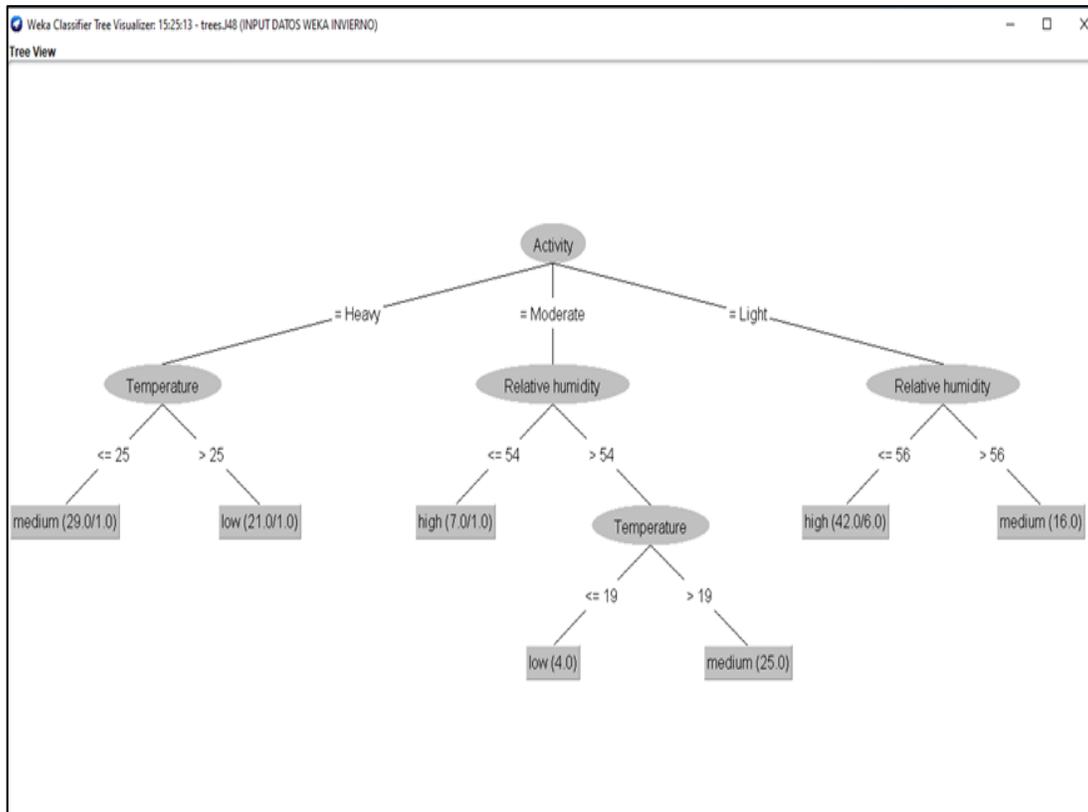
**Classifier**  
Choose **J48-C 0.25-M 2**

**Test options**  
 Use training set  
 Supplied test set (Set...)  
 Cross-validation Folds **10**  
 Percentage split % **66**  
 More options...  
 (Nom) Comfort  
 Start Stop

**Classifier output**  
 Time taken to build model: 0 seconds  
 === Stratified cross-validation ===  
 === Summary ===  
 Correctly Classified Instances 135 93.75 %  
 Incorrectly Classified Instances 9 6.25 %  
 Kappa statistic 0.8977  
 Mean absolute error 0.0761  
 Root mean squared error 0.2  
 Relative absolute error 19.0108 %  
 Root relative squared error 44.7339 %  
 Total Number of Instances 144  
 === Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,896	0,015	0,986	0,896	0,939	0,879	0,924	0,942	medium
	0,960	0,008	0,960	0,960	0,960	0,952	0,969	0,893	low
	1,000	0,069	0,857	1,000	0,923	0,893	0,940	0,763	high
Weighted Avg.	0,938	0,029	0,944	0,938	0,938	0,896	0,936	0,882	

=== Confusion Matrix ===  
 a b c <-- classified as  
 69 1 7 | a = medium  
 1 24 0 | b = low  
 0 0 42 | c = high



## **ANEXO D.**

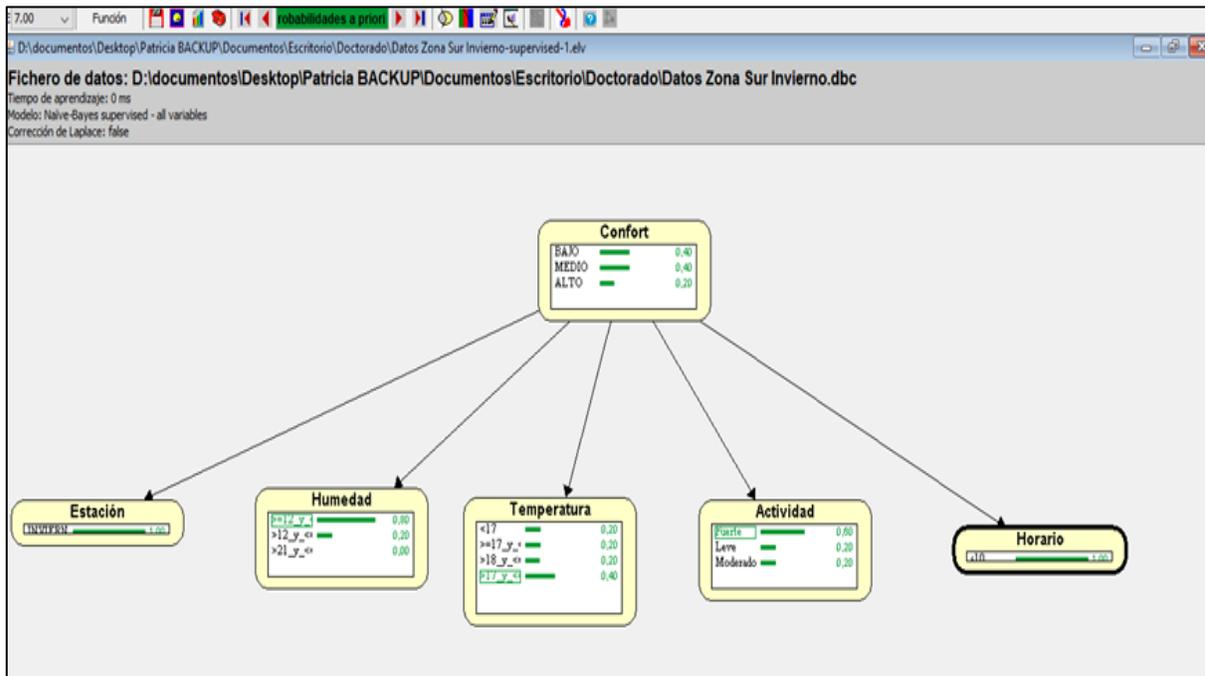
# **Redes Bayesianas**

# ANEXO D. Redes Bayesianas

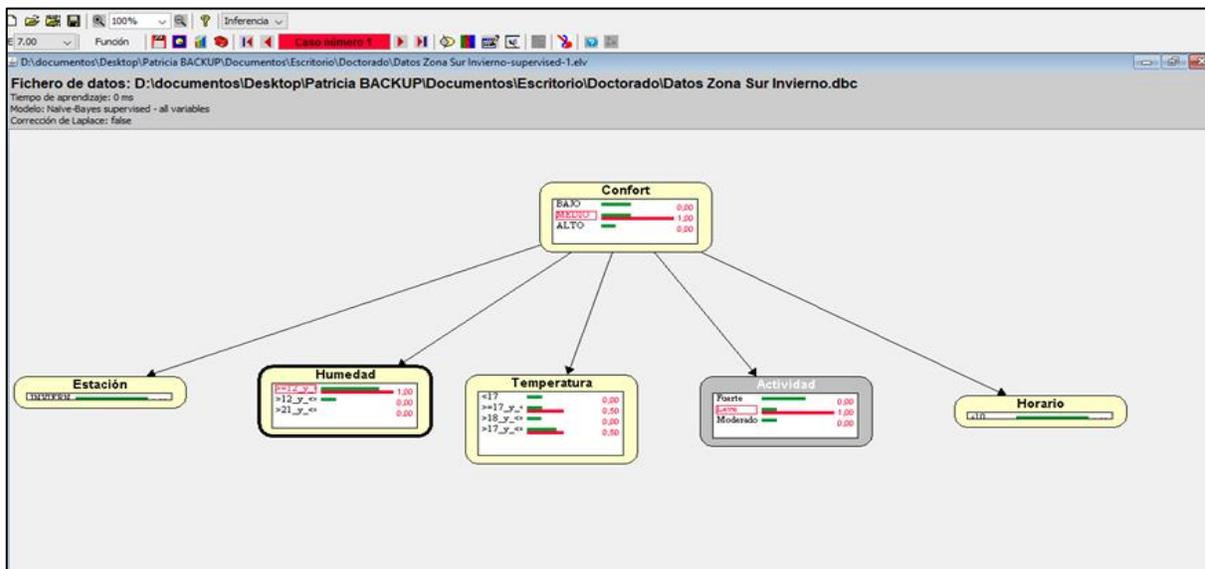
## D.1 Redes de Inferencia Bayesiana. Zona sur

### D.1.1 Redes de Inferencia Bayesiana. Zona sur. Invierno

#### D.1.1.1 Probabilidades a priori

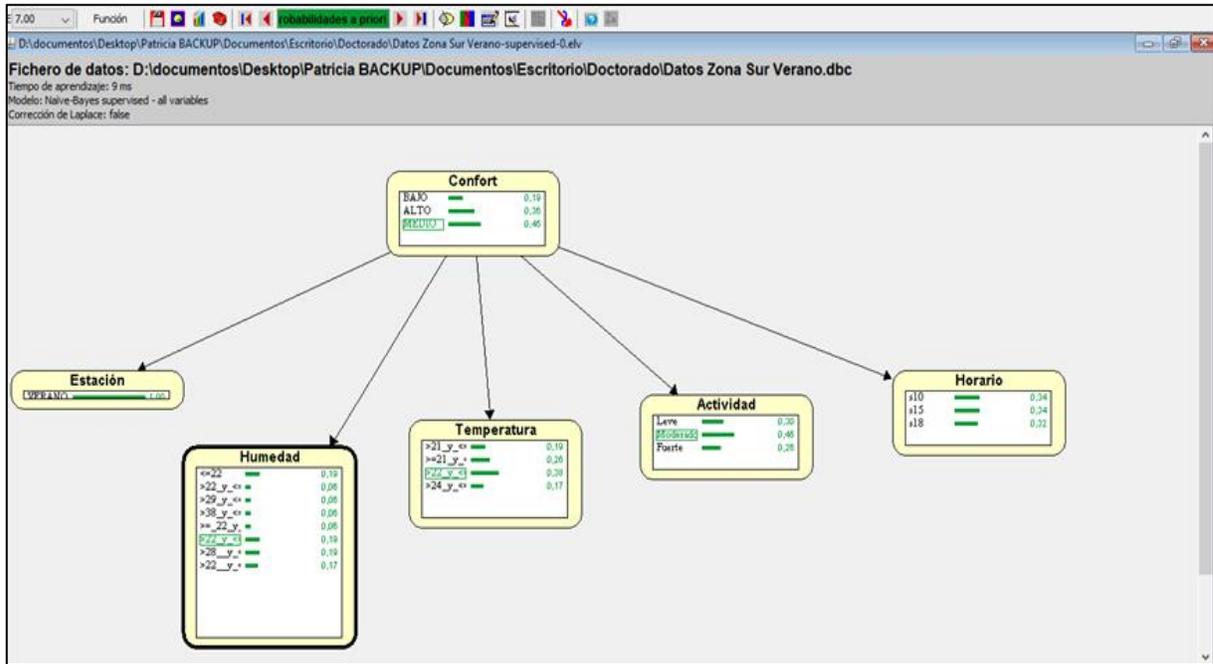


#### D.1.1.2 Probabilidades primer caso de evidencia

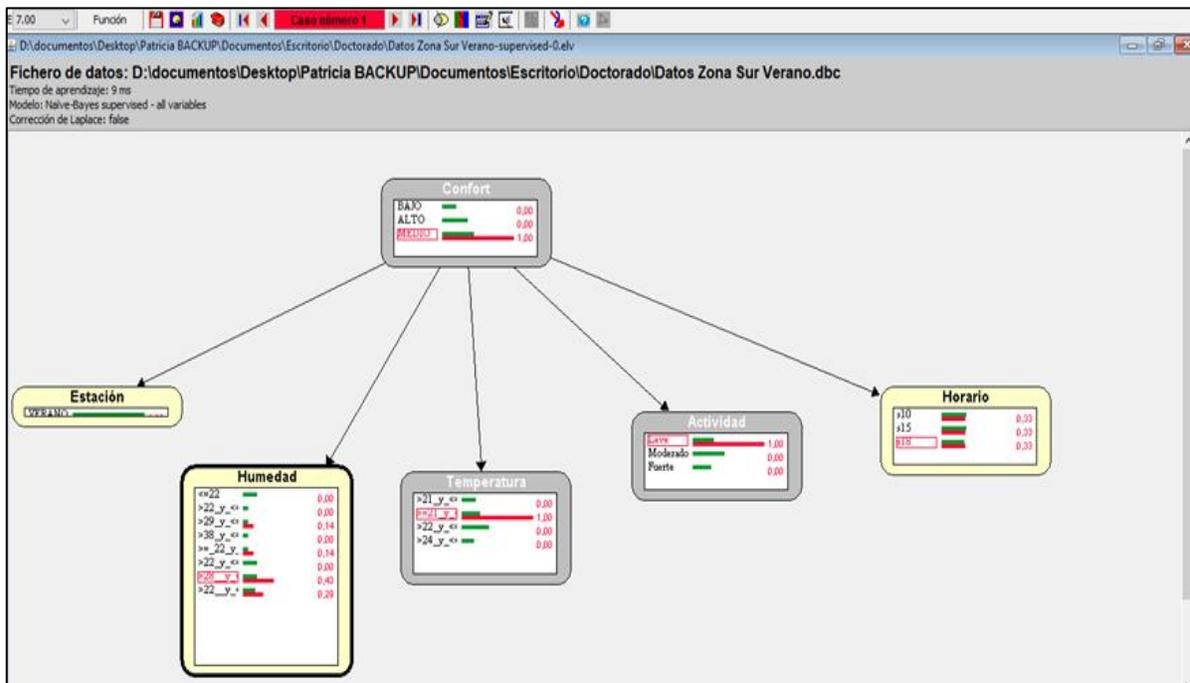


## D.1.2 Redes de Inferencia Bayesiana. Zona sur. Verano

### D.1.2.1 Probabilidades a priori



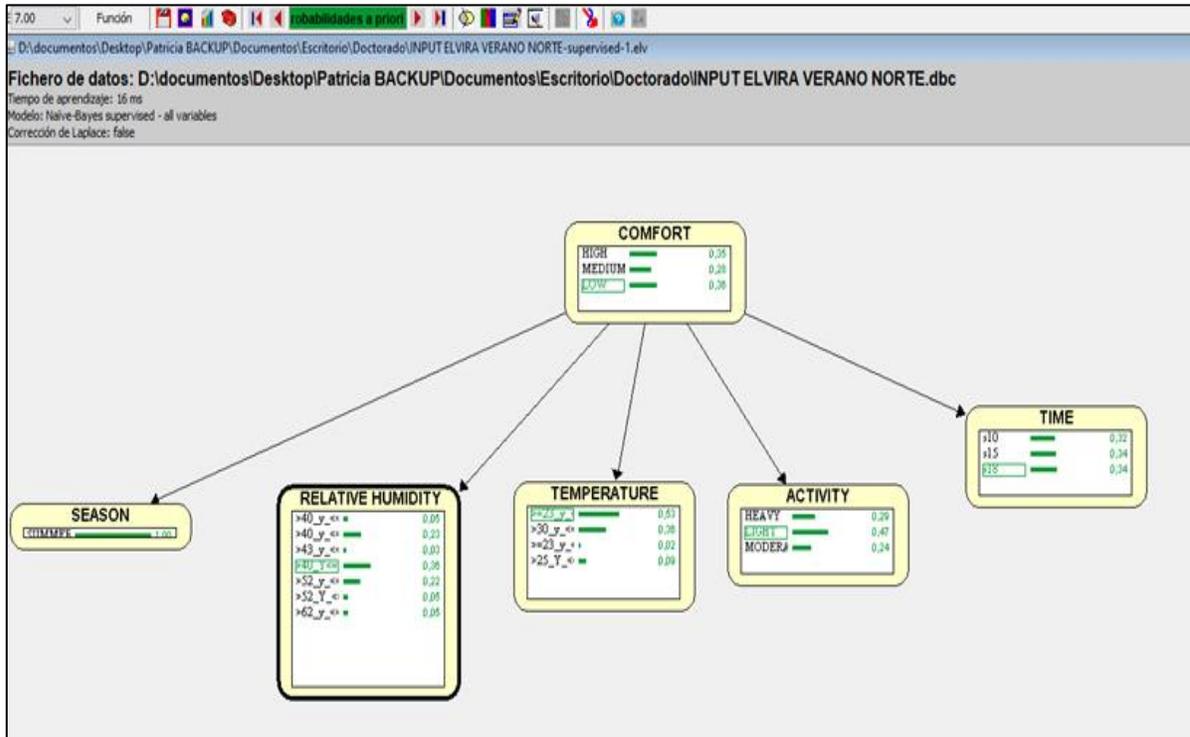
### D.1.2.2 Probabilidades primer caso de evidencia



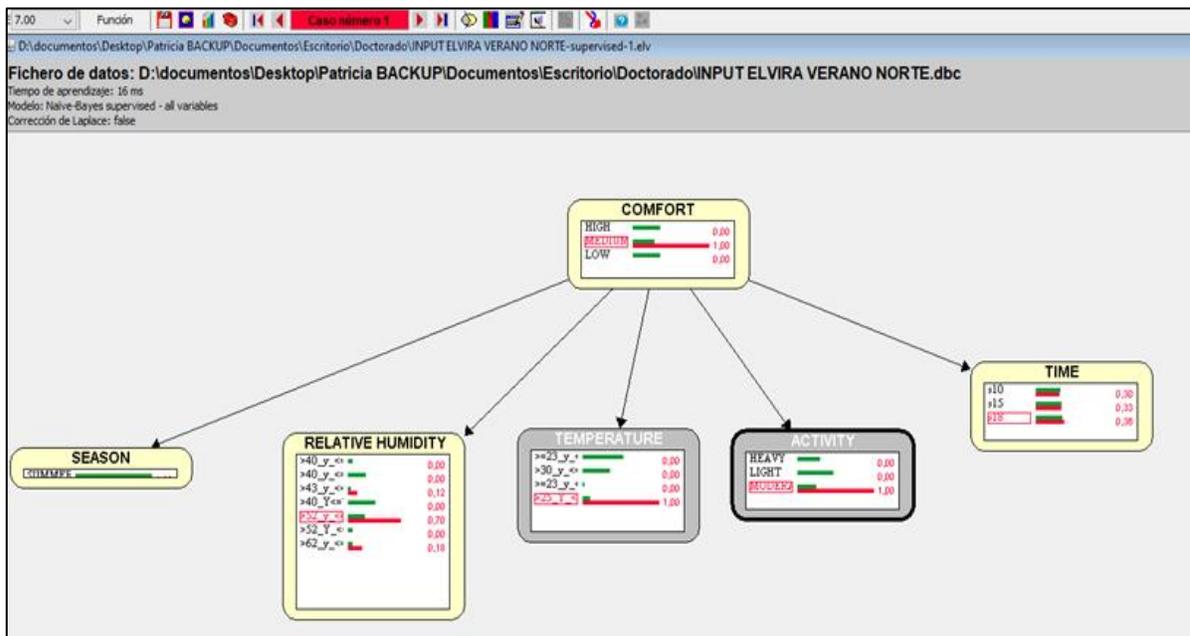
## D.2. Redes de Inferencia Bayesiana. Zona norte

### D.2.1 Redes de Inferencia Bayesiana. Zona norte. Verano

#### D.2.1.1 Probabilidades a priori

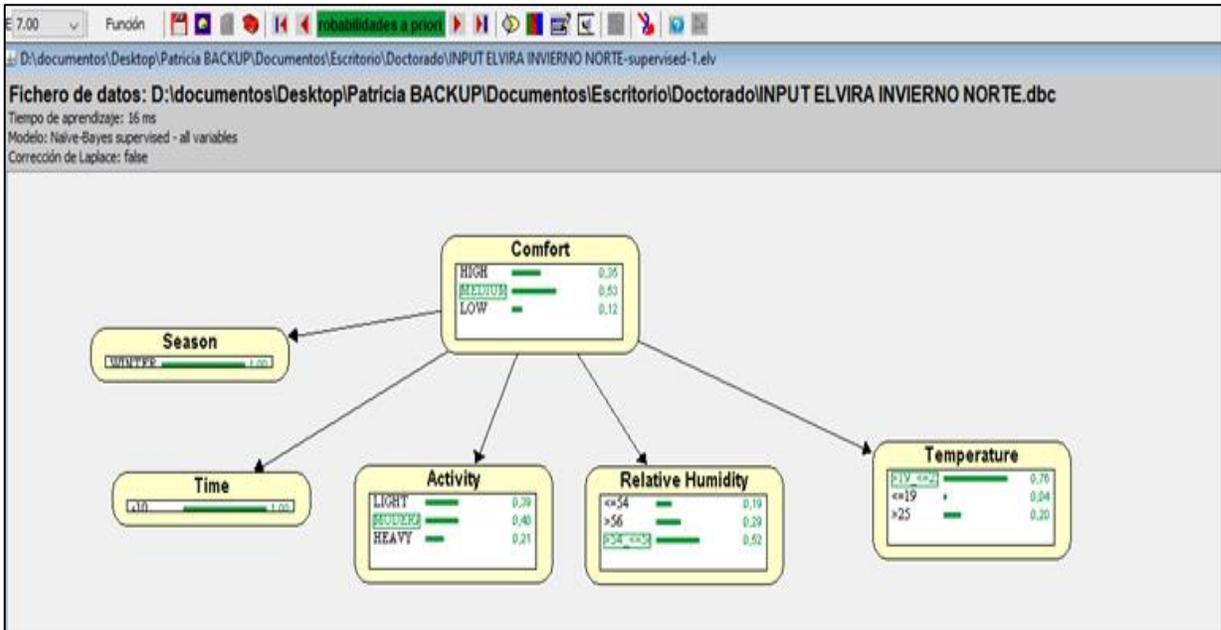


#### D.2.1.2 Probabilidades primer caso de evidencia



## D.2.2 Redes de Inferencia Bayesiana. Zona norte. Invierno

### D.2.2.1 Probabilidades a priori



### D.2.2.2 Probabilidades primer caso de evidencia

