



Tesis Doctoral presentada por Compendio de Publicaciones

**Productividad y entorno térmico en edificios de oficinas
en Chile: Una perspectiva desde las variables del espacio
construido y la percepción de los ocupantes.**

Jaime Soto Muñoz

Directores:

Dr. Vicente Flores Alés

Dra. Maureen Trebilcock Kelly

Programa de Doctorado de Arquitectura (RD 99/2011)
Universidad de Sevilla
2022

Agradecimientos

A Dios y a mi familia.

A mis directores y tutor de tesis, guardaré con aprecio todas sus muestras de apoyo y dedicación.

A quienes colaboraron en disponer de los recursos para este trabajo de investigación: la Universidad del Bío-Bío; la Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño; el Departamento de Ciencias de la Construcción; los Proyectos FONDECYT Regular 1171497 y 1201456; al Grupo de Investigación de Gestión y Diseño Integrado de Edificios (GEDIE-UBB).

A quienes se esmeraron en colaborar para disponer de casos de estudio, trabajo de campo, discusión teórica o metodológica, capacidad de análisis estadístico y, finalmente, a todas y todos que entregaron las buenas energías necesarias para este logro académico.

Índice General

Resumen	9
Abstract	10
Estructura del Trabajo	11
1. Introducción y Objetivos	14
1.1. Interés de la Investigación.....	15
1.1.1. La productividad laboral y cómo medirla	17
1.1.2. Los ocupantes de edificios de oficinas	23
1.1.3. La comodidad en el entorno térmico.....	28
1.2. Preguntas de investigación.....	32
1.3. Objetivos.....	33
1.3.1. Objetivo General	33
1.3.2. Objetivos Específicos.....	33
2. Metodología de Trabajo	34
2.1. Selección de casos de estudio.....	40
2.2. Identificación y características de los edificios de oficinas	43
3. Resumen global de los resultados y discusión.	46
3.1. <i>Estándares de confort térmico en edificios de oficinas en Chile</i>	48
3.1.1. Mediciones	48
3.1.2. Sensación Térmica	49
3.1.3. Preferencia térmica.....	51
3.1.4. Sensación y preferencia térmica según el modo de funcionamiento	53
3.1.5. Temperatura neutra.....	55
3.1.6. Temperatura preferida.....	58
3.1.7. Resultados en relación con las normas	59
3.2. <i>Entendiendo la productividad percibida en relación con entorno térmico</i>	62
3.2.1. Percepción del ambiente térmico	63
3.2.2. Comportamiento y adaptación en el espacio de trabajo.....	66
3.2.3. El efecto de la "normalidad laboral" en los ocupantes.....	69
3.2.4. Relación entre productividad percibida transeccional y retrospectiva	74
3.2.5. Entendiendo la productividad percibida y el ambiente térmico	79

3.3.	<i>Reconociendo el efecto del ambiente térmico en la productividad autoevaluada en edificios de oficinas en Chile</i>	82
3.3.1.	¿Quiénes son los ocupantes?.....	82
3.3.2.	Aceptabilidad, sensación y preferencia térmicas de los trabajadores	83
3.3.3.	Modelando el entorno térmico de las oficinas.....	85
3.3.4.	Validez del constructo productividad afectada por el entorno térmico	91
3.3.5.	Aplicaciones y estudios posteriores	94
4.	Conclusiones	96
5.	Futuras líneas de investigación	99
6.	Referencias	101
7.	Anexos	115
	Artículo 1	115
	Artículo 2	¡Error! Marcador no definido.
	Artículo 3	¡Error! Marcador no definido.

Índice de Figuras

Figura 1: Ocupante en estación de trabajo	25
Figura 2: El ocupante del edificio y su interacción en la oficina.....	27
Figura 3: Respuesta del sistema termostático para condición de frío y calor	29
Figura 4: Esquema de la metodología de estudio	35
Figura 5: Equipos de monitorización en las oficinas.....	36
Figura 6: Mapa de zonificación climática de Chile.....	42
Figura 7: Temperatura y humedad relativa de Concepción y Santiago	43
Figura 8: Imágenes de los 18 edificios estudiados.....	45
Figura 9: Temperatura media operativa y exterior de cada caso.....	48
Figura 10: Voto medio de sensación térmica por caso de estudio.....	49
Figura 11: Relación entre sensación térmica neutral y preferencia térmica sin cambio....	52
Figura 12: Relación entre votos de sensación térmica por tipo de edificio	54
Figura 13: Dependencia de sensación térmica media preferida respecto de sensación térmica real.	55
Figura 14: Comparación de temperaturas neutras y de preferencia en Concepción y Santiago.....	58
Figura 15: Comparación de temperatura neutra, preferida y operativa de edificios HT, MM y HVAC.	59
Figura 16: Relación entre temperatura neutra y preferida según estándares de confort con método adaptativo.....	60
Figura 17: Análisis de temperatura neutra y preferida según estándares de confort con método del estado estacionario.....	61
Figura 18: Confort retrospectivo percibido en el espacio de trabajo.....	65
Figura 19: Modelo de ecuaciones estructurales de la productividad percibida afectada por el ambiente térmico.....	78
Figura 20: Características de los ocupantes	83
Figura 21: Sensación térmica y respuestas de preferencia para los cambios de aceptabilidad.....	83
Figura 22: Respuestas de aceptabilidad según la sensación térmica y la preferencia	84
Figura 23: Esquema estructural del modelo propuesto	86
Figura 24: Modelo de ecuaciones estructurales reespecificado	87

Índice de Tablas

Tabla 1: Información del contexto y diseño de las oficinas.....	37
Tabla 2: Características físico-ambientales en las oficinas	37
Tabla 3: Características personales de los ocupantes de oficinas.	38
Tabla 4: Percepción del entorno de las oficinas e interacción de los trabajadores.	39
Tabla 5: Productividad laboral autoevaluada por los trabajadores	40
Tabla 6: Rangos de voto de sensación térmica.....	50
Tabla 7: Valores de Clo promedio.....	51
Tabla 8: Tabulación cruzada de sensación térmica y preferencia térmica.....	53
Tabla 9: Temperatura neutral en cada caso de estudio	57
Tabla 10: Caracterización general de los ocupantes.....	62
Tabla 11: Sensación térmica media y temperaturas medias de invierno y verano	63
Tabla 12: Grado de control sobre el acondicionamiento ambiental del espacio de trabajo.	67
Tabla 13: Nivel de importancia del control de los elementos condicionantes del entorno de trabajo.....	67
Tabla 14: Satisfacción de los ocupantes con el grado de control	68
Tabla 15: Distribución de votos transeccionales de productividad percibida por los ocupantes	69
Tabla 16: Influencia de los parámetros ambientales en la productividad en invierno/verano	71
Tabla 17: Grado de influencia de los parámetros en la productividad	72
Tabla 18: Productividad retrospectiva vs Productividad transeccional (n=240)	73
Tabla 19: Correlaciones de invierno de productividad percibida transeccional y productividad percibida retrospectiva.	76
Tabla 20: Correlaciones de verano de la productividad percibida transeccional y la productividad percibida en retrospectiva	77
Tabla 21: Bondad de ajuste.	79
Tabla 22: Tiempo en el espacio de trabajo frente al metabolismo.....	82
Tabla 23: Variables observadas utilizadas	88
Tabla 24: Bondad de ajuste del modelo	89
Tabla 25: Estimación del modelo	90

Resumen

La evaluación de la productividad laboral en edificios de oficinas es un fenómeno particularmente complejo. Son lugares con su propia identidad institucional, clima organizacional, diseño arquitectónico y criterios de gestión de los sistemas de acondicionamiento ambiental, entre otros. Dentro de los distintos factores que intervienen, los estudios indican que las condiciones térmicas interiores son un elemento importante a considerar, ya que la percepción de los ocupantes en el espacio de trabajo refleja este efecto. Las oficinas suelen ser ambientes térmicamente moderados. Sin embargo, pequeñas variaciones no deseadas pueden traducirse en insatisfacción, distracción o adaptación con un impacto en la dedicación laboral. Esta investigación examina la productividad autopercebida de los ocupantes de oficinas en relación con el ambiente térmico, en las ciudades de Santiago y Concepción, Chile. Específicamente, analiza los parámetros ambientales y la configuración de los espacios interiores de las oficinas, y contrasta con las percepciones de los ocupantes en cuestionarios transeccionales y retrospectivos. Se recogió un total de 3551 respuestas de los trabajadores durante un día en invierno y otro día en verano, en dieciocho distintos edificios gubernamentales y del sector privado. Los resultados muestran que las temperaturas operativas medias son 22,2 °C en invierno y 23,5 ° C en verano. El 80,5% de los ocupantes declararon que su productividad era normal en la encuesta transeccional. No obstante, al comparar con la encuesta retrospectiva, el 82,7% afirmó que su productividad se ve afectada por el ambiente térmico. Se analiza valor de la temporalidad de cada instrumento y lo oportuno de complementar dichas respuestas. A continuación, se elaboró un modelo inicial con 32 variables observadas, para la aplicación de un modelado de ecuaciones estructurales. El modelo de la información obtenida fue validado y reducido por medio de un diagrama de sendero, dando como resultado un modelo ajustado de 10 variables significativas. Este modelo puede ser adecuado para analizar el constructo de la productividad autoevaluada en el contexto térmico de oficinas. Los resultados proporcionan información valiosa para mejorar el diseño y la gestión de los edificios favor de la productividad de los ocupantes.

Abstract

The evaluation of work productivity in office buildings is a particularly complex phenomenon. They are places with their own institutional identity, organizational climate, architectural design and management criteria for environmental conditioning systems, among other characteristics. Of the various factors involved, studies indicate that indoor thermal conditions are an important element to consider, since the occupants' perceptions in the workspace reflect their effect. However, offices are normally thermally moderate environments. Nonetheless, small undesired variations can translate into dissatisfaction, distraction or adaptation with an impact on work engagement. This research examines the self-perceived productivity of office occupants in relation to the thermal environment in the cities of Santiago and Concepción, Chile. Specifically, it analyzes environmental parameters and the configuration of interior office spaces, and contrasts this information with occupants' perceptions in cross-sectional and retrospective questionnaires. A total of 3551 responses were collected from workers during one day in winter and one day in summer, in eighteen different government and private sector buildings. The results show that the average operating temperatures are 22.2 °C in winter and 23.5 °C in summer. 80.5% of the occupants stated that their productivity was normal in the cross-sectional survey. However, when compared to the retrospective survey, 82.7% affirmed that their productivity is affected by the thermal environment. The value of the time perspective of each instrument and the appropriateness of complementing these responses is analyzed. An initial model with 32 observed variables was then developed to implement structural equation modeling. The model of the information obtained was validated and reduced by means of a path diagram, resulting in an adjusted model of 10 significant variables. This model may be suitable for analyzing the construct of self-assessed productivity in the thermal context of offices. The results provide valuable information for improving the design and management of buildings to further occupant productivity.

Estructura del Trabajo

Este estudio aborda la productividad laboral autopercebida del ocupante de edificios de oficina reconociendo los efectos del edificio, el espacio arquitectónico, diseño y operación, la configuración de las instalaciones y la evaluación de los ocupantes en la definición de factores de influencia del entorno térmico en el puesto de trabajo. Con la información de las variables físicas-ambientales en el espacio construido como parte de la gestión de operación y la percepción de las personas en diferentes oficinas, se hizo un análisis de lo que sucede en 18 edificios en Chile.

Esta tesis doctoral explica el efecto que puede tener el entorno térmico en la productividad autoevaluada de los ocupantes de oficinas y la evidencia de aquello es el resultado original de tres artículos científicos que dan cuenta de la investigación teórico práctica llevado adelante durante cinco años. El documento evidencia el trabajo realizado y se desglosa en los siguientes capítulos:

Capítulo 1 da cuenta de la introducción y problema de investigación, estableciendo la necesidad científica del problema, reconociendo la brecha de conocimiento. A partir de ello, se exponen en este capítulo las preguntas de investigación y los objetivos del trabajo.

El Capítulo 2 aborda la elaboración y definición del conjunto de técnicas, métodos y procedimientos que se usaron durante el proceso de esta investigación. Se establece los casos de estudio, los criterios de selección en las 2 ciudades en Chile que, se caracterizan por concentrar el mayor número de oficinas. Considera la confección y uso de los instrumentos de datos para la identificación de los edificios, la monitorización instrumental del espacio construido y la autoevaluación perceptiva de los ocupantes.

El Capítulo 3 presenta el resumen global de los resultados y la discusión inmediata de los hallazgos. Por tratarse de una tesis por compendio de publicaciones, en este

apartado se muestran los resultados obtenidos y publicados en cada uno de los siguientes artículos:

- Trebilcock, M., Soto-Muñoz, J., & Piggot-Navarrete, J. (2020). Evaluation of thermal comfort standards in office buildings of Chile: Thermal sensation and preference assessment. *Building and Environment*, 183, 107158. Journal Impact Factor (JIFG): 6.456. Categoría Construction and Building Technology, Q1.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107158>
- Soto Muñoz, J., Trebilcock Kelly, M., Flores-Alés, V., & Ramírez-Vielma, R. (2022). Understanding the perceived productivity of office occupants in relation to workspace thermal environment. *Building Research & Information*, 50(1-2), 152-170. Journal Impact Factor (JIF): 5.322. Categoría Construction and Building Technology, Q1.
<https://doi.org/10.1080/09613218.2021.1897501>
- Soto Muñoz, J., Kelly, M. T., Flores-Alés, V., & Caamaño-Carrillo, C. (2022). Recognizing the effect of the thermal environment on self-perceived productivity in offices: A structural equation modeling perspective. *Building and Environment*, 210, 108696. Journal Impact Factor (JIF): 6.456. Categoría Construction and Building Technology, Q1.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108696>

Se armoniza el relato, mostrando el significado coherente del trabajo realizado. El primer artículo muestra la caracterización del entorno térmico en los lugares de trabajo y la percepción sus ocupantes respecto de las condiciones interiores, generando una discusión científica de los mismos en relación a los estándares aplicables en Chile. Luego, en la segunda publicación, se relacionan los registros de sensores ambientales instalados en los puestos de trabajo, con las respuestas de los ocupantes en distintos aspectos de bienestar térmico y la productividad. Además, se analiza en detalle las distintas formas de conocer la productividad

autoevaluada por los trabajadores, entre un método transeccional y otro retrospectivo. A continuación, el tercer artículo científico hace un análisis global de las 32 variables identificadas. Para ello se utilizó un modelado de ecuaciones estructurales como herramienta estadística para discriminar las variables significativas a través de la correlación de ellas y proponer un modelo que permite reconocer el constructo de la productividad afectada por el entorno térmico.

Finalmente, en el Capítulo 4 se exponen las conclusiones, la importancia de los logros alcanzados y las oportunidades futuras de investigación.

1. Introducción y Objetivos

En cualquier organización, pública o privada, los medios son limitados y la eficiencia de la gestión de los recursos humanos, físicos y tecnológicos se llama productividad. No obstante, no todos estos factores se pueden analizar de misma forma, ya que la condición propia de las personas las hace más complejas que otros elementos de la administración. Dentro de los componentes que afectan a las personas en su trabajo, están el espacio interior de los edificios y el ambiente térmico. Así, cuando los trabajadores realizan labores administrativas en edificios de oficina, buscan disponer de un entorno físico estable y moderado para poder desarrollar sus funciones de manera óptima en sus puestos de trabajo. Parece importante entonces, la atención al diseño y desempeño del ambiente térmico interior para que, de esta forma, las distintas organizaciones puedan disponer de condiciones adecuadas para su equipo de trabajo.

La arquitectura no es ajena a este importante concepto, ya que los profesionales estudian la forma, el espacio y también la función, como ingredientes básicos y fundamentales para todo buen diseño. Por cierto, se incluye en este contexto la ubicación del proyecto, los efectos de las condiciones climáticas y la orientación, entre otros aspectos. También los diseñadores deben analizar a la organización y sus trabajadores, dado que la cultura y los patrones de comportamiento dentro de la edificación son parte importante de cómo va a funcionar una vez construido.

Los edificios de oficinas con un entorno térmico adecuado juegan un rol relevante en la motivación y efectividad en el trabajo. Las temperaturas son un factor que desempeñan un papel en los ritmos circadianos, que afectan el estado de alerta y el cansancio. Durante la estadía de las personas en sus puestos de trabajo, la combinación de los anhelos de comodidad térmica suele expresarse de distintas formas. Por ejemplo, en las oficinas, existen conflictos por el control del termostato, poder cerrar o abrir ventanas o incluso, cuando se acepta la condición ambiental impuesta por la administración del edificio, los trabajadores lo solucionan trayendo

sus propios dispositivos de acondicionamiento personal para su comodidad en el puesto de trabajo. Lo cierto es que, cualquier distracción que permanece en el tiempo y que genera incomodidad constante con el entorno se convierte en algo más que una molestia y es importante para las organizaciones, ya que se trata de un efecto en la productividad individual del trabajador (Lan et al., 2007).

1.1. Interés de la Investigación

La investigación sistemática de la arquitectura y la interacción con las personas con los edificios se basan en la curiosidad por encontrar respuestas a las incógnitas que nacen desde los proyectos e implican todo el ciclo de vida del inmueble. En la etapa de postocupación, los edificios entregan numerosa e invaluable información sobre su funcionamiento y el comportamiento de los ocupantes. Para quienes se involucran en una temática como esta, llegar a nuevas conclusiones y expandir el conocimiento, requiere el desafío de llevar adelante estudios que cada vez permite discriminar y agregar múltiples variables. El desarrollo de habilidades analíticas relevantes, incluyendo nuevas herramientas, mejoran la interpretación de los datos para el logro del objetivo.

En la actualidad, los nuevos edificios aumentan su frecuencia y altura en las ciudades modernas. En particular, los edificios de oficinas son lugares donde las personas que laboran ahí, suelen pasar toda la jornada diaria en sus lugares de trabajo. Se transforman en ocupantes de esas instalaciones, seres humanos diferentes que comparten el diseño y la gestión del espacio interior. De esa forma, estudiar el efecto del ambiente del área de trabajo durante el ejercicio laboral, incluye el anhelo de los trabajadores, respecto a que su puesto de trabajo les entregue el lugar óptimo para desarrollar sus actividades (Al Horr et al., 2016). En este sentido, el denominado ambiente interior construido tiene diferentes factores ambientales que son pensados por los proyectistas del edificio: la iluminación, el ruido, la privacidad, la ergonomía del mobiliario, la ventilación y el color del espacio son algunas de las decisiones que se resuelven en el proyecto. Sin embargo,

durante el funcionamiento del inmueble, la temperatura parece ser el factor más sensible en el largo plazo que afecta la satisfacción con su puesto de trabajo y con ello la productividad (Shafaghat et al., 2015).

Ahora bien, si relacionar los efectos del entorno térmico del lugar de trabajo con los resultados de una organización, como la productividad, se ha vuelto cada vez más importante, la forma de dimensionar dicha productividad ha llevado al desarrollo de varios instrumentos para medir este objetivo. Por ejemplo, existen métodos que consideran la ausencia del trabajo o ausentismo, y otros se basan en el presentismo ineficiente, es decir, la pérdida de productividad en el trabajo debido a problemas de incomodidad humana. No obstante, estos indicadores y otros limitan la evaluación de la productividad solo a los deterioros de la salud o efectos negativos. Al contrario, cada día distintos factores del diseño y funcionamiento de los edificios han ido mejorando el ambiente interior, representando consideraciones positivas a tener en cuenta. Entonces, los métodos más adecuados deberían incorporar esta perspectiva para investigar en edificios, sobre todo en aquellos inmuebles de reciente data de construcción.

En este sentido, hoy en día múltiples estudios se han hecho para analizar la conexión entre la productividad y el confort térmico en los edificios (Bueno et al., 2021). Sin embargo, desde hace algunos años investigadores como Humphreys y Nicol (2007) y, Leaman y Bordass (1999) han considerado el desarrollo de preguntas de productividad al ocupante basadas en autoevaluación para conocer el impacto del ambiente de las oficinas en sus ocupantes. Asimismo, Haapakangas, Hallman, Mathiassen y Jahncke (2018) y, Lipczynska, Schiavon y Graham (2018) profundizaron en las percepciones de los ocupantes de oficinas en relación con los resultados de la productividad y el entorno térmico en el lugar de trabajo, dando cuenta que existen complejidades inherentes de la autopercepción. Por ejemplo, a la hora de autoevaluar desempeño, la mayoría de las personas considera que ha sobrepasado las expectativas de desempeño del puesto o hace exigible mayor control individual del entorno a la organización, como las razones por las que no se

alcanza su potencial. Lo cierto es que, dimensionar la productividad de manera objetiva a menudo no es posible, sobre todo si se quiere integrar diferentes organizaciones, distintos tipos de oficinas y el fenómeno del ambiente térmico en relación con los seres humanos. Por esta razón, los investigadores, utilizan las autoevaluaciones de la productividad percibida como la forma más viable de recopilar información.

Así entonces, en los edificios de oficinas todavía existe un conocimiento científico limitado sobre los efectos de las múltiples variables del entorno térmico de los lugares de trabajo y la productividad autopercibida por los ocupantes. Cada vez más se mejoran las formas de analizar los datos, abriendo oportunidades para comprender mejor como está avanzando la arquitectura en cumplir con diseños acordes con las exigencias de sus ocupantes.

1.1.1. La productividad laboral y cómo medirla

Las organizaciones que ocupan edificios de oficinas producen servicios de distintas formas, con diferentes y significativos recursos, entre ellos las personas y los sistemas de acondicionamiento térmico. Dicha situación impone una presión significativa sobre el consumo total de energía de los edificios, debido a los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) que se utilizan para mantener el interior habitable (Bueno et al., 2021). De ahí la importancia de comprender como el entorno interior de los espacios de trabajo puede producir un efecto sobre la productividad de los ocupantes (Al Horr et al., 2016).

Según la OECD (2001), existen muchas medidas diferentes de productividad y la elección entre los distintos tipos depende del propósito de la medición y, en muchos casos, de la disponibilidad de información. Ahora bien, que existan distintos tipos de productividad, por ende, implica que no hay una única definición, pero se suele iniciar con la comprensión de este concepto en su raíz, producir, muy propio de su origen en la era de la industrialización. Para Duran y Lomas (2021) la productividad

respecto del entorno térmico, se puede entender como una relación de costo/beneficio entre el confort de los ocupantes y la eficiencia energética inherente. Por otra parte, desde dicha noción original de productividad, se da cuenta de una proporción entre salidas y entradas, o, dicho de otra forma, entre lo que el trabajador cumple con producir y los recursos que utiliza para ello en la jornada laboral (Van Der Voordt, 2004). Por ende, parece ser una medida de qué tan eficientemente trabaja el empleado por cada hora que pasa en el trabajo. Esto puede implicar que una consecuencia del rendimiento laboral y ambiente térmico, sea la realización de actividades por unidad de tiempo bajo un rango de temperatura, sin importar necesariamente la satisfacción percibida por los trabajadores (Seppänen et al., 2006). Desde hace tiempo se ha dicho que la productividad del ocupante se puede medir de tres maneras: fisiológica, objetiva o subjetivamente (Ilgen & Schneider, 1991). Sin embargo, para Marvel Cequea, Rodriguez Monroy y Nuñez Bottini (2011) la comprensión de las personas en una organización no se hace solo desde la perspectiva de recursos o medios, sino, como aquel actor principal de la función de producción de bienes o servicios.

Así entonces, no es sencillo medir la productividad solo por indicadores de salida o resultados tangibles en los trabajadores de oficinas, ya que además muchos de los suministros de servicios están basados en competencias administrativas múltiples e integradas entre distintas unidades de la organización. En esta línea, Campbell y Wiernik (2015) señalan que si bien la eficiencia y la productividad implican una relación de salida a entrada, es diferente a las nociones de desempeño y rendimiento del equipo de trabajo. Entonces, parece ser que cuando se analiza la productividad bajo influencia del entorno térmico en oficinas, hay que definir comportamientos y resultados importantes que la organización quiere según sus propósitos (Dul & Ceylan, 2010). En esto, además, se puede considerar factores que hacen válida la subjetividad, como lo es, la calidad o creatividad de soluciones en el trabajo (Samani et al., 2014), que puede ciertamente ser tan importante, si no más, que la cantidad de documentos enviados, horas análisis de información o el número de registros de clientes atendidos. Lo arduo de este fenómeno, es dar

cuenta de distintas dificultades en torno al desarrollo y medición de la naturaleza multidimensional de los constructos de productividad y confort ambiental para las organizaciones (Clements-Croome, 2015; Dai et al., 2014; Haapakangas, Hallman, et al., 2018). El caso del desempeño y rendimiento humano puede venir explicado por factores tales como las limitaciones de medida o la intervención de factores situacionales y ambientales del trabajo.

Al analizar la productividad en un entorno de oficinas, también hay que tomar en cuenta factores contextuales como: la cultura organizacional, los rasgos de personalidad y los estados emocionales de los ocupantes. En la gran mayoría de las empresas, son los grupos y equipos, no los individuos, los que crean el resultado y sobre los cuales se mide la productividad (Lattimer, 1998). Sin embargo, para reconocer la productividad del ocupante afectado por el entorno térmico, parece ser mejor hacerlo desde el individuo y autoevaluación. Existe una perspectiva única al enfocarse en la productividad de la persona antes que la de un grupo de empleados. Hay que tomar cuenta que la percepción de la temperatura se hace primero desde el individuo en su puesto de trabajo, quien percibe y se adapta, por lo que emerge la oportunidad de mejora de la productividad individual en primer lugar, y desde luego desde un entorno térmico común se puede avanzar a la productividad de la organización.

En este sentido, el tipo de evaluación que considera la participación de los ocupantes de oficinas pueden ser un valioso recurso de información. Estudios realizados por Akimoto et al. (2010b) y Al Horr et al. (2017) confirmaron que el uso de técnicas experimentales de laboratorio y otras de evaluación posterior en la ocupación de los edificios son una buena fuente de datos sobre el funcionamiento del edificio en uso. En estos estudios se considera que los propios individuos retroalimentan a través de las experiencias vividas en sus puestos de trabajo. Donde el 88% de los atributos de desempeño del edificio están altamente correlacionados con la satisfacción de las personas. Así, en este ejemplo, los ocupantes son actores activos en la evaluación e información de su comodidad en el puesto de trabajo.

Otro caso interesante es un estudio realizado por Huizenga et al. (2006) en 215 edificios en los Estados Unidos, Canadá y Finlandia, con más de 34,000 respuestas a preguntas sobre la calidad del aire y el confort térmico. Afirman que las encuestas a ocupantes pueden proporcionar un método estandarizado y sistemático para evaluar la satisfacción de los ocupantes con el ambiente interior. Esto es un medio viable para recopilar información que colabora en identificar problemas de los trabajadores en las oficinas.

Asimismo, Romero Herrera et al. (2020) menciona que las formas de investigación y el conjunto de medios técnicos necesarios para el desarrollo de una medición interactúan con la motivación de los ocupantes para informar e influir en su comportamiento real y de presentar una evaluación al respecto. En la misma línea, Denisi y Murphy (2017) indican que esta relación o influencia recíproca genera problemas que pueden producir errores de medición en la evaluación de la productividad, tales como los errores del evaluador, de halo ilusorio o los errores de primera impresión, entre otros. Esto incluye el problema mismo de la propia conceptualización y de dar operatividad a los constructos (Campbell & Wiernik, 2015). Esta última consideración guarda relación con muchas investigaciones de campo de oficinas y sus condiciones ambientales, que se han sustentado en la medida habitual de productividad, para las cuales, en general, hace falta un examen más detenido de la unidad de análisis, el constructo y la forma en que se está midiendo.

La elaboración de modelos de estudio con más variables y que representen mejor todas las características y/o elementos del entorno térmico van a ir mejorando la comprensión de cómo el ocupante percibe la realidad y se adapta. En los edificios, su diseño y operación integran y automatizan los sistemas de climatización utilizando referencias o normativas muy difundidas. No obstante, las personas siguen combinando para su satisfacción acciones adaptativas, colocación de dispositivos personales o requiriendo a la organización cambios en el puesto de trabajo. Para Yan et al. (2017) el comportamiento del ocupante es complejo,

estocástico y multidisciplinario. Por este motivo las variables que emergen del ambiente de las oficinas pueden ser muchas y diferentes. Sin embargo, estas características y sus influencias son poco reconocidas o simplificadas en exceso al momento de estudiar la productividad como resultado del diseño y operación de edificios.

En el ambiente de las oficinas, se deberían tomar en cuenta las variaciones térmicas interiores, que el ocupante percibe y que, a través de ello, hace una interpretación del proceso de trabajo en una relación espacio-tiempo (Lan et al., 2012). En la jornada de trabajo o de las diferentes estaciones del año, no parece razonable una coincidencia de patrones de productividad esperada y de una productividad real. Cuando no hay condiciones térmicas adecuadas, se distrae la atención del trabajador (Wyon & Wargocki, 2006) y en consecuencia, cambian sus propósitos inmediatos, dando paso a modificar su relación con el entorno mediante acciones que pueden generar un cambio térmico, así afectando al mismo trabajador y otros que lo rodean. De esta forma, la observación directa e indirecta de las variables involucradas permite entender mejor los cambios de comportamiento del ocupante que se ajustan a su percepción humana.

Para las organizaciones la productividad esperada puede no estar bien definida o incluso, exista una diferencia producida en el impacto de los componentes del entorno térmico en el ocupante y, originado en las consideraciones de diseño y operación. Diferentes estudios, tales como, Lan et al. (2007), Tanabe et al. (2007) y Wargorcki y Seppänen (2006) presentan la idea que muchas veces cuando la temperatura de la oficina está dentro del rango de confort, el ocupante puede sentirse cómodo, pero preferir cambiar las condiciones térmicas para evitar aletargamiento o sueño. También están, por ejemplo, las preferencias del ocupante por un mayor movimiento del aire, ya que la insatisfacción es muy común (Brager et al., 2015; H. Zhang et al., 2007). En este sentido, investigaciones de campo sobre personas actuando en tiempo real en su puesto de trabajo ofrecen datos que sugieren que las preferencias térmicas de las personas tienen componentes

intrínsecas, pero también, geográficas y culturales (Antoniadou & Papadopoulos, 2017; Chappells & Shove, 2005; Kenawy & Elkadi, 2013).

Un potencial de aumento de productividad puede estar en ajustar estrategias de diseño y operación reconociendo las preferencias ambientales de los ocupantes dentro del espacio construido y profundizando en las formas de dimensionar la productividad en relación con las expectativas y la realidad del espacio interior construido. Al revisar resultados de estudios previos entre sensación térmica y preferencia entre distintos ocupantes se observan discrepancias: la sensación preferida por los encuestados cambia sistemáticamente dependiendo de la situación (Haldi & Robinson, 2010; M.A. Humphreys & Nicol, 2007; A. K. Mishra et al., 2016). En tal sentido, para Kosonen y Tan (2004), Romero Herrera et al. (2020) y Thomas (2017), las respuestas de los ocupantes difieren en temperaturas similares dependiendo del edificio, si es naturalmente ventilado o con aire acondicionado. También, se debe tener en cuenta cómo influyen otras variables del ambiente interior cuando son inaceptables y alteran la percepción térmica de los ocupantes, tales como, ruido, deslumbramiento o aire pesado (Frontczak, Schiavon, et al., 2012; Geng et al., 2017; Jung & Jazizadeh, 2019; A. Leaman & Bordass, 2001; Mulville et al., 2016; Pellerin & Candas, 2003; Thomas, 2017).

Asimismo, hay que reconocer que, en los procesos de estudio de la satisfacción térmica, la percepción psicológica puede ir más allá e integrar una idea más compleja. Normas como, ISO 10551 (2019), dan validez a esta idea, ya que indican que la sensación térmica puede tener más de un significado, abarcando factores psicológicos como una motivación para expresar satisfacción con la situación o el estado de ánimo, por lo que, la preferencia y aceptabilidad colaboran en precisar el contexto de las condiciones térmicas. Es aquí, donde el constructo de la productividad autoevaluada en el entorno térmico emerge recogiendo el significado mental que da el entorno térmico a su situación en el lugar de trabajo. Las respuestas sensación, preferencia y aceptabilidad, pueden ser parte de una respuesta única de lo que afecta al trabajador.

1.1.2. Los ocupantes de edificios de oficinas

Un edificio de oficinas es aquella construcción que contiene espacios para trabajos administrativos principalmente. Desde la premisa histórica el concepto de oficina proviene del latín *officium*, asociado a un conjunto de personas en Roma adscritas a la labor pública y el espacio dónde desarrollaban sus tareas. Es decir, la oficina solía estar vinculada a una autoridad y su grupo de colaboradores en particular. En el siglo XVI el edificio del arquitecto Giorgio Vasari en Florencia conocido como la “Galería de las Oficinas” se convirtió en uno de los primeros ejemplos de un edificio completo, cuyo diseño arquitectónico fue pensado totalmente como oficina (Van Meel, 2001). La configuración y diseño del lugar de trabajo se fue haciendo según tendencias locales de cada país o requerimientos de los inversores. Con el correr del siglo XVIII, la influencia de la industrialización y el capitalismo, motivó un ritmo de trabajo más rápido, con magnitudes productivas mayores (Mumford, 2010). Para 1885, el arquitecto William Le Baron Jenney, diseñó las oficinas corporativas de LA Home Insurance Building de Chicago (Vijayasree, 2019). Nominalmente un rascacielos, se trataba del primer edificio de acero a prueba de fuego, con ascensores eléctricos rápidos y con grandes espacios acristalados que fueron el origen del tradicional muro cortina. Esto era un ejemplo de la arquitectura moderna en torno a la oficina, centrada en la organización de la planta como espacio de la secuencia de tareas, y en la iluminación, como requerimiento básico del ambiente laboral. Las oficinas de planta abierta aparecieron por primera vez entre 1940 y 1950. Se trataban de espacios concurridos por personal administrativo en lugares expansivos y centralizados. En las siguientes décadas el concepto evolucionó y se convirtió en la forma de dar cuenta de un espíritu democrático e igualitario de la organización.

En Alemania, en 1958 los hermanos Eberhard y Wolfgang Schnelle concibieron el término *Bürolandschaft* que se traduce como “paisaje de oficina” y describe el concepto de que los líderes de una empresa son “solo uno de la pandilla”(Kaufmann-Buhler, 2021). Se sentaron entre sus empleados para reflejar las necesidades de los equipos, tener una mejor comunicación, un deseable uso

eficiente de recursos y una mejor experiencia. Luego, desde esta perspectiva emergió la influencia de Robert Propst, en el libro *A Facility Based on Change* (1968) refleja esta lógica centrada en la planificación del espacio organizacional de trabajos igualitarios con un enfoque en la humanidad. Sin embargo, la atracción de la estructura administrativa, con su linealidad de comando y control, significó que los conceptos de *Bürolandschaft* fueron abandonados por las filas sistemáticas de escritorio que aún existen en muchas oficinas modernas.

Hoy en día, los edificios de oficinas son proyectos complejos y flexibles enfocados en la información de la organización. Propenden a una proximidad virtual, facilitando la conexión digital desde cualquier punto, dentro o fuera del edificio. Existe acceso comunitario y organizacional a la información, lo que permite a las personas usarla y compartirla a voluntad. Dentro de esto, las oficinas consideran lugares de reunión disponibles para toda la organización. Sin embargo, pueden emerger reuniones de trabajo espontáneas o el uso de dispositivos compartidos entre los trabajadores. En este lugar surge el concepto de espacio o lugar de trabajo, que es distinto del punto o estación de trabajo. El lugar de trabajo depende del diseño interior, las relaciones sociales y funciones de cada individuo. Aunque la planta abierta se mantiene, pueden emerger fronteras implícitas donde los ocupantes usualmente laboran. Los diseños intentan resolver estas situaciones, pero en la actualidad persisten oficinas de planta abierta, en menor medida con pocos recintos individuales y compartidos, originadas fundamentalmente en la reserva de la información. De esta forma, se configuran edificios con oficinas de planta abierta y/o compartimentadas, que pueden ser compartidas o individuales, pudiendo un edificio de oficina albergar múltiples entidades o ser corporativo. En ellas, la organización y su estructura realiza actividades de administración de negocios privados o actividades gubernamentales, de consultoría, de atención de público u otras acciones enfocadas en servicios.

En el interior de estos espacios construidos, el bienestar humano es importante para cada organización y se basa en un balance entre factores económicos, ambientales

y sociales. La Organización Internacional del Trabajo (OIT) define el bienestar en el lugar de trabajo como un término que se relaciona con todos los aspectos de la vida laboral, desde la calidad y seguridad del entorno físico hasta cómo se sienten los trabajadores sobre su trabajo, su entorno laboral, el clima en el trabajo y la organización del trabajo (EASHW, 2013).



Figura 1: Ocupante en estación de trabajo

Fuente: Elaboración Propia

El ocupante de una oficina (Fig.1) es una persona que suele trabajar a diario, desde las primeras horas de la mañana hasta la tarde, completando jornadas, entre 37 horas a la semana en Reino Unido, España en 40 horas o 45 horas en Chile. Sin embargo, según la legislación de los distintos países y los criterios de disponibilidad de personal de las organizaciones se pueden elevar más allá, como en Japón, donde se llega a trabajar hasta 12 horas diarias.

Los contratos de trabajo les pueden imponer exigencias cognitivas y emocionales diversas, que los afectan de distinta forma, por ejemplo, en el uso o disponibilidad de recursos, códigos de vestir o conductas reservadas. En el mundo, los oficinistas en su mayoría realizan de trabajos administrativos de forma continua, incluso su

carga laboral puede considerar actividades con alta carga mental como trabajo burocrático, de acciones repetitivas y de atención al público. Las funciones de los trabajadores de oficinas pueden tener acciones mermadas en creatividad, pero depende de cada organización. Al respecto, asegurar que las personas en el interior de los edificios están saludables, confortables y productivos en el trabajo sigue siendo una materia que presenta interrogantes.

En relación con el espacio y las condiciones ambientales, el ocupante de oficina interactúa en base a lo que la configuración del lugar le permite (Fig.2). No obstante, entender a las personas y su proceder es difícil. Los estudios al respecto han ido mejorando la comprensión del comportamiento del ocupante (Li & Liu, 2020; Maher & von Hippel, 2005; Šujanová et al., 2019; Virote & Neves-Silva, 2012; Yan et al., 2017). Por ejemplo, para Yan y Hong (2018) se trata de un fenómeno complejo con muchas variables, que requiere un enfoque interdisciplinar para ser completamente comprendido. Es relevante entender que el comportamiento de cada individuo afecta al resto de los ocupantes de la oficina. Por un lado, cada ocupante está influenciado por factores externos como la cultura, la economía y el clima, así como por factores internos como la preferencia de comodidad ambiental, su fisiología y psicología personal (Altomonte et al., 2020; Gunay et al., 2013). Por otra parte, las interacciones de los ocupantes individuales con los sistemas del edificio influyen fuertemente en las operaciones del mismo y, por lo tanto, en el uso de la energía y la comodidad interior de la construcción. Esto puede formar un ciclo no virtuoso de dificultades para la productividad de la organización si no es atendido con cuidado.

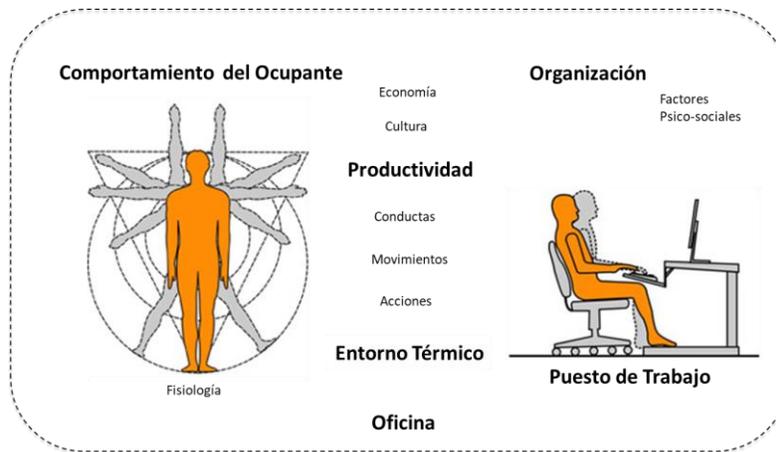


Figura 2: El ocupante del edificio y su interacción en la oficina

Fuente: Elaboración Propia

Es así, que los ocupantes y sus exigencias del espacio construido son un tema importante para las organizaciones, ya que tener a las personas confortables en sus puestos de trabajo debe implicar un mejor logro de los objetivos (Agha-Hosseini et al., 2013; Altomonte et al., 2020; Clements-Croome, 2015). Más bien, las expectativas y realidad no siempre caminan por un mismo sendero. No son pocas las construcciones que no funcionan según lo esperado, afectando costos de funcionamiento, la satisfacción, el rendimiento del personal y de la organización. Aprender e investigar para corregir errores pasados en el diseño y la puesta en marcha puede entregar beneficios de gestión, energía y productividad a los propietarios de los edificios. Por ejemplo, las oficinas necesitan energía para el funcionamiento de los distintos elementos o dispositivos de acondicionamiento térmico del edificio. Para la organización, dicha energía implica costos que se tratan de hacer más eficientes a través del adecuado diseño del edificio, por lo que es valioso intentar predecir a los ocupantes y como este crea ambientes interiores cómodos cuando está insatisfecho (D'Oca et al., 2018). Especialmente, en oficinas con múltiples trabajadores, ajustar el termostato para mayor comodidad, cambiar las luces, abrir o cerrar ventanas, subir o bajar las cortinas son ejemplos claves para la optimización del diseño del edificio.

1.1.3. La comodidad en el entorno térmico

La temperatura interior de las oficinas es una característica fundamental del ambiente interior. Se controla dependiendo del edificio y de su estrategia o sistema de acondicionamiento ambiental (Seppänen et al., 2006). Las condiciones características del entorno térmico del espacio interior, que definen rangos de comodidad, requieren predecir el confort térmico de los ocupantes y se basan en distintas teorías. Entre los principales, está el modelo desarrollado por Fanger (1973) que presume condiciones estacionarias y que considera como variables el nivel de actividad, las características de la ropa, la temperatura seca del aire, la humedad relativa, la temperatura radiante media y la velocidad del aire. De forma tal, que dichas variables influyen en los intercambios térmicos de la persona y su entorno, afectando a la sensación de confort. No obstante, considerar que las condiciones térmicas en las oficinas son constantes, deja de lado la interacción entre el edificio, la posibilidad de ventilación natural, el clima, la ocupación y el sistema de acondicionamiento ambiental. Por esta razón, solo se suele ocupar para el diseño de edificios sin ventilación natural.

De esta forma, el modelo estacionario imposibilita evaluar el confort en estados transitorios de ambientes no uniformes. No considera factores humanos ni psicológicos, de pre exposición térmica o con el historial climático de la persona. Tampoco toma en cuenta la variabilidad en la percepción de las diferentes partes del cuerpo. A partir de esto, han emergido modelos como el adaptativo (de Dear & Brager, 1998) y otros similares que obtienen distintos umbrales de confort térmico para diferentes condiciones. Estas teorías toman en cuenta la capacidad de adaptabilidad de los ocupantes, la variación posible de temperaturas en los edificios y resuelven la necesidad de datos reales para evaluar el funcionamiento de los edificios en uso (Borgeson & Brager, 2011).

Hay que tener en cuenta que los mecanismos de termorregulación y de comportamiento térmico de los seres humanos pueden generar malestar y propiciar enfermedades si las condiciones del entorno no son satisfactorias (Havenith, 2005;

Schlader et al., 2009). Como homeotermo, el ser humano tiene un complejo sistema encargado de mantener internamente constante la temperatura media de la persona y está constituido de tres componentes (Fig. 3).

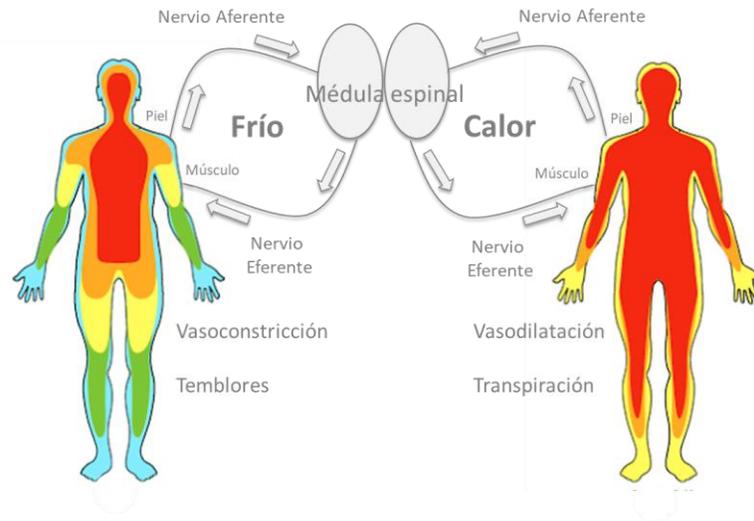


Figura 3: Respuesta del sistema termorregulador para condición de frío y calor
Fuente: Elaboración Propia

Están las vías aferentes termoreceptivas, que son distintas formas de recogida de información térmica que la dirigen hasta los centros de integración. Luego, los centros de integración, encargados de procesar coordinadamente la información aferente, elaboran una respuesta sobre la situación de la temperatura corporal, y emiten una solución de cambio o mantienen la condición según sea necesario. Así también, están las vías eferentes termoelectoras, componentes que retroalimentan y, permiten elevar o reducir dicha temperatura, según la respuesta de los centros reguladores (Arens & Zhang, 2009; Flouris, 2011). Este sistema de termorregulación se basa en la interrelación y cooperación de varios sistemas aparentemente independientes entre sí, pero que interactúan en conjunto: sistemas nervioso, inmunitario, cardiovascular, musculoesquelético, endócrino y el tejido adiposo, la piel, entre otros (Morrison & Nakamura, 2019). Todos están unidos al cerebro, que controla estas acciones físico-químicas con la condición psicológica de la persona. Es interesante, por ejemplo, analizar la inequidad térmica que sucede cuando se observa la situación en las oficinas según sexo. Parkinson et al. (2021) sugieren

que el sobreenfriamiento es un problema común cuando hace calor en las oficinas y los impactos asociados de estas circunstancias afectan de forma generalizada en el bienestar y el desempeño predominantemente a las mujeres.

El diseño de las oficinas busca disponer de puestos de trabajo que propician un mantenimiento relativamente constante y moderado de la temperatura corporal de los ocupantes. Sin embargo, en los entornos de oficina modernos, es difícil que este diseño de sistema HVAC tradicional satisfaga la creciente demanda de preferencias de trabajadores individuales en su microclima (Chao & Wan, 2004). Esto considera las variaciones estacionales del año o de cada día, que hacen fluctuar la temperatura exterior de la edificación. Este fenómeno y su impacto han sido estudiados internacionalmente (Frontczak et al., 2012; Huizenga et al., 2003; Ornetzeder et al., 2016; Schulte et al., 2015) en distintos lugares y tipos de construcciones. Según Rupp et al. (2015b) se han elaborado distintos modelos de confort térmico que le dan un significado a la condición física del ocupante en el edificio. Analizan el estado térmico de la persona en categorías intuitivas de percepción, como lo son, frío, neutro o cálido, que equivale a estar cómodo o incómodo en el entorno térmico. Existen otros modelos estacionarios y transitorios, que consideran estado térmico completo del cuerpo humano, pero se enfocan en ciertas partes del cuerpo, por ejemplo, las extremidades o la espalda (Enescu, 2019; Wang et al., 2007).

Una situación a tomar en cuenta, a la hora de estudiar la productividad en las distintas estaciones del año, es lo que sucede en estaciones de primavera y otoño. Dado que en verano el cuerpo humano hace algunos cambios en su fisiología para resistir el calor, como sudar más fácilmente y en invierno, el cuerpo envía un poco más de sangre a las áreas expuestas como la cara y las manos para mantener la piel caliente. Sin embargo, en estas estaciones de transición, el cuerpo tarda tiempo en adaptarse y esto afecta la percepción de lo fresco o cálido que se siente la persona, generando disconformidad en el puesto de trabajo (Sawka et al., 2002). Esta situación es reconocida e inquieta cada año a administradores de las

instalaciones de las oficinas. El cambio de temporada pone de relieve los problemas de los sistemas de climatización. En climas templados es común, durante las estaciones de transición, que un lado de un edificio requiere calefacción mientras que otro requiere refrigeración, o más complejo aún, dos oficinas adyacentes similares pueden requerir diferentes niveles de calefacción o refrigeración porque una oficina está densamente ocupada mientras que la otra no. Idealmente, cada espacio en un edificio necesitaría su propio sistema HVAC (Rock, 2018). Tal enfoque a menudo tiene un costo prohibitivo, por lo que se deben hacer concesiones en las organizaciones. Este cambio puede hacer que los problemas subyacentes de los sistemas de acondicionamiento que pasaron desapercibidos durante la temporada anterior, de repente sean notorios e incomoden a los trabajadores en las oficinas.

Hay varios estudios (de Dear et al., 2013; McArthur & Powell, 2020; Rupp et al., 2015; Seppänen et al., 2006) que dan cuenta de elementos de esta gestión y el confort térmico, con resultados que involucran acciones de respuesta de las personas. Así, un rango más reducido de temperatura impuesto por la organización suele implicar que las personas utilicen sus propios dispositivos personales de acondicionamiento. También, frecuentemente se les entrega control de los sistemas de climatización a los ocupantes, lo cual puede afectar el clima laboral o generar alta deficiencias en el ahorro de energía. Por ejemplo, en plantas abiertas, donde algunos puestos de trabajo están orientados al sol y otros siempre a la sombra, las preferencias individuales no serán siempre iguales para complacer a todos y si un solo trabajador controla la temperatura, algunos pueden sentirse menospreciados, así generando disputas en la organización.

Entonces, cada ocupante parece ser el más adecuado para retroalimentar respecto a su propia percepción térmica en el puesto de trabajo. Dicha sensación térmica, según ASHRAE 55 (2017), se define como la condición mental que expresa satisfacción con el entorno térmico. Se conoce mediante la evaluación subjetiva y considera implícitamente el historial climático de la persona para dar la respuesta.

Desde aquella mirada subjetiva, el entorno térmico representa las características del espacio y el ambiente que afectan la pérdida o ganancia de calor de una persona en el puesto de trabajo, así como la preferencia por cambiar dicha condición cuando se considera desfavorable.

De esta forma, con el fin de abordar un mejor entendimiento de la influencia de diversos elementos del espacio, factores ambientales y personales sobre la productividad autoevaluada en edificios de oficinas, este estudio explora las relaciones desde una perspectiva que considera dichas variables en su conjunto sobre el espacio de trabajo. Para fortalecer la comprensión de la productividad, se describe el entorno térmico de las oficinas y la satisfacción de los ocupantes, se analiza los resultados de distintas estrategias de autoevaluación y se propone un modelo estadístico que integra todas las variables de la evaluación ambiental.

1.2. Preguntas de investigación

1. En el ambiente de las oficinas ¿Cuáles son las condiciones térmicas de los espacios de trabajo? ¿Cómo intervienen las estrategias de acondicionamiento térmico de las oficinas en la satisfacción de los ocupantes?
2. ¿Cuál es la mejor forma de preguntar por productividad autoevaluada a los ocupantes en el lugar de trabajo de los edificios de oficinas?
3. ¿Qué variables representan las condiciones térmicas relevantes en el puesto de trabajo para la productividad laboral de los empleados? ¿Cómo discriminar su efecto en la productividad autopercebida?
4. ¿Es posible establecer un modelo que incorpore a las múltiples variables del entorno térmico en relación con el constructo de la productividad autoevaluada? ¿Qué indican los resultados de correlación entre las variables del modelo?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la productividad autopercebida de los ocupantes de oficinas, influida por el entorno térmico, a partir del análisis de 18 edificios en postocupación de las ciudades de Santiago y Concepción en Chile mediante un trabajo mixto de toma de datos ambientales y encuestas de percepción a los trabajadores.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Caracterizar el ambiente térmico interior en los edificios de oficinas mediante datos de monitorización de las condiciones térmicas y las percepciones de los ocupantes para la comprensión del entorno térmico de los espacios de trabajo.
2. Identificar la satisfacción térmica de los ocupantes en el espacio arquitectónico de oficinas bajo acciones adaptativas y factores de control de los elementos que configuran los lugares de trabajo para el reconocimiento de su impacto en la productividad.
3. Analizar la productividad autopercebida del trabajador considerando la métrica transeccional y retrospectiva de consulta a los ocupantes de edificios de oficinas para el entendimiento del valor relativo de su uso en las estrategias de investigación.
4. Relacionar variables térmicas interiores en oficinas y la autoevaluación de productividad de los ocupantes mediante un modelo de ecuaciones estructurales para la identificación de factores relevantes del diseño y operación de las oficinas.

2. Metodología de Trabajo

El proceso de estudio y dimensionamiento de la productividad del ocupante de un edificio de oficinas sujeto a un entorno térmico es esencialmente diferente a otros ambientes laborales o procesos productivos. En este trabajo se desarrolla una metodología para precisar los aspectos característicos de la cuantificación de este constructo. Se puso de manifiesto la necesidad de combinar los métodos clásicos de la estadística, con procedimientos psicométricos para un adecuado procesamiento y análisis cuantitativo de la percepción del entorno y autoevaluación. Esta investigación es parte de los proyectos FONDECYT N° 1171497 “Los edificios no consumen energía, las personas sí: criterios adaptativos de confort térmico para el diseño arquitectónico de edificios de oficinas en Chile” y FONDECYT N°1201456 “Criterios innovadores de bienestar para el diseño y evaluación de edificios sustentables desde la perspectiva de los ocupantes”. A partir de ellos, se definió un conjunto de técnicas, métodos y procedimientos utilizados para el estudio del fenómeno de la productividad en el entorno térmico y así, producir conocimiento contrastable respecto al tema.

Esta investigación cuantitativa (Fig. 4), que analiza el constructo de la productividad autoevaluada en el entorno térmico, se llevó a cabo sobre 18 edificios de oficinas en Chile, ubicados 9 casos en la ciudad de Santiago y 9 en la ciudad de Concepción. Participaron 940 trabajadores de 9 empresas privadas y 9 agencias gubernamentales del país. Se utilizaron cuatro instrumentos cuantitativos de recopilación de datos. El primero caracterizó a las oficinas y los trabajadores participantes. El segundo fue un cuestionario elaborado mediante diferentes escalas para conocer las percepciones de los ocupantes. Este instrumento de carácter transeccional se aplicó mediante la técnica de encuesta en el puesto de trabajo durante un día de la estación de invierno y otro día de verano, así recopilando 3551

cuestionarios contestados. El tercero fue el registro de datos de monitorización ambiental de las oficinas una vez cada 5 minutos desde las 8:30 a 18:30 horas. El cuarto instrumento, un cuestionario respondido por el propio trabajador, fue de evaluación general y retrospectivo, donde se recogió la experiencia subjetiva del individuo en la estación de invierno y verano pasado. Se aplicó una sola vez en estación de primavera y se obtuvo 535 cuestionarios válidos.



Figura 4: Esquema de la metodología de estudio

Fuente: Elaboración propia

Respecto del estudio transeccional, se consultó a los ocupantes en tres momentos de la jornada de trabajo, mañana (8:30 a 10:30), medio día (12:00 a 14:00) y tarde 16:30 a 18:30). Además, se relacionaron las respuestas de percepción de los ocupantes con los datos físicos-ambientales interiores durante todo el día de estudio: temperatura radiante, temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del aire. En la Figura 5 se muestra una imagen del instrumental DELTA OHM HD 32.3 WBGT-PMV-PPD, en las dos modalidades utilizadas, instalados en las oficinas.



Figura 5: Equipos de monitorización en las oficinas

Fuente: Elaboración propia

Esta metodología fue desarrollada en base a un estudio teórico e identificación de parámetros del entorno térmico y productividad, que permitió elaborar preguntas de cada cuestionario basadas en el contexto cultural y climático, considerando también preguntas ya utilizadas en otros estudios y trabajos de campo (ASHRAE 55, 2017; M.A. Humphreys & Nicol, 2007; ISO 15251, 2008). No se tomó en cuenta la carga laboral, ya que, si bien las organizaciones realizaban todos los trabajos administrativos, las características entre ellas marcan diferencias de estructura y propósitos de acción. Asimismo, previniendo sesgos y para lograr estandarizar el procedimiento, se llevaron a cabo tres pilotos previamente para validar cada cuestionario. La aplicación de las encuestas se realizó cara a cara con el ocupante, en el caso del estudio transeccional. Cada vez que el ocupante participaba se hizo registro en el momento en tabletas electrónicas, que entregaban una compilación automática en una planilla. El estudio retrospectivo recogió los documentos con las respuestas, registrando y tabulando los datos en una planilla electrónica.

Esta investigación fue diseñada con el objetivo de poder comprender y analizar la correlación entre variables independientes sobre la variable dependiente. Las siguientes tablas muestran las variables y preguntas asociadas sobre el entorno de oficina y los atributos de los encuestados. En primer lugar, como se puede ver en la

Tabla 1, se identificó el diseño de las oficinas a través de la distribución espacial, y la gestión del acondicionamiento ambiental de las oficinas.

Tabla 1: Información del contexto y diseño de las oficinas

Variable	Pregunta / Registro	Forma de la Pregunta / Sensor
Tipo de oficina	Tipo de oficina	Escala de 3 tipos: Abierta, cerrada compartida (hasta 8 ocupantes) y cerrada privada.
Estrategia de acondicionamiento ambiental	Estrategias de acondicionamiento ambiental que considera el diseño y funcionamiento del edificio	Escala de 3 tipos: HVAC, naturalmente ventilada con calefacción y modo mixto.

Para caracterizar las oficinas en relación con el entorno térmico, en el trabajo de campo se midieron las variables físicas-ambientales asociadas en estación de invierno y verano en todas las oficinas seleccionadas (Tabla 2). Las estaciones de transición, como primavera u otoño no se consideraron para relacionarlas con la productividad, ya que en los climas estudiados existe diferente duración y, como se expuso previamente, la variabilidad térmica diaria hace difícil equilibrar los sistemas de acondicionamiento ambiental. Algunas variables se relacionaron para obtener indicadores que son utilizados en la gestión del ambiente en las oficinas y que realizan las organizaciones considerando el confort de los ocupantes. Respecto de los datos de temperatura exterior, fueron obtenidos de estaciones meteorológicas oficiales del país en cada ciudad y cercanas a los edificios en estudio.

Tabla 2: Características físico-ambientales en las oficinas

Variable	Pregunta / Registro	Forma de la Pregunta / Sensor
Hora	Registrar el horario de la medición	HD32.3 Delta Omh
Temperatura Operativa	Temperatura del Aire	Termómetro de aire seco, HD32.3 Delta Omh mod. HP3217.2R / HP3217R
	Temperatura de Globo	Termómetro de Globo, HD32.3 Delta Omh mod. TP3276.2 / TP3275
Humedad Relativa del aire	Humedad Relativa del aire	Sensor de Humedad Relativa HD32.3 Delta Omh mod. HP3217.2R / HP3217R
Velocidad del Aire	Velocidad del Aire	Sensor omnidireccional de velocidad del Aire, HD32.3 Delta Omh, mod. AP3203.2 / AP3203
Estación del año	Invierno / Verano	Dicotómica
Temperatura exterior	Temperatura exterior del edificio en la ciudad	Datos de estaciones meteorológicas de Quinta Normal en Santiago y Carriel Sur en Concepción

Asimismo, durante el trabajo de campo en los edificios, se identificaron los factores asociados a los ocupantes en sus espacios de trabajo (Tabla 3). Para el arropamiento y metabolismo se tuvo en cuenta la norma ISO 7730 (2005) para caracterizar las prendas de vestir y actividades de los participantes.

Tabla 3: Características personales de los ocupantes de oficinas.

Variable	Pregunta / Registro	Forma de la Pregunta / Sensor
Edad	Rango etario	4 rangos de 18 a 65 años
Sexo	Identificación de sexo	Hombre / Mujer
Estancia en el punto de trabajo	% de la jornada laboral que permanece en el lugar de trabajo	Rangos cada 10% hasta completar 100%
Arropamiento	Cantidad y tipo de prendas de vestir del ocupante	Multipreguntas para reconocer uso de prendas de vestir en el momento
Metabolismo	Actividad que realiza el ocupante los últimos 15 min	Escala de 6 opciones: sentado pasivo, sentado activo, parado pasivo, parado activo, caminando en interiores y caminando en exteriores.

Respecto al entorno térmico y la interacción de los trabajadores de las oficinas, se identificaron distintas variables (Tabla 4), tales como aceptabilidad sobre otros aspectos ambientales, percepción del movimiento del aire, y reconocimiento y control de elementos de acondicionamiento, tales como, ventanas, cortinas, lámparas o dispositivos individuales. Los fenómenos relacionados entre el confort y el ambiente térmico pueden evaluarse a través del sistema sensorial de las personas. Como se analizó, no siempre es igual durante todo el día ni todo el año en la oficina. En esta investigación, se empleó la percepción de la conformación del ambiente térmico y su influencia en el estado térmico del ocupante de los casos estudiados. Para sensación térmica se utilizó la escala de ASHRAE 55 (2013), para preferencia se utilizó Humphreys et al. (2007) y para aceptabilidad la norma ISO 15251 (2008). Según Yang et al. (2019) la confiabilidad de escalas de respuesta es diferente según los atributos subjetivos. No obstante, los efectos de los factores físicos en la respuesta humana podrían evaluarse utilizando distintos tipos de escalas.

Tabla 4: Percepción del entorno de las oficinas e interacción de los trabajadores.

Variable	Pregunta / Registro	Forma de la Pregunta / Sensor
Aceptabilidad térmica	Percepción de tolerancia del ambiente térmico en el puesto de trabajo	Dicotómica: Aceptable (+1) Inaceptable (0)
Sensación térmica	Percepción psicológica de satisfacción térmica	Escala de 7 tipos Fría (-3) Fresca (-2) Ligeramente fresca (-1) Neutra (0) Ligeramente cálida (+1) Cálida (+2) Calurosa (+3)
Preferencia	Percepción de las condiciones térmicas deseadas en el puesto de trabajo	Escala de 5 tipos Mucho más fría (-2) Un poco más fría (-1) Sin cambios (0) Un poco más cálida (+1) Mucho más cálida (+2)
Aceptabilidad de la calidad del aire	Límite de la satisfacción de la calidad del aire interior	Dicotómica Aceptable (+1) Inaceptable (0)
Aceptabilidad de las condiciones lumínicas	Límite de la satisfacción de las condiciones lumínicas	Dicotómica Aceptable (+1) Inaceptable (0)
Aceptabilidad del nivel de ruido	Límite de la satisfacción del nivel de ruido	Dicotómica Aceptable (+1) Inaceptable (0)
Sensación del movimiento del aire	Satisfacción con el movimiento del aire	Escala de 5 puntos: Inmóvil (0) Leve (+1) Notorio (+2) Intenso (+3) Excesivo (+4)
Preferencia del movimiento del aire	Modificación deseada para la satisfacción con el movimiento del aire (MA)	Escala de 5 puntos Mucho más MA (-2) Un poco más MA (-1) Sin cambios (0) Un poco menos MA (+1) Mucho menos MA (+2)
Identificación de funcionamiento de elementos de acondicionamiento ambiental	Elementos de acondicionamiento ambiental en operación en el momento	Multipreguntas para identificar presencia de ventanas, cortinas, lámparas, ventiladores, calefactores y termostato.
Control de elementos de acondicionamiento ambiental	Nivel de Control sobre los elementos de acondicionamiento ambiental	Multipreguntas para reconocer la posibilidad de control, si existe ajuste y otros ajustes con consulta a otros ocupantes.

Finalmente, y al momento de contestar la encuesta, se consultó también por una autoevaluación de productividad laboral de los trabajadores en el desarrollo de sus funciones (Tabla 5), y para ello se tuvo en cuenta la pregunta usada por Humphreys & Nicol (2007) y Leaman y Bordass (2010).

Tabla 5: Productividad laboral autoevaluada por los trabajadores

Variable	Pregunta / Registro	Forma de la Pregunta / Sensor
Productividad laboral autoevaluada transeccional en la oficina	Autoevaluación de la variación de productividad según condiciones ambientales en el momento de la pregunta	Escala de 5 puntos: Mucho menos que lo normal (-2) Un poco menos que lo normal (-1) Normal (0) Un poco más que lo normal (+1) Mucho más que lo normal (+2)
Productividad laboral autoevaluada retrospectiva	Autoevaluación de la variación de productividad según condiciones ambientales del verano e invierno pasado	Escala de 9 puntos: Disminuido en 40% o más (-4) Disminuido en 30% (-3) Disminuido en 20% (-2) Disminuido en 10% (-1) No se ve afectada (0) Aumentado en 10% (+1) Aumentado en 20% (+2) Aumentado en 30% (+3) Aumentado en 40% o más (+4)

La comparación de la información recogida en diferentes momentos del año y momentos de percepción permitió hacer una partición de los datos para discriminar mejor el fenómeno de la productividad en las oficinas. Finalmente, la discusión de los resultados fue realizada con la comparación y contrastación con otros estudios previos. La discriminación de diferencias o coincidencias permitió remarcar las limitaciones y fortalezas del trabajo realizado. Con ello, se alcanzaron las conclusiones y aportes finales al conocimiento que entrega esta tesis doctoral.

2.1. Selección de casos de estudio

Esta investigación utilizó edificios de oficinas con ocupantes como casos de estudio. Con esto no se busca la representatividad general de los resultados, sino que se pretende representar la complejidad de las variables del fenómeno. Por ello, se

estudiaron edificios contemporáneos y por múltiples métodos (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018; Johansson, 2003). En la definición de los edificios, se tuvo en cuenta que: el diseño, las estrategias arquitectónicas, los sistemas de acondicionamiento ambiental, sus realidades sociales y los distintos tipos de trabajo desempeñados por sus ocupantes. Entonces, para disponer de un grupo de edificios representativo, los criterios de selección para los casos fueron que cada edificio: fuese originalmente diseñado para oficinas, no tuviese más de 20 años, no había sido modificado y tenía más de 20 ocupantes.

Las ciudades escogidas para el estudio fueron dos de las principales urbes del país (Fig. 6). El área metropolitana de Concepción tiene una población de 971.285 habitantes correspondiente al 5,5% del total de la población del país y el área metropolitana de Santiago, con 6.257.516 habitantes, equivalente al 35,6 % del total nacional. El país tiene un extenso territorio a nivel continental. Se ubica en el hemisferio sur, entre las latitudes 17°30´ y 56°30´ sur. Esta ubicación hace que la fachada orientada al norte de los edificios reciba la radiación solar durante el día.



Figura 6: Mapa de zonificación climática de Chile

Fuente: NCh 1079 Of.2008

El clima de Santiago de Chile se conoce como clima mediterráneo continentalizado, de estación seca larga. En cambio, la ciudad de Concepción se trata de un clima mediterráneo, con estaciones seca y lluviosa similares (Fig.7). La normativa chilena NCh 1079 Of.2008 establece una zonificación climática, subdividiendo el país en 9 áreas, desde climas áridos en desiertos hasta heladas estepas subantárticas. Esto evidencia la diversidad de condiciones atmosféricas que influencia el diseño de la edificación en el Chile. Por otra parte, ambas localidades poseen temperaturas moderadas, con climas templados categorizados como Csc y Csb del sistema Köppen-Geiger, y poseen diferencias marcadas por la influencia de la costa y latitud. Desde la normativa nacional, Concepción está en la zona sur litoral y Santiago en la zona central interior del valle central, con alturas bajo los 1000 metros.

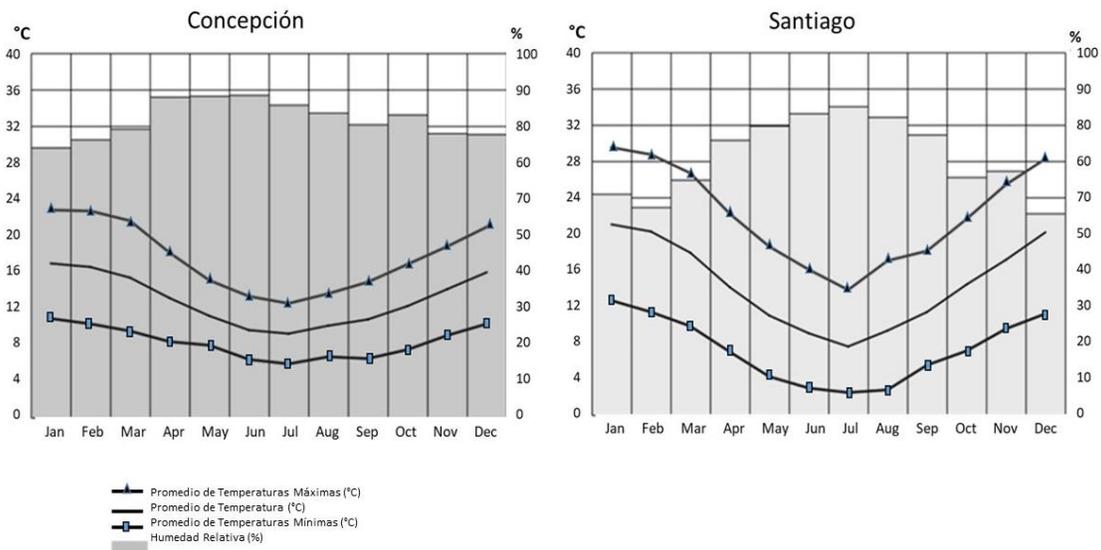


Figura 7: Temperatura y humedad relativa de Concepción y Santiago
 Fuente: Elaboración propia en base a datos de Dirección Meteorológica de Chile

2.2. Identificación y características de los edificios de oficinas

Como se mencionó, nueve casos corresponden a organizaciones privadas y otros nueve a gubernamentales. Por acuerdo de confidencialidad para el desarrollo de la investigación no son mencionadas en este estudio (Ver Tabla 6). Respecto de la operación de las ventanas, diez de los edificios poseían ventanas operables y dos solo algunas pocas ventanas. En estos dos edificios, se debe mencionar que las ventanas no suelen abrirse, debido a políticas organizacionales y otras razones. Además, en la mayoría de los casos de las oficinas estudiadas, el trabajo de campo estuvo definido por una planta completa y no necesariamente por toda una organización, indistintamente si podía extenderse en varias plantas del edificio. Las empresas e instituciones gubernamentales que participaron en el estudio brindaron información general del edificio, planos, especificaciones técnicas, acceso a las instalaciones y oportunidades de encuestas a los ocupantes.

Tabla 6: Casos de estudio de edificios de oficinas

Ciudad	Caso	Particip. Etapa 2	Particip. Etapa 3	Año	Administración	Planta estudiadas	Superficie traslúcida de la Envolvente	Modo de Operación	Operación de Ventanas
Concepción (CCP)	A	61	25	2016	Gubernamental	2, 3	65% ⁽¹⁾	HT	Si
	B	25	16	2016	Gubernamental	1, 2	45%	MM	Si
	C	45	35	2016	Gubernamental	4, 7	50% ⁽²⁾	MM	Si
	D	32	22	2005	Gubernamental	3, 6	55%	MM	Si
	E	27	21	2016	Privada	1, 2	40%	MM	Si
	F	126	40	2013	Privada	2, 9	50%	HVAC	No
	G	20	16	2016	Privada	6	65%	MM	Si
	H	52	29	2009	Privada	1	45%	NV	Si
	I	36	16	2013	Privada	1, 2	40%	HVAC	Solo algunas
Santiago (SCL)	J	28	21	2009	Privada	2, 3	55%	MM	Si
	K	56	37	2016	Privada	12	85% ⁽³⁾	HVAC	No
	L	49	32	2015	Gubernamental	2	70% ⁽¹⁾	MM	Si
	M	37	33	2016	Gubernamental	6	40% ⁽⁴⁾	HVAC	Solo algunas
	N	43	32	1997	Privada	9	40%	MM	Si
	OP	153	99	2016	Gubernamental	3, 5	95% ⁽¹⁾	HVAC	No
	Q	31	28	2006	Privada	18	95% ⁽¹⁾	HVAC	No
	R	42	33	1997	Privada	15	80%	HVAC	No
	S	77	48	2000	Privada	4	90% ⁽¹⁾	HVAC	No

Caso: Código asignado a cada edificio; Año: Año de construcción del edificio; HT: Naturalmente ventilado, sólo calefacción; MM: Modo mixto; HVAC: edificio con calefacción, ventilación y aire acondicionado; Notas: ⁽¹⁾ con persianas; ⁽²⁾ con doble fachada norte; ⁽³⁾ con cortinas domotizada; ⁽⁴⁾ con alero

Fuente: Propia



Figura 8: Imágenes de los 18 edificios estudiados

Fuente: Propia

Finalmente, al identificar la distribución de los espacios de trabajo, se observó que las tipologías espaciales del diseño arquitectónico se presentan de la siguiente forma: oficinas de planta abierta (85%), oficinas compartidas cerradas con hasta cinco personas (13%) y oficinas individuales cerradas (2%). Además, los diseños de los tipos de sistemas de acondicionamiento ambiental fueron: naturalmente ventilados, solo calefacción (HT), con calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC por sus siglas en inglés) y modo mixto (MM). De los 18 casos estudiados, pocos de ellos poseen planes oficiales de gestión del ambiente térmico. Un ejemplo al respecto es el hecho que la temperatura es la única característica que se mide eficazmente de forma regular a través de un sistema de termostatos en la mayoría de los edificios. Finalmente, se debe mencionar que la productividad autoevaluada en relación con el ambiente térmico interior no se mide formalmente en ninguno de los casos.

3. Resumen global de los resultados y discusión.

Para examinar el fenómeno de la influencia del entorno térmico en la productividad autoevaluada en las oficinas, se realizó en primer lugar un estudio del entorno térmico de las oficinas. El primer artículo científico, Trebilcock et al. (2020) “*Evaluation of thermal comfort standards in office buildings of Chile: Thermal sensation and preference assessment*”, alineado con el primer objetivo de esta tesis doctoral evalúa el confort térmico interior de los contextos específicos que se encuentran en los edificios construidos en Chile en los últimos años, donde los estándares nacionales se basan en referencias internacionales y no son obligatorios. Esto es importante, ya que la satisfacción térmica ha sido valorada por los investigadores para mejorar el rendimiento del ser humano en el trabajo. El estudio de campo consulta a los trabajadores en el entorno real del lugar de trabajo las percepciones térmicas y acciones de adaptación a las temperaturas operativas interiores, especialmente con respecto a su preferencia térmica.

A continuación, y en consideración del segundo y tercer objetivo del trabajo doctoral, el siguiente artículo, Soto Muñoz et al. (2022), “*Understanding the perceived productivity of office occupants in relation to workspace thermal environment*”, muestra los resultados de la productividad autoevaluada en el entorno térmico de las oficinas. Además, se pone en discusión cómo abordar la pregunta para consultar a los ocupantes de edificios la productividad autoevaluada. Se hace una comparación de respuestas de los ocupantes de los distintos edificios, entre un método transeccional y otro retrospectivo. Este análisis permite visualizar si existe una posible relación entre ambos métodos, ya que, en la literatura no se ha realizado dicha comparación, siendo que se suelen utilizar indistintamente por los investigadores en la actualidad. Los resultados muestran las diferencias y semejanzas en las formas de indagar a este respecto, pero al mismo tiempo, dan cuenta del valor de complementar las estrategias.

Finalmente, el artículo, Soto-Muñoz et al. (2022), "*Recognizing the effect of the thermal environment on self-perceived productivity in offices: A structural equation modeling perspective*" se enfoca en la dificultad de determinar las relaciones causa efecto entre la productividad autoevaluada y el entorno térmico. En base a los datos de las 32 variables presentes en las oficinas, se propuso un modelo inicial para reconocer que es posible establecer un grado de relación que existe entre ellas a través de los análisis de correlación. En este modelo, las percepciones de sensación térmica, preferencia térmica, y la aceptabilidad térmica fueron consideradas variables mediadoras y como tal, representativas de la percepción de diferentes parámetros de la oficina develando cómo influyen en la productividad percibida. Posteriormente, y mediante el uso de la metodología de Modelado de Ecuaciones Estructurales (SEM) se pudo identificar un modelo reducido de 10 variables significativas. Un análisis de las interrelaciones estableció la importancia de estas variables asociadas al diseño del espacio construido y la gestión de estrategias de confort considerando la productividad del trabajo.

3.1. Estándares de confort térmico en edificios de oficinas en Chile

3.1.1. Mediciones

La Figura 9 muestra las temperaturas operativas promedio (T_{op}) para cada caso de estudio en cada estación del año, junto con las temperaturas exteriores promedio diarias (T_{mout}) tanto en Concepción como en Santiago en el momento del trabajo de campo. La temperatura operativa se obtuvo a partir de la temperatura del globo terráqueo, ya que son prácticamente indistinguibles (Michael. Humphreys et al., 2015), y variaron sistemáticamente no sólo por estación, sino también por contexto climático.

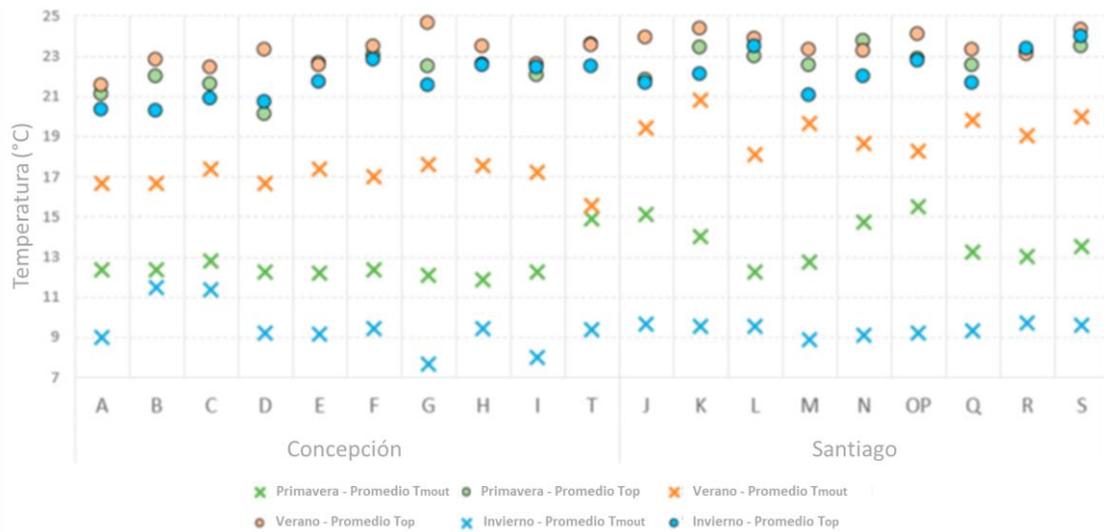


Figura 9: Temperatura media operativa y exterior de cada caso.

Se observa que todas las mediciones están dentro de un rango de 20,0°C-25,0°C. En Concepción, la media de T_{op} en invierno fue de 21,5 °C, este valor aumentó a 22,0°C en primavera y a 23,0°C en verano. En Santiago, la media de la temperatura máxima en invierno fue 22,4 °C, aumentó a 22,9°C en primavera y a 23,7 °C en verano, mostrando así una diferencia consistente de aproximadamente 1°K entre cada ciudad, para cada estación. Llama la atención que, la parte superior también varió de forma consistente entre los distintos modos de construcción, con temperaturas más bajas en el modo HT (media de 21,9 °C), que aumentaron en el modo MM (media de 22,4 °C) e incluso más altas en el modo HVAC (media de 23

°C). Esto también se relaciona con el hecho de que todos los edificios HT y la mayoría de los edificios MM están ubicados en Concepción, mientras que la mayoría de los edificios HVAC están ubicados en Santiago.

3.1.2. Sensación Térmica

Las votaciones de la sensación térmica media de cada caso de estudio, tal y como se indica en la Figura 10, muestran que todos los promedios se sitúan en el rango de 1 (ligeramente cálido) a -1 (ligeramente frío). También puede observarse que en invierno la sensación térmica tiende a ser más cálida que en verano, con la excepción de algunos casos específicos, como el caso D, en el que los usuarios informaron de una sensación térmica neutra en verano y más fría en invierno.

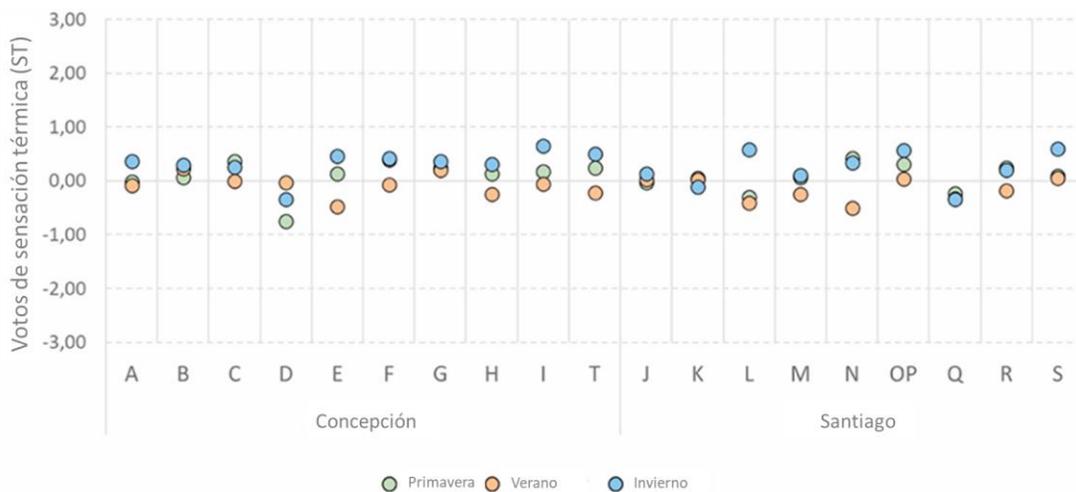


Figura 10: Voto medio de sensación térmica por caso de estudio.

En Concepción, los promedios de sensación térmica fueron -0,08 en verano, 0,13 en primavera y 0,34 en invierno, lo que indica que la sensación térmica se vuelve más cálida a lo largo del año. En el caso de Santiago, la sensación térmica media es de -0,12 en verano, 0,12 en primavera y 0,34 en invierno, lo que es bastante similar a la sensación térmica media de Concepción.

Tabla 6: Rangos de voto de sensación térmica

Ciudad	Estación	Dentro del rango de confort (TS=-1, 0, 1)		Fuera del rango de confort (TS= -3, -2, 2, 3)	
		Cantidad de votos	Porcentaje (%)	Cantidad de votos	Porcentaje (%)
Concepción	Invierno	1401	66,5	706	33,5
	Primavera	1231	68,8	559	31,2
	Verano	1283	68,0	604	32,0
Santiago	Invierno	827	72,0	322	28,0
	Primavera	727	72,3	278	27,7
	Verano	736	71,7	290	28,3

La Tabla 8 muestra las respuestas de sensación térmica organizadas por ciudad, según las que están dentro y fuera del rango de confort de - 1, 0, 1. En general, el número de votos fuera del rango supera el 25% del total de votos. Esta tendencia es más pronunciada en Concepción, donde el número de votos fuera del rango varía entre el 31,2% y el 33,5%. Estos resultados son superiores a los de otros estudios en los que, en todas las localidades examinadas, más del 75% de los votos se encontraban dentro de la horquilla del ST -1, 0, 1, con la excepción de unos pocos casos (Damiati et al., 2016).

Los valores de Clo presentados en la Tabla 9 muestran una variación consistente entre los modos de construcción, las estaciones y las ciudades. Son más altos en Concepción que en Santiago, lo que está en consonancia con el clima más frío de la ' primera. También son más altos en los edificios HT que en los edificios MM y HVAC, demostrando así que los ocupantes ajustan su ropa considerablemente en cada modo. No se encontró ninguna correlación entre los valores de Clo y los votos de TS ($R^2= 0,05$), aunque existe una alta correlación entre los valores de Clo y la temperatura exterior T_{mout} ($R^2= 0,73$). El aislamiento de la ropa está correlacionado negativamente con la temperatura exterior, lo que significa que la gente aumenta su nivel de aislamiento de la ropa como un comportamiento adaptativo en respuesta a la variación climática y estacional.

Tabla 7: Valores de Clo promedio

Edificios	Invierno (Clo)	Primavera (Clo)	Verano (Clo)
Concepción	0,95	0,88	0,69
Santiago	0,90	0,80	0,66
HT	0,96	0,87	0,74
MM	0,92	0,83	0,65
HVAC	0,87	0,80	0,64

3.1.3. Preferencia térmica

La mayoría de los estudios de campo para determinar las temperaturas de confort en los edificios de oficinas se han basado en la determinación de la temperatura neutra a partir de las mediciones del ambiente interior y de la TS. Sin embargo, algunos autores han cuestionado la utilización del valor 0 (neutro) como el ideal o el deseado por los ocupantes de los edificios, postulando en su lugar que, en función de las características del entorno y de las características personales, culturales y psicológicas, los encuestados pueden preferir una sensación térmica distinta de la neutra como óptima (Michael A. Humphreys & Hancock, 2007; Shahzad & Rijal, 2019). Por ello, la Figura 11 presenta los votos de TP= 0 (sin cambios) y de Sensación Térmica, TS= 0 (neutra) en ambas ciudades y para los tres periodos medidos. Es de notar que el número de individuos que afirman preferir que no haya cambios en su ambiente térmico (TP= 0) es considerablemente mayor que el número de encuestados que declaran que su sensación térmica es neutral (TS= 0). En la ciudad de Concepción, esta diferencia es aún más evidente, ya que durante los tres periodos medidos los votos TP= 0 son más del doble que los votos TS= 0, mostrando así que el 51% de los participantes prefiere que no haya cambios en su entorno y en condiciones diferentes a las neutras.

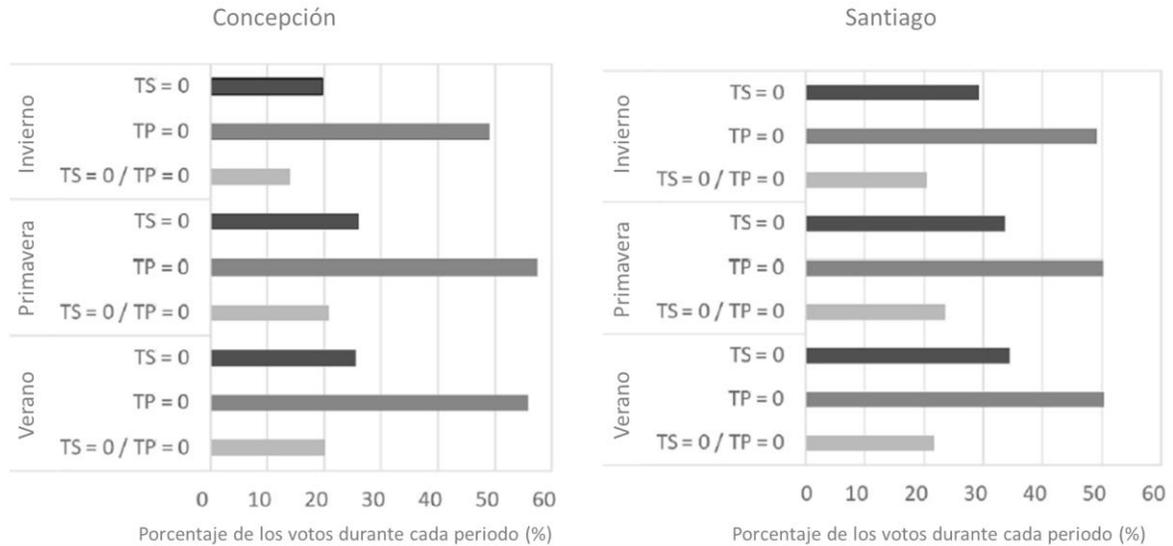


Figura 11: Relación entre sensación térmica neutral y preferencia térmica sin cambio

En la misma Figura 11 se observa que tanto en Concepción como en Santiago el número de ST neutras fue ligeramente menor en invierno y aumentó a lo largo del año hasta el verano, cuando un mayor número de individuos afirmó tener una sensación térmica neutra. De los 2613 votos totales obtenidos en Concepción para los tres periodos, 559 corresponden a una ' sensación térmica neutra (TS= 0). De esos 559 votos, 429 indicaron una preferencia térmica por la ausencia de cambios (TS= 0/TP= 0). Por lo tanto, los 130 votos restantes (23,3% de los encuestados) habrían preferido un entorno diferente a pesar de tener una sensación térmica neutra. En relación a las encuestas realizadas en Santiago, para los tres periodos, 997 de los 3192 votos totales obtenidos corresponden a TS= 0, mientras que 674 de esos 997 votos declararon un TP= 0. Así, el 32,4% de los usuarios encuestados afirman que, a pesar de tener una sensación térmica neutra, habrían preferido algún cambio en su entorno de trabajo.

La Tabla 10 presenta una tabulación cruzada de TS y TP, que muestra que a medida que la sensación térmica se vuelve más fría, la preferencia se desplaza hacia temperaturas más cálidas. Lo contrario ocurre cuando la sensación real se vuelve más cálida, lo cual es de esperar. También se observa que en Concepción la sensación "ligeramente cálida" (TS= 1) es la más votada, mientras que en Santiago

la sensación térmica más votada es la "neutra". Es interesante notar que, en ambas ciudades, la mayoría de los ocupantes que votaron por una sensación térmica ligeramente fría y fría (TS= - 1 y - 2) prefirieron no cambiar (TP= 0). En general, los resultados demuestran que más del 60% de los encuestados que declararon una preferencia térmica por el no cambio (TP= 0) indicaron al mismo tiempo una sensación térmica diferente de la "neutra" (TS= - 2, - 1, 1 y 2), lo que sugiere que la sensación de confort se produce en un punto diferente del neutro. Esto también se ha observado en otros estudios, como el de Shahzad y Rijal en Japón, Noruega y el Reino Unido (Shahzad & Rijal, 2019), y el de Humphreys y Hancock en el Reino Unido (Michael A. Humphreys & Hancock, 2007), de los que se puede deducir que las personas no prefieren necesariamente una sensación térmica neutra.

Tabla 8: Tabulación cruzada de sensación térmica y preferencia térmica

Concepción									Santiago							
Sensación de preferencia (TP)	Sensación térmica (TS)							Total	Sensación térmica (TS)							Total
	-3	-2	-1	0	1	2	3		-3	-2	-1	0	1	2	3	
2	24	8	1	2	3	5	7	50	12	2	1	1	1	0	0	17
1	70	115	187	72	59	21	1	525	69	106	154	73	33	10	5	450
0	2	217	195	430	295	138	5	1282	7	203	305	676	265	86	2	1544
-1	1	27	35	56	287	210	84	700	1	21	66	246	461	224	84	1103
-2	0	3	2	0	6	15	30	56	0	0	2	5	9	26	36	78
Total	97	370	420	560	650	389	127	2613	89	332	528	1001	769	346	127	3192

3.1.4. Sensación y preferencia térmica según el modo de funcionamiento

La Figura 12 muestra un análisis detallado del número de votos obtenidos para cada una de las opciones de la escala de sensación térmica ASHRAE cuando la preferencia térmica es "sin cambios" (TP= 0), diferenciada según el modo de funcionamiento de cada caso de estudio. En el gráfico de los edificios en modo HVAC, se observa una dispersión bastante regular con una clara tendencia a TS= 0 en verano y primavera, con un 32,5% y 32% de los votos respectivamente. En invierno, el mayor número de votos se reparte entre TS= 1, con el 27,7% de los votos, y TS= 0, con el 27% de los votos. Esto indica que una gran parte de los

usuarios de edificios de climatización prefiere tener una sensación neutra, excepto en invierno, donde hay una división entre los individuos que prefieren una sensación neutra y los que prefieren un poco más de calor. En el caso de los edificios de gestión de la movilidad, hay una tendencia más clara hacia $TS= 0$ (neutral) en verano y primavera, con un 25,9% y un 27,6% de los votos respectivamente.

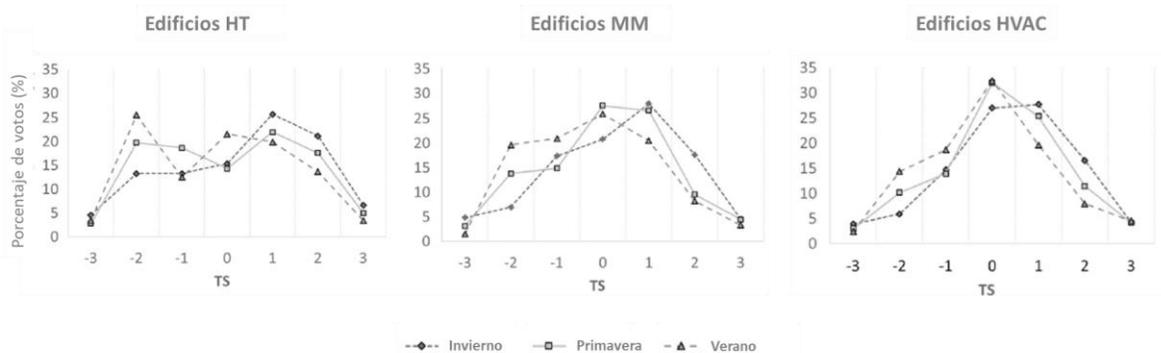


Figura 12: Relación entre votos de sensación térmica por tipo de edificio

En invierno, el valor con mayor número de votos es $TS= 1$. Se sigue observando una dispersión de votos algo irregular, con sensaciones variadas de los usuarios al indicar su preferencia por la ausencia de cambios. En el caso de los edificios HT, la dispersión de votos es bastante irregular. Hay un pico con el 25,6% de los votos en $TS= - 2$ (fresco) en verano y otro con el 25,7% de los votos en $TS= 1$ (ligeramente cálido) en invierno. Esto indica que la sensación térmica de los usuarios del edificio en modo HT varió bastante cuando indicaron una preferencia térmica por no cambiar. No obstante, es importante señalar que el número de casos de edificios en modo HT es bastante reducido para respaldar adecuadamente las conclusiones. En general, se observa que cuanto menos activo es el sistema de climatización de un edificio, mayor es la tendencia de los usuarios a preferir sensaciones cálidas en invierno y frescas en verano. En cambio, en los edificios con sistema de climatización en los que existe un mayor control del ambiente interior y, por tanto, una menor influencia de las condiciones exteriores, los usuarios tienden a preferir temperaturas neutras.

Para evaluar la dependencia de la sensación térmica preferida, se calculó el TP para cada valor de TS y se compararon los valores por separado para los tres modos de funcionamiento (Fig. 13). Se realizó un análisis ANOVA factorial para examinar los efectos tanto de la estación como de la sensación térmica en la preferencia térmica.

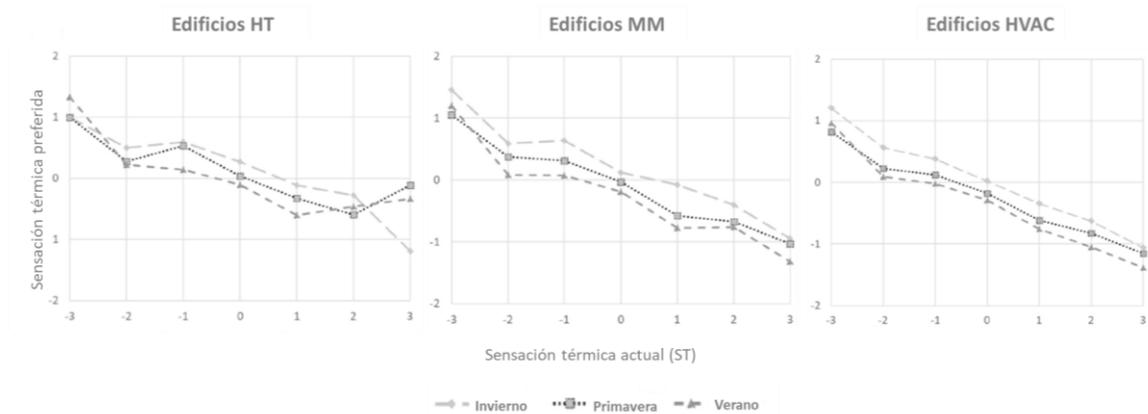


Figura 13: Dependencia de sensación térmica media preferida respecto de sensación térmica real.

Los resultados muestran que el efecto de la estación (verano o invierno) es significativo para los edificios de HVAC, $F(1, 2164)= 112,01$, $p < 0,001$ y para los edificios MM, $F(1, 1386)= 89,58$, $p < 0,001$, pero no para los edificios HT, $F(1, 420)= 1,18$, $p= 0,291$. En general, la media de la sensación preferida fue significativamente mayor en invierno que en verano, tanto para los edificios HVAC como para los MM. La sensación preferida en invierno fue significativamente mayor que la sensación preferida en verano, tanto para HVAC, $F(1, 2164)= 112,01$, $p < 0,001$, como para MM, $F(1, 1386)= 89,58$, $p < 0,001$. Esto indica que, tanto para los edificios de MM como para los de HVAC, hay más individuos que prefieren sensaciones térmicas más cálidas en invierno y más frías en verano.

3.1.5. Temperatura neutra

La temperatura neutra para cada caso de estudio puede verse en la Tabla 11. Esta temperatura se obtuvo utilizando dos métodos diferentes: un análisis de regresión

simple que relaciona la sensación térmica de los ocupantes con la temperatura operativa interior, y el método de Griffiths. Con el método de regresión simple, la temperatura neutra (T_{nreg}) es el punto en el que la línea de tendencia correspondiente a cada caso de estudio cruza el punto en el que la TS es neutra (0). Esto se hizo por separado para cada periodo de medición y para cada ciudad. Hay dos casos (B y N) para los que no se pudo calcular la T_{nreg} invernal porque la excesiva dispersión de los votos dio lugar a líneas de tendencia imprecisas. Estos puntos se indican en la Tabla 11 como N/A y no se consideran en los valores medios de T_{nreg} para cada ciudad. Un hecho que debe tenerse en cuenta es que la dispersión de los puntos es bastante amplia y, por lo tanto, los coeficientes de correlación múltiple o los coeficientes de determinación con el método de regresión simple (R^2) son en casi todos los casos inferiores a 0,2.

Adicionalmente, la T_{nreg} , se calculó la temperatura neutra mediante el método de Griffiths (T_n) (Humphreys et al., 2007), que evalúa la comparación entre la temperatura media operativa y la TS media basada en la percepción de los ocupantes. Este método proporciona una opción alternativa a la regresión lineal cuando el coeficiente de regresión es demasiado bajo y no es posible calcular la temperatura neutra en algunos casos, como en este estudio. El método de cálculo es el siguiente:

$$T_n = T_{op} - TS / G$$

T_n es la temperatura neutra utilizando el método de Griffiths y G es la tasa de cambio de la sensación térmica con la temperatura operativa, que sustituye al coeficiente de regresión. El método ha sido ampliamente utilizado en otros estudios (Dammati et al., 2016; García et al., 2019; Asit Kumar Mishra & Ramgopal, 2015) con resultados consistentes y válidos. Se utilizó un valor de 0,5 K como constante G, teniendo en cuenta los resultados de diferentes artículos (Dammati et al., 2016; García et al., 2019; M. A. Humphreys et al., 2013; Indraganti et al., 2013; Rijal et al., 2019; Thapa, Bansal, & Panda, 2018; Thapa, Bansal, Panda, et al., 2018).

Tabla 9: Temperatura neutral en cada caso de estudio

Ciudad	Código	Invierno			Primavera			Verano		
		T _{nreg} (°C)	R ²	T _n (°C)	T _{nreg} (°C)	R ²	T _n (°C)	T _{nreg} (°C)	R ²	T _n (°C)
Concepción	A	19,3	0,06	19,6	21,2	0,01	21,1	21,5	0,12	21,5
	B	N/A	0,001	19,5	20,4	0,01	21,7	19,4	0,01	22,1
	C	20,1	0,11	20,2	20,7	0,07	21,0	22,5	0,09	22,5
	D	23,2	0,02	21,8	21,5	0,33	21,5	22,9	0,09	23,1
	E	20,0	0,04	20,7	22,4	0,18	22,3	23,5	0,06	23,5
	F	20,0	0,01	21,8	22,0	0,11	21,8	23,3	0,03	23,4
	G	20,1	0,05	20,8	21,7	0,05	22,0	22,9	0,03	24,2
	H	21,9	0,16	21,9	22,2	0,04	22,3	24,1	0,06	23,9
	I	21,0	0,28	21,1	21,8	0,08	21,9	22,6	0,12	22,7
	T	18,5	0,02	21,5	22,6	0,04	23,1	24,8	0,04	23,9
	Promedio	20,4	0,07	20,8	21,6	0,09	21,8	22,8	0,06	23,1
Reg. Eq	y = 0,2315x - 4,6526 R ² = 0,0521			y = 0,2707x - 5,8508 R ² = 0,077			y = 0,2083x - 4,8694 R ² = 0,0423			
Santiago	J	20,7	0,06	21,3	21,9	0,10	21,9	23,4	0,12	23,5
	K	22,2	0,11	22,2	23,3	0,17	23,3	24,1	0,08	24,2
	L	21,4	0,07	22,3	23,6	0,21	23,5	25,0	0,15	24,6
	M	19,7	0,01	20,8	19,4	0,01	22,1	23,6	0,13	23,7
	N	N/A	0,002	21,3	22,3	0,01	22,9	29,1	0,01	24,2
	OP	19,5	0,01	21,6	21,9	0,02	22,2	24,1	0,08	24,1
	Q	23,3	0,06	22,3	24,1	0,02	23,0	23,8	0,21	23,9
	R	22,7	0,03	22,9	22,3	0,02	22,7	29,0	0,0002	23,4
	S	19,9	0,01	22,7	22,9	0,01	23,2	24,0	0,01	24,2
	Promedio	21,2	0,04	21,9	22,4	0,07	22,7	25,1	0,09	24,0
	Reg. Eq	y=0,2072x - 4,3502 R ² = 0,0438			y=0,2506x - 5,6422 R ² = 0,0449			y=0,3306x - 7,9919 R ² = 0,0754		

N/A: El valor dado no es coherente; T_{nreg}: Temperatura neutral utilizando el método de regresión simple; R²: Coeficiente de determinación por el método de regresión simple; T_n: Temperatura neutra por el método de Griffiths; Reg. Eq: Ecuación de regresión.

Como era de esperar, en ambas ciudades la T_n media aumenta de forma consistente de invierno a verano, en más de 1°K por estación. Además, la diferencia entre las temperaturas neutras de ambas ciudades es de 0,9°K. La T_n varía claramente durante una estación determinada: en invierno entre 19,5°C y 22,8°C entre los distintos casos, en primavera entre 20,9°C y 23,6°C, y en verano entre 21,6°C y 24,7°C. De los dos métodos utilizados se seleccionó el método de Griffiths para el

siguiente paso del análisis debido al bajo coeficiente de determinación y a la falta de resultados obtenidos en algunos casos con el método de regresión simple.

3.1.6. Temperatura preferida

En las Figuras 14 y 15 se comparan las temperaturas de confort y de preferencia obtenidas con la temperatura operativa media en el momento de las encuestas (T_{op}). T_{pref} es la temperatura operativa media considerando sólo los votos $TP = 0$, y T_n es la temperatura neutra obtenida mediante el método de Griffiths. En la Figura 14, que compara los casos de Concepción y Santiago, T_{pref} y T_n aumentan a lo largo del año, aunque T_n es considerablemente menor que T_{pref} en invierno y mayor en verano.

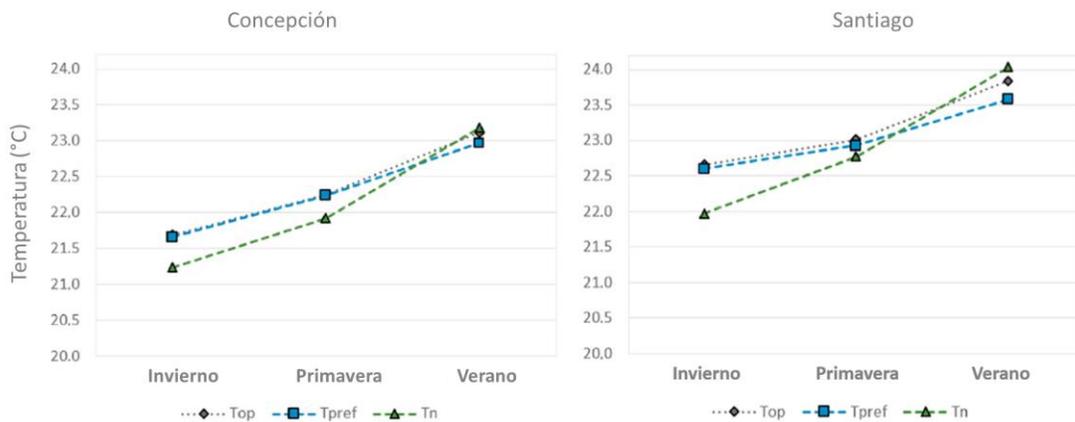


Figura 14: Comparación de temperaturas neutrales y de preferencia en Concepción y Santiago.

Es importante destacar que en todos los casos la T_{pref} es bastante similar a la T_n , con la única diferencia de una disminución de la T_{pref} en verano. A pesar de mostrar diferencias, el T_n también puede considerarse similar al T_{op} y al T_{pref} durante todo el año, lo que podría indicar que la oficina Los usuarios del edificio se adaptan más de lo esperado a la temperatura operativa del edificio.

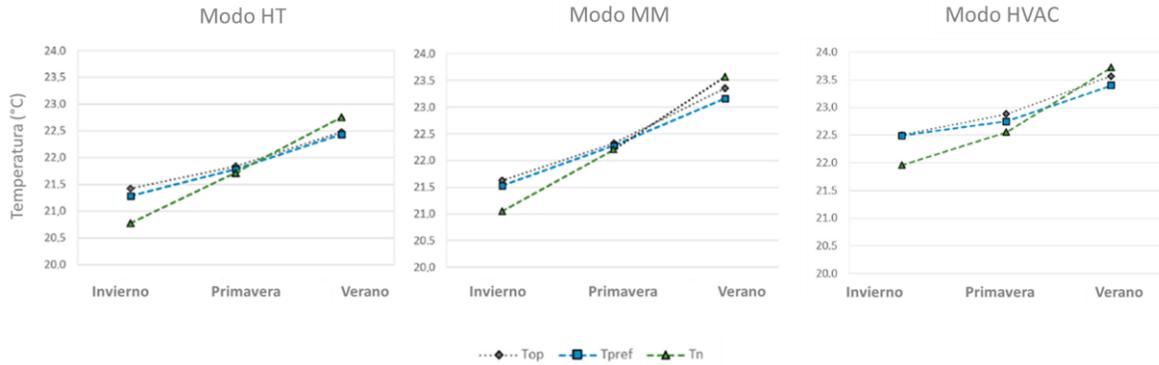


Figura 15: Comparación de temperatura neutra, preferida y operativa de edificios HT, MM y HVAC.

La Figura 15 muestra una comparación similar, pero diferenciando los tres modos de funcionamiento de los casos de estudio. Se observa una fuerte relación entre T_{pref} y T_{op} en todos los modos: HVAC, $\rho = 0,995$, 95% BCa IC [0,987, 0,997]; MM, $\rho = 0,973$, 95% BCa IC [0,941, 0,983]; y HT, $\rho = 1$, aunque esta última cifra podría verse afectada por el bajo número de casos en modo HT. La misma relación fuerte se da en Concepción, $\rho = 0,896$, 95% BCa IC [0,824, 0,948], y Santiago $\rho = 0,979$, 95% BCa CI [0,987, 0,997] (todos los ps < 0,001). La correlación fue más fuerte entre T_{pref} y T_{op} que entre T_{pref} y T_n , corroborando así la adaptabilidad del usuario al Top en términos de preferencia térmica. Por otra parte, existe una correlación más fuerte entre T_n y la temperatura exterior T_{out} que entre T_n y la temperatura operativa interior T_{op} .

3.1.7. Resultados en relación con las normas

En las Figuras 16 y 17 se comparan los promedios de T_n y T_{pref} obtenidos en cada uno de los casos de estudio para cada una de las estaciones del año con los rangos de confort definidos en la norma nacional TDRé y en la norma ASHRAE 55, que es la norma de referencia para el sistema de Certificación de Edificios Sustentables de Chile. Sin embargo, los datos se analizan sólo con respecto a las normas nacionales. La Figura 16 muestra los resultados comparados con el método adaptativo y la Figura 17 los muestra en comparación con el método de estado estacionario definido en ambas normas. El método adaptativo se aplica a los edificios HT y MM en primavera y verano, cuando los ocupantes tienen la

oportunidad de abrir las ventanas y permitir que se produzca la ventilación natural; mientras que el método de estado estacionario se aplica a los edificios HT y MM en invierno, cuando tienen calefacción y las ventanas están cerradas, y a los edificios HVAC en todas las estaciones.

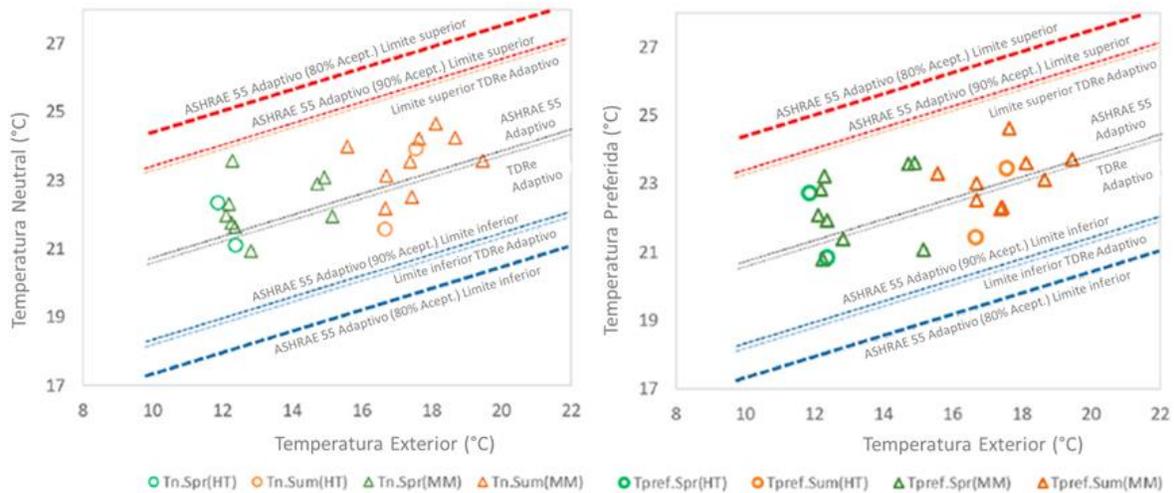


Figura 16: Relación entre temperatura neutra y preferida según estándares de confort con método adaptativo.

La Figura 16 muestra que el rango de confort definido por el TDRé casi coincide con el rango ASHRAE 55 para una aceptabilidad del 90%. Tanto la media de T_n como de T_{pref} en primavera y verano parecen estar completamente dentro de ese rango de confort del 90% de aceptabilidad definido por ambas normas, indicando así que el método adaptativo se aplica a los datos derivados de los estudios de campo en todos los casos. Las ecuaciones de confort derivadas de los datos son:

$$T_n = 0,28 T_{out} + 18,5 \quad R^2 = 0,427$$

$$T_{pref} = 0,2 T_{out} + 19,6 \quad R^2 = 0,237$$

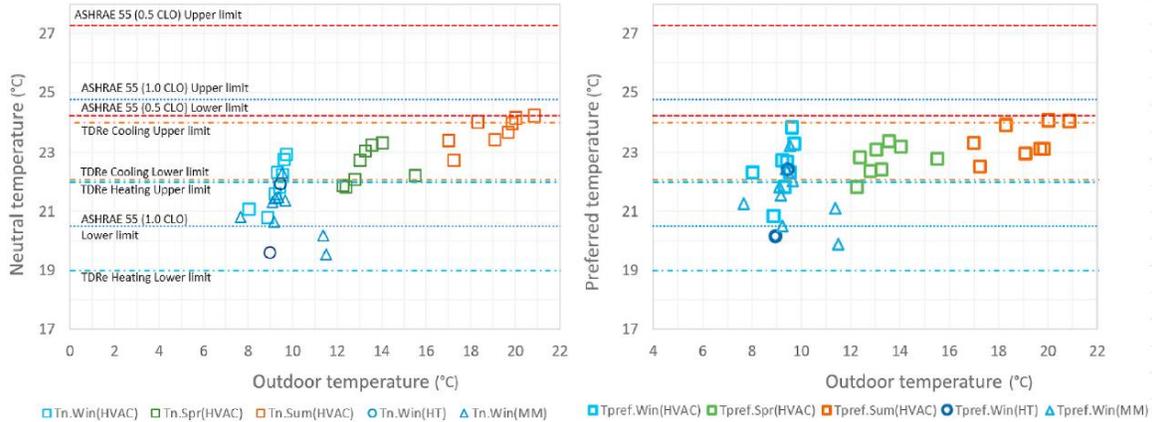


Figura 17: Análisis de temperatura neutra y preferida según estándares de confort con método del estado estacionario.

En invierno, la Figura 17 muestra que la T_n y la T_{pref} de los edificios HVAC se mantienen dentro del rango de confort ASHRAE 55 (1,0 Clo), aunque hay algunos casos de edificios HT y MM que están por debajo del rango. Estos resultados sugieren que el límite inferior de ASHRAE 55 (norma CES) es demasiado alto en relación con la sensación térmica de los ocupantes y la preferencia derivada de los estudios de campo. En cuanto a la norma TDRé, los valores de T_n y T_{pref} de los casos en todos los modos de funcionamiento están por encima del rango de confort térmico, especialmente en los edificios HVAC, lo que sugiere que el límite superior de esta norma es demasiado bajo en relación con la sensación y las preferencias de los ocupantes.

En verano, casi todos los valores de T_n y T_{pref} se mantienen por debajo del rango de ASHRAE 55 para 0,5 Clo. Esto indica que los ocupantes prefieren temperaturas más bajas que las definidas por la norma. En cambio, los valores se ajustan bien al rango definido por la norma TDRé para la refrigeración. La diferencia de rangos de confort en verano entre ambas normas plantea la cuestión de si hay que priorizar el confort de los ocupantes o la eficiencia energética. El rango de confort más bajo del TDRé privilegiaría el confort de los ocupantes según estos resultados, mientras que el rango de confort más alto del ASHRAE 55 priorizaría la eficiencia energética.

3.2. Entendiendo la productividad percibida en relación con entorno térmico

La caracterización general de los participantes mostró que permanecían en sus espacios de trabajo aproximadamente el 90,0% de la jornada laboral. Por tanto, se puede decir que los ocupantes son conscientes de la realidad de sus oficinas. Esto difiere en gran medida con Akimoto et al. (2010) que sugiere que los trabajadores de oficina pasan el 40,0% del día en sus espacios de trabajo. Se comprobó que la actividad metabólica predominante era la "sentada activa" acompañada de breves movimientos. La tasa metabólica media fue de 1,25 MET, lo cual es de esperar según las normas ASHRAE 55 (2017) e ISO 8996 (2005), ya que la mayor parte del tiempo los trabajadores de oficina realizan tareas administrativas sedentarias y sus funciones requieren principalmente la destreza de las extremidades superiores. La mayoría de los trabajadores de las organizaciones estudiadas no tenían un código de vestimenta explícito. Sin embargo, se observó una vestimenta informal con una media de 0,89, que corresponde a la "ropa de trabajo ligera". La actividad metabólica y otros datos de caracterización para el invierno y el verano pueden verse en la Tabla 12.

Tabla 10: Caracterización general de los ocupantes

	Invierno	Verano
Edad Predominante 26-45 años (% de ocupantes)	66,1	65,8
Votos Hombre/Mujer	930/922	840/859
Actividad Metabólica (MET) promedio	1,25	1,24
Vestimenta (CLO) promedio	0,89	0,66
Permanencia en el puesto (% del día)	90,7%	88,6%

La vestimenta de los ocupantes de oficinas fue similar por ciudad, con una diferencia entre invierno y verano de 0,26 clo para Concepción y 0,21 clo para Santiago. La variación estacional observada en ambas ciudades se relaciona con una disminución de la aislación para mejorar el confort térmico individual. La silla de

trabajo estándar era del tipo escritorio o ejecutiva convencional con una aislación estimada de 0,15 clo en el asiento y respaldo.

3.2.1. Percepción del ambiente térmico

De acuerdo con la normativa y al ser Chile un país altamente sísmico, los dieciocho casos examinados tienen estructuras de edificios basadas en sistemas constructivos de hormigón armado. El porcentaje de acristalamiento de cada envolvente difiere según el diseño individual.

Tabla 11: Sensación térmica media y temperaturas medias de invierno y verano

Características de los edificios				Invierno (promedio)			Verano (promedio)		
Ciudad	Caso	Modos de Acondic.	Ventanas Operables	TS	Temp. Operat. (°C)	Temp. Exter.(°C)	TS	Temp. Operat.(°C)	Temp. Exter.(°C)
Concepción (CCP)	A	HT	Si	0,35	20,3	10,2	-0.13	21,5	15,2
	B	MM	Si	0,35	20,2	9,0	0.30	22,8	16,2
	C	MM	Si	0,29	20.80	9,4	-0.09	22,4	15,5
	D	MM	Si	-0,53	20,7	4,3	0.09	23,3	14,4
	E	MM	Si	0,53	21,7	8,7	-0.51	22,5	16,5
	F	HVAC	Si	0,48	22,8	11,6	0.06	23,5	17,5
	G	MM	Si	0,35	21,5	5,5	0.20	24,5	16,9
	H	HT	Si	0,29	22,5	10,3	-0.24	23,4	15,9
	I	HVAC	Algunas*	0,66	22,4	8,1	-0.07	22,6	16,1
	Promedio				0.31	21,4	8,6	-0.04	22,9
Santiago (SCL)	J	MM	Si	0.13	21.70	5.74	0.17	23,9	15,3
	K	HVAC	No	-0.07	22.10	6.53	0.05	24,4	21,3
	L	MM	Si	0.57	23.40	6.97	-0.41	23,7	16,2
	M	HVAC	Algunas*	0.10	21.00	7.74	-0.21	23,3	17,8
	N	MM	Si	0.31	22.00	7.38	-0.51	23,2	18,9
	OP	HVAC	No	0.56	22.80	7.76	0.04	24,1	16,6
	Q	HVAC	No	-0.34	21.70	8.43	-0.33	23,3	14,9
	R	HVAC	No	0.18	23.30	9.54	-0.19	23,0	15,6
	S	HVAC	No	0.59	24.00	8.52	0.05	24,3	19,9
	Promedio				0.23	22.44	7.62	-0.15	23,7

*Aunque algunas de las ventanas del edificio son operables, generalmente no se abren debido a las políticas de la organización y otras razones. HT: Naturalmente ventilada sólo calefacción; MM: Modo mixto; HVAC: Calefacción, ventilación y aire acondicionado.

Las características del edificio que afectan a la percepción del ambiente térmico pueden verse en la Tabla 13. El 68,1% de los votos de sensación térmica se concentraron entre "ligeramente frío" y "ligeramente cálido", con una media de 0,12. La preferencia térmica media fue de -0,16 en la misma escala (Tabla 13), y el 48,3% de los ocupantes no expresó ningún deseo de cambiar su condición térmica. En cuanto a la aceptabilidad térmica, el 89,3% consideró que las condiciones térmicas eran adecuadas. Es decir, los ocupantes muestran un alto grado de satisfacción con sus espacios de trabajo, lo que coincide con otros estudios de edificios de oficinas (Rijal et al., 2017).

En cuanto al análisis de las temperaturas operativas en los edificios, en Concepción el promedio en invierno fue de 21,4 °C y en verano de 22,9 °C. En cambio, en Santiago la temperatura operativa promedio de 22,4 °C en invierno y 23,7 °C en verano. Considerando todos los edificios estudiados, se encontró que el rango de temperaturas neutras era de 19,5 °C a 24,6 °C y el rango de temperaturas preferidas, de 19,9 °C a 24,6 °C (Trebilcock et al., 2020). Las condiciones térmicas observadas en las oficinas se ajustan a la norma ASHRAE 55 (2013) y a la ISO 15251 (2008) para la ocupación humana en invierno. Sin embargo, en verano en algunos casos en Concepción se encontraron temperaturas ligeramente por debajo de los estándares recomendados para 0,5 clo. La variación de la temperatura entre las dos ciudades puede explicarse por sus diferentes climas y por el efecto de la historia climática a largo plazo de los ocupantes (Wu et al., 2020). Los edificios de Santiago tienen en su mayoría sistemas de acondicionamiento mecánico, a diferencia de los de Concepción, donde son en su mayoría de funcionamiento libre. Los ocupantes declararon una sensación térmica prácticamente neutra para temperaturas operativas que están por encima y por debajo del límite inferior del rango recomendado por las normas (Wagner et al., 2007). Esta sensación de bienestar o placer hedónico por parte de los ocupantes está vinculada a frecuentes experiencias de confort, lo que parece razonable en estos casos e implica condiciones de productividad adecuadas (Anderson & French, 2010).

Existe una mayor dispersión de las respuestas de sensación térmica en verano que en invierno en ambas ciudades (Tabla 10). Esto contrasta con los resultados retrospectivos (Fig. 18). Las respuestas retrospectivas sobre el nivel de confort de los ocupantes en invierno y verano se compararon con los recuerdos de los participantes sobre las temperaturas percibidas durante las mismas estaciones.

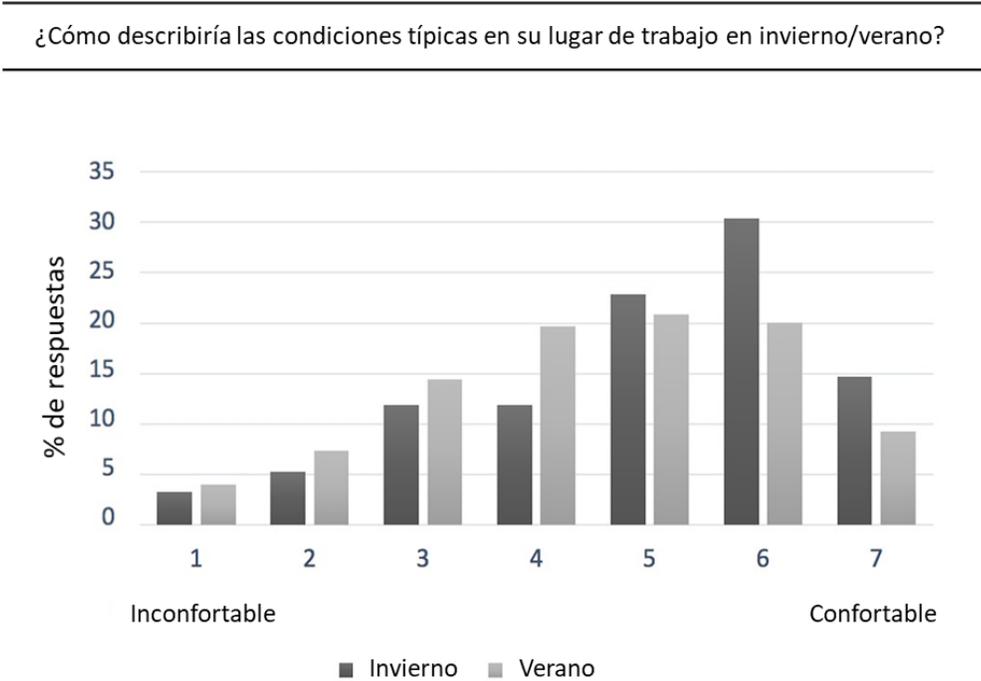


Figura 18: Confort retrospectivo percibido en el espacio de trabajo.

Como muestra la Figura 18, los ocupantes perciben un nivel de confort ligeramente superior en invierno que en verano. Esto sugiere que existen oportunidades para mejorar el diseño y la gestión de las estrategias de acondicionamiento ambiental. No obstante, hay que tener en cuenta que en verano hay diferencias con respecto al invierno debido a las condiciones estacionales, como el impacto de las vacaciones y las fluctuaciones de la carga de trabajo, entre otras. Las situaciones específicas varían según la organización. Por ejemplo, en algunos edificios se observó que las actividades en las oficinas del sector público disminuyeron, mientras que en las empresas de ingeniería, construcción y transporte aumentaron.

3.2.2. Comportamiento y adaptación en el espacio de trabajo

En los dieciocho edificios de oficinas, las condiciones ambientales son muy similares, con criterios organizativos centrados en evitar la incomodidad, criterios técnicos que favorecen los sistemas mecánicos y una participación humana cada vez menor en el control de las condiciones ambientales. Hubo muchos casos de conflicto entre los ocupantes que implicaban el control de los sistemas de aire acondicionado, las ventanas, los ventiladores, las calefacciones, el control remoto de los equipos, los termostatos, las cortinas y similares. Cada uno de los edificios tiene políticas diferentes para el funcionamiento de los elementos de acondicionamiento térmico, lo que afecta a los espacios de trabajo. Sin embargo, hay que tener cuidado, ya que unas políticas organizativas rígidas de ahorro energético pueden generar un efecto rebote basado en el uso de elementos personales de acondicionamiento térmico que los trabajadores introducen en el entorno de la oficina (de Dear et al., 2013).

En sí mismo, cada comportamiento o acción adaptativa realizada por un individuo podría entenderse como una distracción de sus tareas laborales. Por lo tanto, adecuar el diseño y la gestión del entorno de trabajo a las necesidades de los empleados es esencial para obtener la mayor contribución de los trabajadores hacia los objetivos de la organización (Heydarian et al., 2020). Por otra parte, desde la perspectiva del bienestar eudaimónico, un mayor control personal del espacio de trabajo permite a los ocupantes alcanzar el confort a través de la adaptación, y al mismo tiempo la autorrealización, ya que los trabajadores sienten que las condiciones térmicas son adecuadas y les permiten funcionar plenamente (Anderson & French, 2010). En este caso, la autonomía que proporciona un espacio de trabajo tiene un efecto positivo en la productividad.

El grado de control, es decir, la posibilidad que tienen los ocupantes de accionar los elementos de control térmico del entorno, según la encuesta transeccional, se muestra en la Tabla 14. La ausencia de elementos como lámparas, ventiladores y

calefactores individuales en más del 60,0% de los casos apunta a políticas organizativas restrictivas. No obstante, como se muestra en la Tabla 15, los resultados indican que los ocupantes dan la mayor importancia a disponer de este tipo de elementos específicos de acondicionamiento en sus espacios de trabajo, lo que coincide con Brager et al. (2004) que destacan la importancia del control de los ocupantes.

Tabla 12: Grado de control sobre el acondicionamiento ambiental del espacio de trabajo.

¿Qué nivel de control personal tiene sobre los siguientes elementos de su puesto de trabajo?							
Elementos de acondicionamiento ambiental	Sin control	Porcentaje de respuestas (%)					Total control
	1	2	3	4	5	6	7
Ventana	21,2	1,9	3,3	6,0	3,7	5,2	15,4
Cortinas o persianas	12,8	6,1	5,2	6,7	6,9	6,7	28,0
Puerta	17,5	3,7	4,9	4,3	4,3	4,1	12,0
Lampara personal	12,7	0,8	0,6	1,2	0,4	0,6	5,1
Luces generales	32,7	6,2	6,8	8,9	5,2	3,3	9,5
Ventilador personal	10,8	1,4	0,6	1,0	0,6	1,0	10,8
Ventilador compartido	13,4	3,5	3,5	5,1	3,3	1,8	4,3
Calefactor personal	9,4	1,6	0,6	0,8	0,4	0,4	6,1
Calefactor compartido	16,6	3,9	3,3	6,1	3,5	2,9	5,5
Termostato	24,7	5,1	7,3	10,5	6,1	3,0	7,9

Tabla 13: Nivel de importancia del control de los elementos condicionantes del entorno de trabajo

¿Qué importancia tiene para usted el control de los siguientes elementos en su entorno de trabajo?							
Elementos de acondicionamiento ambiental	No importante	Porcentaje de respuestas (%)					Muy importante
	1	2	3	4	5	6	7
Ventana	16,6	3.1	7.5	7.5	8.7	8.7	26.2
Cortinas o persianas	13,1	5.4	5.2	10.2	12.5	9.1	29.5
Puerta	19,7	5.7	6.6	7.6	6.3	5.7	16.0
Lampara personal	15,6	3.9	3.7	4.1	3.4	3.2	9.9
Luces generales	20,4	7.9	10.1	11.5	10.5	8.7	16.2
Ventilador personal	12,4	3.4	3.0	4.8	3.8	3.6	16.4

Ventilador compartido	12,6	4.4	6.0	6.8	7.2	6.8	8.8
Calefactor personal	13,0	3.8	2.2	5.6	3.2	4.0	10.8
Calefactor compartido	14,0	4.0	5.6	7.4	9.2	6.4	10.8
Termostato	14,3	5.8	6.2	13.3	13.3	10.1	15.7

El grado de control de los ocupantes sobre los elementos y la importancia relativa entre ellos son evidentes, lo que coincide con André et al. (2020). En los casos en que los elementos están presentes, se da mayor importancia al control sobre las ventanas y las persianas o cortinas (26,2% y 29,5% respectivamente), mientras que se da menor importancia al control sobre la iluminación general y las puertas (20,4% y 19,7% respectivamente). El nivel de satisfacción de los ocupantes con el grado de control puede verse en la Tabla 16. En la evaluación retrospectiva, sólo el 7,4% de los ocupantes declararon estar muy satisfechos con el grado de control que tienen sobre el entorno térmico de su espacio de trabajo. Estos resultados demuestran que los ocupantes desean oportunidades de adaptación y que éste es un área que debe estudiarse más a fondo. Por ejemplo, Marín-Restrepo et al. (2020) contrastaron las oficinas individuales y compartidas observando diferentes acciones adaptativas y rangos de confort.

Tabla 14: Satisfacción de los ocupantes con el grado de control

En general, ¿cómo está usted satisfecho con el grado de control de ambiente interior en su oficina?						
Muy insatisfecho	Porcentaje de respuestas (%)					Muy satisfecho
1	2	3	4	5	6	7
8,9	8,9	14,5	26,2	18,3	15,9	7,4

Sin embargo, también se observó que el número de ocupantes en una oficina afecta al control percibido, lo que coincide con los hallazgos de Schweiker y Wagner (2016). En esta investigación, los cambios de comportamiento se identificaron en los registros de las acciones adaptativas reportadas por los ocupantes en sus espacios de trabajo. En las evaluaciones retrospectivas y transeccionales, los ocupantes reconocen el efecto del ambiente térmico en la productividad, ya sea por el acceso, el control o el uso relativo de las características de acondicionamiento

térmico, incluyendo ventanas, persianas, ventiladores, luces y sistemas de calefacción y refrigeración. Esto está en consonancia con Nicol y Roaf (2005), y Haldi y Robinson (2010), que mencionan que mediante el funcionamiento de estos elementos se pueden obtener las condiciones interiores deseadas. Cuando están bien pensadas, estas características del diseño de las oficinas también contribuyen a mejorar el rendimiento de los trabajadores (Vischer, 2017).

3.2.3. El efecto de la "normalidad laboral" en los ocupantes

Se pidió a los ocupantes que evaluaran su productividad transeccional percibida en relación con las condiciones ambientales térmicas de sus espacios de trabajo. Sus respuestas se compararon intrínsecamente con otros días de trabajo y tuvieron en cuenta sus actividades habituales y los factores de estrés cotidianos y frecuentes. Los resultados se muestran en la Tabla 17, donde "normal" corresponde a esta condición habitual asumida intrínsecamente por los ocupantes en el desempeño de sus funciones. No se observaron variaciones importantes entre Santiago y Concepción, ni en invierno ni en verano. Considerando todos los datos, la productividad media fue de +0,03, con una desviación estándar de 0,53. Estos resultados son similares a los reportados por Humphreys y Nicol (2007). Además, parecen alinearse con el concepto de confort funcional de Vischer y Wifi (2017), en el que las percepciones de confort de los ocupantes se fundamentan en el uso que hacen de los elementos de acondicionamiento térmico de sus espacios de trabajo, junto con el conocimiento de sus puestos de trabajo y las condiciones esenciales para sus funciones.

Tabla 15: Distribución de votos transeccionales de productividad percibida por los ocupantes

Basándose en su autoevaluación y según las condiciones del entorno, ¿qué opina de su productividad actual en su lugar de trabajo?	%
Mucho menos que lo normal (-2)	0,8
Un poco menos que lo normal (-1)	8,4
Normal (0)	81,0
Un poco más de lo normal (+1)	8,5
Mucho más que lo normal (+2)	1,8
Total	100,0

Dado que el confort térmico es una evaluación mental, si se consideran las condiciones térmicas y la adaptación del espacio de trabajo descritas anteriormente, las respuestas transeccionales dadas en el contexto de la normalidad laboral percibida pueden asociarse a una cierta resiliencia mental o reserva cognitiva que permite la aceptación psicológica de la variación de las condiciones ambientales, siempre que estas sean moderadas. Este concepto utilizado por F. Zhang et al. (2019) reconoce que los ocupantes de los edificios poseen una capacidad de amortiguación, con poco o ningún efecto perjudicial en su trabajo, pero con límites que dependen de la situación de cada persona. En este estudio, las condiciones térmicas no interfieren significativamente en las puntuaciones transeccionales de productividad percibida de los oficinistas. Estos resultados parecen indicar una ligera incomodidad que afecta a los trabajadores, y coinciden con Akimoto et al. (2010) y Oliveira et al. (2015).

Sin embargo, si esta reserva cognitiva incluye oportunidades de ajuste y control, implica que los ocupantes de los edificios de oficinas pueden no expresar un malestar térmico menor, ya que pueden estar sujetos a responsabilidades u obligaciones laborales. Sin embargo, cuando las condiciones térmicas son inadecuadas, el trabajador se distrae por su malestar. Es entonces cuando su enfoque y objetivos inmediatos cambian Wyon y Wargocki, (2006). Es decir, la reserva cognitiva puede considerarse parte de la normalidad laboral. Realizar ajustes en las condiciones térmicas, por mínimos que sean, no sólo puede disminuir la productividad, afectando así al trabajador, sino también a los demás que le rodean, por ejemplo cuando se negocia el control térmico (Schweiker & Wagner, 2016).

En este sentido, respecto a la influencia del ambiente térmico en la productividad percibida, el 71,2% de los ocupantes declaró en la evaluación retrospectiva que la temperatura en su espacio de trabajo afecta al ambiente térmico, el 22,0% indicó que es perjudicial para su estado de ánimo; el 19,1% que provoca enfermedades; y

el 13,4% que aumenta la cantidad de tiempo perdido en acciones para mejorar el confort térmico. Al mismo tiempo, el 8,7% informó de que la temperatura aumenta la frecuencia de las dolencias, el 5,1% indicó que afecta negativamente a su compromiso con el trabajo y el 2,9% afirmó que aumenta su absentismo. Para priorizar los factores ambientales, se pidió a los ocupantes que clasificaran retrospectivamente la influencia de los parámetros ambientales en la productividad. La Tabla 18 muestra cómo la temperatura tuvo prioridad, ya que se clasificó en primer lugar.

Tabla 16: Influencia de los parámetros ambientales en la productividad en invierno/verano

¿Qué parámetros crees que afectan más a tu productividad en tu lugar de trabajo en invierno/verano?		
Parámetros	Invierno	Verano
Temperatura (T)	45.9%	51.1%
Ruido (N)	25.8%	25.0%
Calidad del aire interior (IAQ)	15.2%	14.5%
Deslumbramiento (G)	3.6%	5.4%
Iluminación (L)	9.5%	4.0%

Para verificar estos resultados, se preguntó a los participantes sobre el grado de influencia de estos parámetros en la productividad autodeclarada (Tabla 19). Los resultados indican mayor frecuencia de respuestas para la temperatura y el ruido con un alto grado de influencia (T: 30,2%, N: 27,9%), mientras que el resto de parámetros tienen un grado de influencia moderado (IAQ: 30,6%, G: 31,5%, L: 32,7%). Sin embargo, hay que tener cuidado, ya que el ruido puede distorsionar el efecto del confort térmico en los ocupantes (Pellerin & Candas, 2003; Tiller et al., 2010; Yang, 2017).

Tabla 17: Grado de influencia de los parámetros en la productividad

¿Qué influencia tienen los siguientes parámetros en su productividad?						
Parámetros	Porcentaje de respuestas (%)					
	Sin influencia	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto	Muy alto
Temperatura (T)	3,8	6,5	11,9	27,3	30,2	20,3
Ruido (N)	6,4	4,7	14,8	23,4	27,9	22,8
Calidad del aire interior (IAQ)	3,7	7,0	13,0	30,6	28,7	17,1
Deslumbramiento (G)	11,2	11,0	21,8	31,5	16,0	8,5
Iluminación (L)	7,6	7,4	15,0	32,7	27,3	9,8

En línea con Haapakangas et al. (2018), las distracciones en la oficina son esencialmente demandas ambientales que pueden producir efectos negativos adicionales. Además, la insatisfacción ambiental puede influir en las actitudes de los trabajadores hacia los cambios en las condiciones, lo que afecta a la percepción del entorno térmico e influye en la productividad autoevaluada de los ocupantes de la oficina.

En la evaluación retrospectiva, los ocupantes estimaron el grado en que su productividad aumenta o disminuye debido a las condiciones ambientales térmicas. Como puede verse en la Figura 9, el 42,5% de los participantes cree que su productividad aumenta entre el 10,0% y el 40,0%, y el 38,6% afirma que su productividad disminuye entre el 10,0% y el 40,0% debido a las condiciones ambientales térmicas.

Respecto a la evaluación retrospectiva de la productividad global percibida por los trabajadores durante los doce meses anteriores a la recogida de datos, se observa que los encuestados sí reconocen que las condiciones ambientales térmicas de sus puestos de trabajo tienen un efecto positivo sobre su productividad, lo que coincide con la mayoría de los estudios sobre el tema (Al Horr et al., 2016; A. Leaman & Bordass, 2001; Lipczynska et al., 2018).

No obstante, para evaluar cuán relacionadas están las respuestas de productividad transeccionales y retrospectivas, se analizaron las respuestas del cuestionario retrospectivo de 240 participantes, ya que estos fueron los ocupantes que permanecieron constantemente en sus espacios de trabajo.

En la Tabla 20 se observa que la mayoría de los participantes que declararon su productividad como "normal" en la encuesta transeccional afirmaron una mayor productividad en la evaluación retrospectiva. Es decir, los ocupantes tienden a evaluar su productividad diaria en un marco de normalidad. Sin embargo, esta normalidad se traduce en una percepción positiva de la productividad en una evaluación retrospectiva.

Tabla 18: Productividad retrospectiva vs Productividad transeccional (n=240)

Número de respuestas			Productividad Transeccional					Total
			-2	-1	0	1	2	
			Mucho más que lo normal	Un poco menos que lo normal	Normal	Un poco más que lo normal	Mucho más que lo normal	
Productividad Retrospectiva	-4	Disminuido en 40% o más	0	0	3	0	0	3
	-3	Disminuido en 30%	0	1	10	0	1	12
	-2	Disminuido en 20%	0	5	29	0	0	34
	-1	Disminuido en 10%	0	5	30	0	0	35
	0	No se ve afectada (0%)	0	1	37	1	1	40
	1	Aumentado en 10%	0	2	27	1	0	30
	2	Aumentado en 20%	0	0	43	1	1	45
	3	Aumentado en 30%	0	1	23	3	0	27
	4	Aumentado en 40% o más	0	0	14	0	0	14
	Total		0	15	215	6	3	240

Esta diferencia en la opinión de los participantes puede deberse a una mejor comprensión de una percepción inicial, que llega con el tiempo. Antes de asignar un valor absoluto, las percepciones deben ser procesadas por la mente para ser completadas. Una evaluación transeccional puede no ser la mejor manera de

determinar la productividad percibida por los ocupantes, si no se complementa con una evaluación retrospectiva.

3.2.4. Relación entre productividad percibida transeccional y retrospectiva

La modelización de ecuaciones estructurales se ha utilizado cada vez más para examinar a las personas y los aspectos del entorno construido con el fin de evaluar las relaciones de múltiples variables entre sí. El análisis contrastó las percepciones de los ocupantes a lo largo del tiempo en las evaluaciones transeccionales y retrospectivas mediante un modelo de ecuaciones estructurales de la productividad autodeclarada y el efecto del entorno térmico.

Teniendo en cuenta que tanto las mediciones transeccionales de productividad percibida como las retrospectivas son ordinales, se calculó el coeficiente de correlación de Spearman. El valor rho obtenido fue de 0,192, con un valor p de 0,14, lo que confirma que existe una relación positiva (aunque débil) y estadísticamente significativa. Esto puede implicar que no existe tal relación entre las respuestas transeccionales de productividad percibida y las retrospectivas. Sin embargo, el reducido número de respuestas utilizadas y la diversidad de organizaciones de las que se obtuvieron pueden dar lugar a una relación débil entre las respuestas de productividad percibida. No obstante, no debe asumirse necesariamente que existe una relación débil o inexistente entre las variables, ya que la correlación es pequeña (Bland & Altman, 2011), por lo que estos resultados deben tomarse con precaución. Dado lo anterior, se empleó un análisis categórico de componentes principales utilizando diagramas de dispersión con elipses de confianza del 95,0% para invierno y verano para examinar la dependencia de las respuestas transeccionales de productividad percibida; la temperatura operativa por la mañana, al mediodía y por la tarde; y las respuestas retrospectivas de productividad percibida. Para ello, los datos sobre la temperatura operativa se agruparon cada 0,5 °C para obtener conjuntos de datos ordinales. Los gráficos de elipse de confianza del 95,0% presentados en las Figuras 19 y 20 ilustran los resultados. La ubicación de las variables se representa geométricamente identificando cada variable con un vector,

y la no asociación de dos variables se muestra mediante la ortogonalidad entre los vectores correspondientes. En invierno, las dos evaluaciones de la productividad percibida están próximas entre sí y su posición relativa en ángulo recto difiere, lo que indica una relación entre estas variables; esto no ocurre en verano. Por otra parte, en todos los casos analizados la temperatura operativa queda fuera de esta relación.

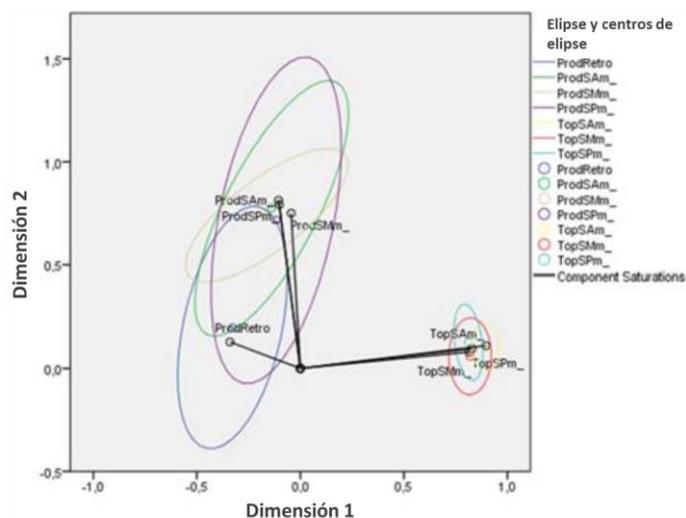


Figura19: Análisis de componentes principales con un 95,0% de confianza elipses en invierno.

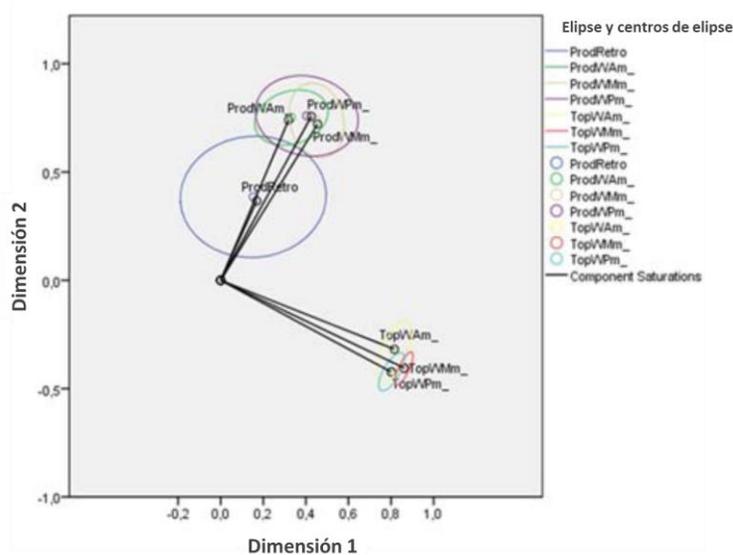


Figura 20: Análisis de componentes principales con un 95,0% de confianza elipses en verano.

Esto puede interpretarse como la ausencia de dependencia de la productividad percibida con respecto a la temperatura. Sin embargo, no es fácil medir el efecto del

ambiente térmico en el rendimiento humano, especialmente cuando existen diferencias y complejidades propias del trabajo realizado en cada organización. Esta investigación es coherente con F. Zhang et al. (2019), ya que, aunque existen patrones de trabajo, condiciones térmicas, metabolismo y vestimenta similares en los edificios estudiados, también hay otras variables relacionadas con tareas específicas en contextos particulares que no pueden explicarse adecuadamente en la actualidad, y la adopción de enfoques reduccionistas puede llevar a conclusiones incorrectas.

El análisis muestra que las variables están efectivamente correlacionadas según la rho de Spearman, como se muestra en las Tablas 21 y 22. Es decir, en invierno es evidente que existe efectivamente una relación entre las valoraciones de productividad percibidas, mientras que en verano no es así, salvo al mediodía. Sin embargo, no se puede afirmar que los resultados no significativos impliquen que no haya ningún efecto. Esto podría deberse a las dificultades de medición en verano debido al sesgo de las variables omitidas. Por ello, es una oportunidad para futuras investigaciones, que pueden mejorar relaciones. La percepción térmica transeccional en verano influye negativamente en la productividad percibida transeccionalmente en verano ($r = -0,329$).

Tabla 19: Correlaciones de invierno de productividad percibida transeccional y productividad percibida retrospectiva.

Correlaciones de invierno			Productividad Retrospectiva
Rho de Spearman Transeccional Productividad	Invierno – mañana	Coeficiente de correlación	0.260**
		Sig. (bilateral)	0.000
		N	240
	Invierno - mediodía	Coeficiente de correlación	0.166*
		Sig. (bilateral)	0.010
		N	240
	Invierno - tarde	Coeficiente de correlación	0.298**
		Sig. (bilateral)	0.000
		N	240

** la correlación es significativa al nivel 0,01 (2 colas)

* la correlación es significativa al nivel 0,05 (2 colas)

Tabla 20: Correlaciones de verano de la productividad percibida transeccional y la productividad percibida en retrospectiva

Correlaciones de verano		Productividad Retrospectiva	
Rho de Spearman Transeccional Productividad	Verano - mañana	Coefficiente de correlación	0.120
		Sig. (bilateral)	0.630
		N	240
	Verano - mediodía	Coefficiente de correlación	0.166**
		Sig. (bilateral)	0.009
		N	240
	Verano- tarde	Coefficiente de correlación	0.057
		Sig. (bilateral)	0.381
		N	240

** la correlación es significativa al nivel 0,01 (2 colas)

Además, la percepción térmica retrospectiva en invierno influye directamente en la productividad percibida retrospectiva ($r=0,165$). Asimismo, la productividad percibida transeccionalmente en invierno influye directamente en la evaluación retrospectiva de la productividad percibida ($r=0,259$). En el modelo surgen dos relaciones importantes: en primer lugar, la influencia de la percepción térmica transeccional sobre la productividad percibida transeccionalmente en ambas estaciones tiene un efecto mínimo sobre la productividad percibida retrospectivamente. En segundo lugar, se produce el siguiente fenómeno: en verano, la percepción térmica transeccional afecta significativamente a la productividad percibida transeccionalmente, mientras que en invierno esto no ocurre y la selección de la muestra percibida retrospectivamente y considera variables adicionales como la carga de trabajo.

Teniendo en cuenta todos los análisis anteriores, se utilizaron modelos de ecuaciones estructurales para estimar simultáneamente cada una de las vías entre las evaluaciones transeccionales y retrospectivas en invierno y verano, teniendo en cuenta las correlaciones entre múltiples variables (Fig. 23).

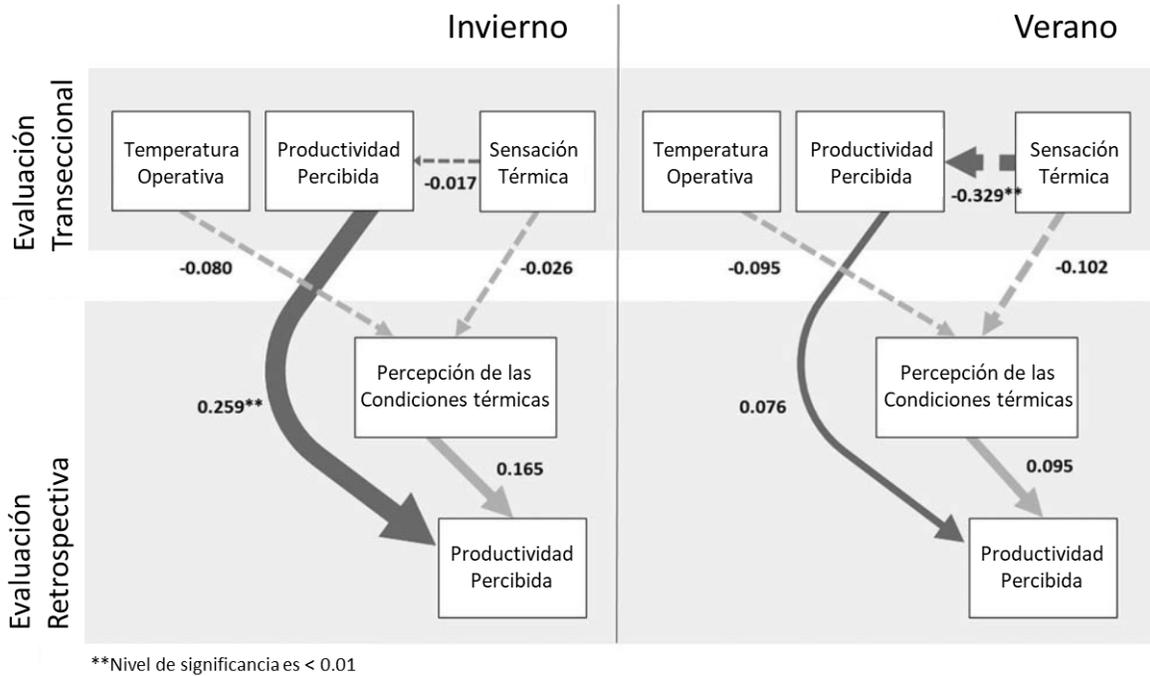


Figura 19: Modelo de ecuaciones estructurales de la productividad percibida afectada por el ambiente térmico.

Como puede verse en la Tabla 23, los resultados de los índices de bondad de ajuste muestran que el modelo es una buena representación de las relaciones propuestas. Al igual que en Peng et al. (2019), el método de ecuaciones estructurales utiliza el análisis de trayectorias para examinar los efectos directos e indirectos de varios factores sobre el confort subjetivo. Las mayores dependencias se encontraron en la siguiente productividad está directamente influenciada tanto por la percepción térmica retrospectiva como por la productividad percibida transeccionalmente.

Lo anterior parece sugerir que las emociones y los sentidos influyen predominantemente en la evaluación transeccional, mientras que los resultados de la evaluación retrospectiva reflejan los efectos de una mayor racionalidad y juicio. De hecho, la autoevaluación retrospectiva parece ser el mejor método para medir la productividad percibida, ya que, para diferentes tareas, funciones de los ocupantes y organizaciones, utilizar una única métrica de campo parece ser bastante problemático.

Tabla 21: Bondad de ajuste.

Índices	Valor de referencia	Resultado del modelo
X ² / df	2-5	1,434
CFI	≥0,950	0,952
TLI	≥0,900	0,939
SRMR	≥0,090	0,065
RMSEA	≤0,080	0,043

Este estudio puso a prueba un modelo que relaciona las percepciones de productividad en diferentes momentos del tiempo. Además, verificó las relaciones de forma simultánea, no una por una. El uso de ecuaciones estructurales es un método más sólido para evaluar múltiples causas y efectos, hacer comparaciones por grupos, estudiar la estructura de las covarianzas y verificar las estructuras factoriales. A diferencia de otras técnicas como la regresión lineal simple, el análisis factorial o la correlación, la técnica de ecuaciones estructurales tiene muchas más implicaciones relevantes para la explicación del fenómeno de la productividad percibida. El uso del análisis de correspondencias múltiples tiene la ventaja de explicar la relación estadística entre los niveles de productividad percibida y describir esos patrones para suponer las relaciones existentes, que luego se comprueban mediante el coeficiente rho de Spearman.

Los resultados revelaron que la incorporación tanto de indicadores objetivos como de factores individuales subjetivos es fundamental para un análisis eficaz de la productividad percibida en los espacios de oficina. El hecho de que no se incluyera la carga de trabajo de los ocupantes, como se ha mencionado anteriormente, podría explicar parte de la variabilidad en las relaciones del modelo de ecuaciones estructurales.

3.2.5. Entendiendo la productividad percibida y el ambiente térmico

En la psicología organizacional y en las disciplinas afines, la relación entre el diseño de las condiciones del espacio de trabajo y la productividad normal de los trabajadores ha sido uno de los temas pendientes (de Dear et al., 2013; Ramírez-Vielma & Nazar, 2019). Para entender la productividad percibida, este estudio

identificó los efectos del ambiente térmico en el lugar de trabajo. En concordancia con diferentes autores (Akimoto et al., 2010; Al Horr et al., 2016; Haldi & Robinson, 2008; Lin et al., 2015; Tanabe et al., 2007), se encontró que la productividad laboral percibida de los ocupantes individuales de las oficinas se ve afectada por la temperatura y los sistemas del edificio que la regulan, lo cual reconocieron los trabajadores.

Las organizaciones parecen ser conscientes de este fenómeno. Sin embargo, suelen tener problemas de criterio a la hora de desarrollar métodos para determinar la productividad en función de las condiciones del entorno de la oficina. En este sentido, el problema de criterio se refiere a un fenómeno que da cuenta de las dificultades relacionadas con el desarrollo y la medición de los constructos de resultados para las organizaciones debido a su naturaleza multidimensional (como es el caso del rendimiento, la producción y la propia productividad). Se explica por factores como las limitaciones de medición o la intervención de factores situacionales (Bedford & Speklé, 2018). El problema del criterio debe ser considerado al interpretar los resultados de la productividad percibida (Austin & Villanova, 1992; Campbell & Wiernik, 2015; Viswesvaran & Ones, 2000). En las oficinas estudiadas, las respuestas de los ocupantes sobre la productividad percibida revelan una falta de diagnóstico de la funcionalidad del espacio de trabajo. Herramientas como la modelización de ecuaciones estructurales pueden ser de utilidad en este sentido, siempre que se tengan en cuenta las características organizativas.

En este sentido, la perspectiva de este estudio es que se debe definir un indicador de productividad que considere el efecto del ambiente térmico y cómo lo perciben realmente las personas a lo largo del tiempo. En consonancia con Campbell y Wiernik (2015), la eficiencia y la productividad implican una relación de entrada y salida, que es diferente de las nociones de rendimiento y producción. Parece razonable medir la productividad mediante técnicas de autoinforme transeccionales y retrospectivas, dado que las oficinas suelen tener temperaturas moderadas y los

ocupantes poseen una cierta reserva cognitiva o sensación de normalidad que también implica acciones adaptativas derivadas de la incomodidad con el ambiente térmico (Zhang et al., 2019).

3.3. Reconociendo el efecto del ambiente térmico en la productividad autoevaluada en edificios de oficinas en Chile

En el proceso de resultados y análisis se examinaron las respuestas de todos los participantes de la encuesta transeccional. El número de datos era válido e incluía información sobre todas las variables teóricamente deseables para el análisis.

3.3.1. ¿Quiénes son los ocupantes?

Se verificó el tiempo que los ocupantes pasaban en sus espacios de trabajo. Los participantes declararon que permanecen en sus espacios de trabajo aproximadamente el 90,0% de la jornada laboral. Esto coincide con la suma de las respuestas dadas como "sentado" y "de pie" (Tabla 24), cuando se preguntó a los ocupantes de diferentes maneras sobre su actividad durante los 15 minutos anteriores, que ascendió al 87,06%. La tasa metabólica media fue de 1,25 MET.

Tabla 22: Tiempo en el espacio de trabajo frente al metabolismo

¿Qué estuviste haciendo durante los últimos 15 minutos?	%
Sentada pasiva (leer, hablar)	19,7
Sentada activa (escribir, archivar)	60,4
Estar de pie de forma pasiva (hablar)	2,7
Estar de pie de forma activa (archivar)	4,3
Caminar en interiores	9,5
Caminar al aire libre	3,5

A continuación, se analizaron los datos sobre la frecuencia de las respuestas de caracterización de los ocupantes (Fig. 20). El 85% de los participantes estaban en oficinas de planta abierta. El grupo de edad predominante, que representaba el 67,4% de los participantes, tenía entre 26 y 45 años, y la distribución hombre/mujer era esencialmente 1:1.

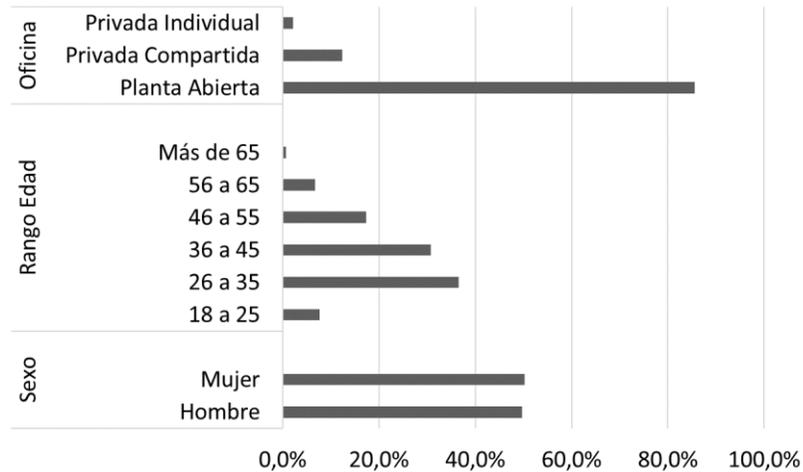


Figura 20: Características de los ocupantes

3.3.2. Aceptabilidad, sensación y preferencia térmicas de los trabajadores

Para analizar las posibles relaciones entre la aceptabilidad térmica, la sensación y la preferencia, se elaboró un gráfico de frecuencia de respuesta para comparar las respuestas de aceptabilidad con respecto a la sensación térmica y la preferencia. Como se muestra en la Figura 21, cuando la percepción de un ocupante pasa de inaceptable (respuesta "0"), a aceptable, (respuesta "1"), se espera que, al aumentar la sensación térmica, también aumente la preferencia térmica.

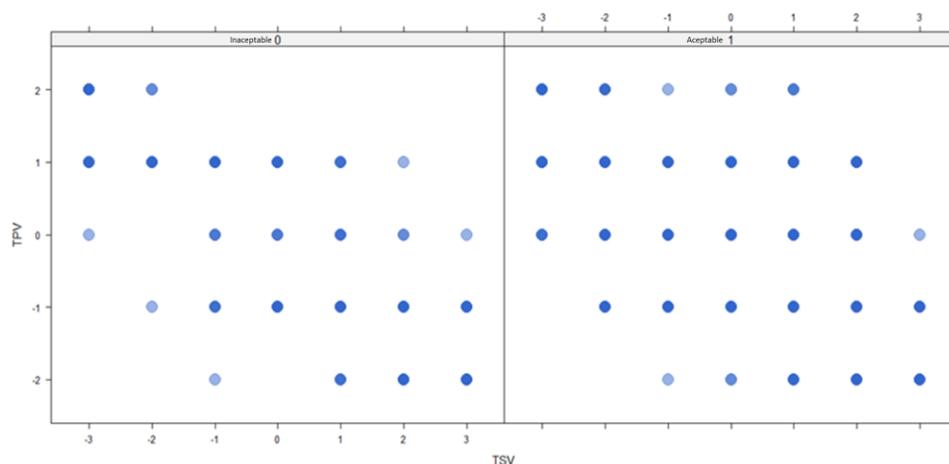


Figura 21: Sensación térmica y respuestas de preferencia para los cambios de aceptabilidad

En cuanto a las respuestas de sensación térmica de los ocupantes, el 67,3% son neutras y sólo el 0,8% prefieren los cambios térmicos grandes. En cuanto a las

respuestas de aceptabilidad, el 89,4% declara que el ambiente térmico es aceptable, mientras que el 10,6% lo considera inaceptable. Esto es coherente con las temperaturas moderadas que predominan en los edificios. Las temperaturas medias de funcionamiento medidas en invierno fueron de 20,1-23,8 ° C, y de 21,5-24,5 ° C en verano. Dicho esto, cabe destacar que sólo el 17,8% de las respuestas inaceptables indican la preferencia térmica más extrema de un cambio a "mucho más frío" o "mucho más caliente", y el 78,5% prefiere el entorno térmico un "poco más frío" o un "poco más cálido" (Fig. 22). Esto puede deberse a la diversidad de las características antropométricas de los ocupantes o a otros factores térmicos del entorno. Asimismo, para las respuestas que indicaron que el ambiente térmico era aceptable, destaca que el 29,3% prefiere un ambiente "un poco más frío", lo que puede coincidir con el deseo de estar más alerta y no necesariamente cómodo en el trabajo. Entonces, en línea con Kaushik et al. (2020), no sólo la sensación térmica es un buen indicador del efecto de las condiciones ambientales. La preferencia térmica y la aceptabilidad térmica son variables predictivas adecuadas para distinguir el nivel de aprobación del ambiente térmico por parte de los ocupantes de los edificios de oficinas.

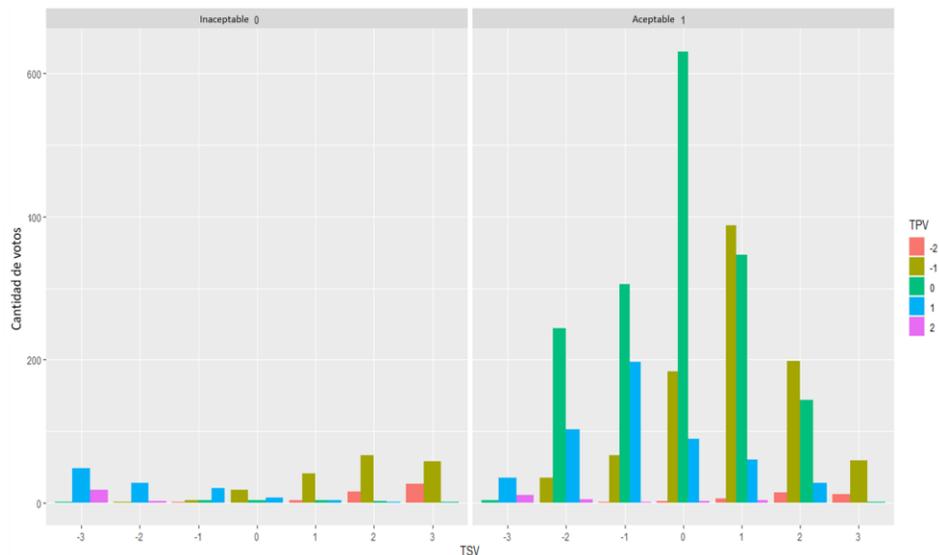


Figura 22: Respuestas de aceptabilidad según la sensación térmica y la preferencia

3.3.3. Modelando el entorno térmico de las oficinas

Posteriormente, tras la tabulación de los datos correspondientes a las 32 variables identificadas en el espacio interior de las oficinas, se llevó a cabo la modelización de ecuaciones estructurales (Fig. 23). Esta técnica es una extensión de varias técnicas de regresión múltiple multivariante, como el análisis factorial y el análisis de trayectorias. El modelo utilizó información observable sobre los espacios de trabajo como manifestación del constructo latente inobservable y objetivo de esta investigación, la productividad del trabajo en el entorno térmico. Para los fines de este estudio, las variables observables constituyen una esquematización SEM que tiene secciones (Tabla 1-5). Están compuestas por las variables observables organizadas en cuatro tipos: contexto y diseño de la oficina, características físico-ambientales medidas en el espacio de trabajo, factores personales de los ocupantes y percepción e interacción de los ocupantes con el entorno. Éstas están relacionadas con las variables mediadoras que representan las percepciones térmicas subjetivas que afectan a la productividad laboral: aceptabilidad térmica, sensación térmica y preferencia térmica. La segunda parte de la esquematización considera la respuesta de productividad laboral autoevaluada como una variable observable de productividad afectada por el ambiente térmico.

Antes de formular el modelo de ecuaciones estructurales, se realizó un análisis descriptivo de las variables implicadas en el estudio para encontrar asociaciones que permitieran la especificación del modelo. Para ello, se creó una matriz de correlaciones con diferentes tipos de variables, y se calcularon diferentes coeficientes de correlación en función del tipo de variable, incluyendo Pearson, policórica y polisérica. Se encontraron cuatro correlaciones con magnitudes positivas superiores a 0,5: operatividad del calentador con la estación ($\text{corr}=.5042$), temperatura operativa con la estación ($\text{corr}=.5259$), aceptabilidad térmica con la aceptabilidad del aire ($\text{corr}=.6653$), y temperatura exterior con la estación ($\text{corr}=.8532$). Asimismo, se detectaron tres correlaciones con magnitudes negativas superiores a -0,5: la sensación térmica con la preferencia térmica ($\text{corr}=-0,6291$), la

estrategia de acondicionamiento con la operatividad de la ventana (corr=-,6548), y la ropa con la estación del año (corr=-,7371).

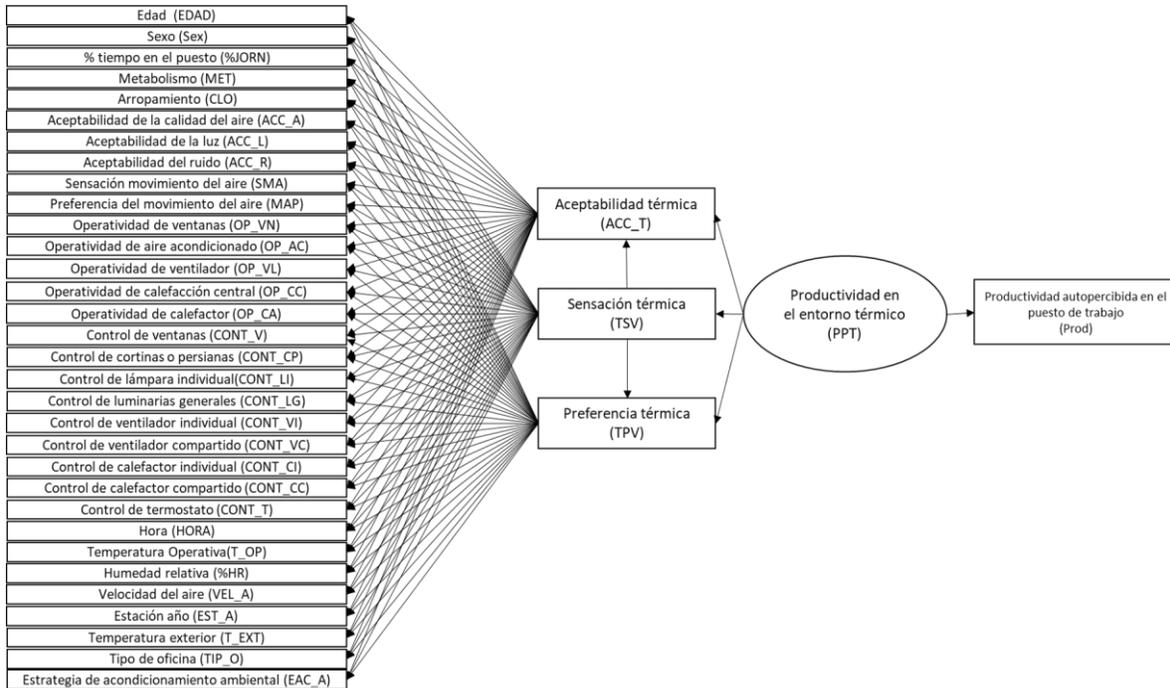


Figura 23: Esquema estructural del modelo propuesto

La Figura 23 muestra la esquematización conceptual desarrollada en este estudio, que contiene las hipótesis planteadas. En esta propuesta, el ocupante no puede discriminar los efectos térmicos de otras condiciones ambientales, pero su respuesta puede actuar como indicador de la variable latente. En definitiva, el objetivo final de este diagrama es determinar los componentes que contribuyen a explicar la productividad en el espacio de trabajo, a partir de los indicadores subjetivos. Este primer modelo se ajustó mediante la modelización de ecuaciones estructurales, lo que dio lugar a varias situaciones: muchos de los coeficientes no eran, de hecho, estadísticamente significativos ($p > 0,05$); había casos de Heywood o varianzas negativas e indicadores adicionales fuera de los márgenes recomendados; y, en ocasiones, el algoritmo no convergía en el número suficiente de iteraciones. En cuanto a la conformidad de las fases de modelización con el análisis de las estructuras de covarianza, fue posible verificar las etapas que van desde la formulación del modelo teórico inicial hasta la reespecificación del modelo (Fig. 24).

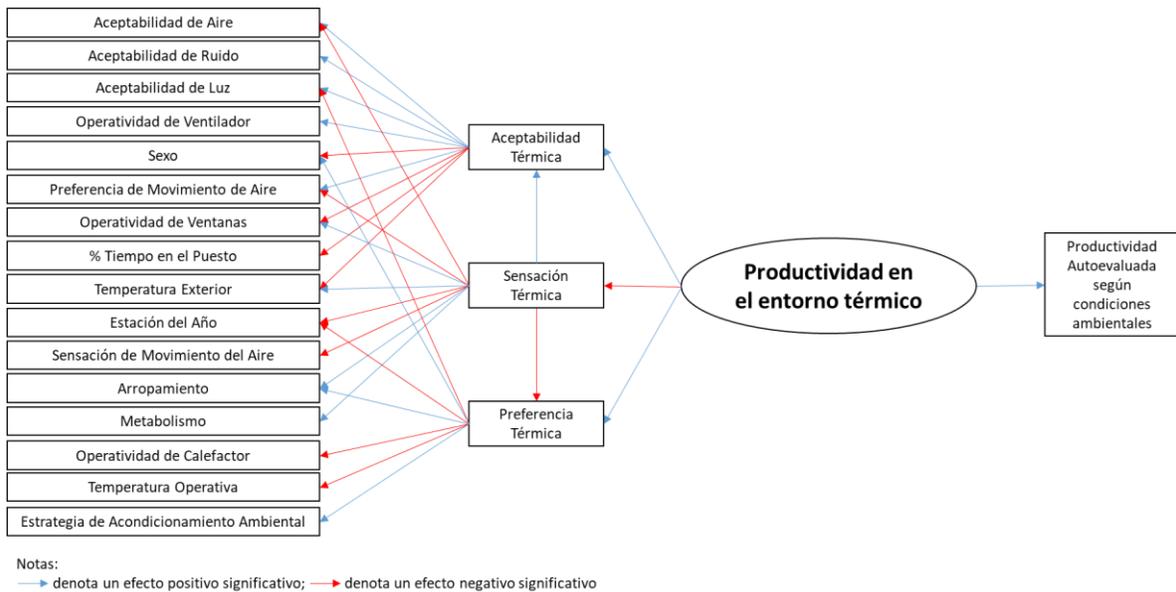


Figura 24: Modelo de ecuaciones estructurales reespecificado

Teniendo en cuenta lo anterior, el modelo óptimo (Fig. 24) para el análisis de la siguiente etapa cumplía todos los requisitos, es decir, las variables que influyen en el modelo eran estadísticamente significativas y cumplían los criterios de bondad de ajuste. Por lo tanto, las variables observadas utilizadas se muestran en la Tabla 25, con descriptores y escalas. El análisis tuvo en cuenta la numeración de las escalas y los signos (+/-), que indican una relación incremental positiva para una relación directa o viceversa para una relación indirecta.

Tabla 23: Variables observadas utilizadas

Variable observada	Descriptor	Escala
Estrategia de acondicionamiento ambiental	Solo calefacción (HT)	+1
	Modo mixto (MM)	+2
	HVAC	+3
Temperatura Operativa	Media aritmética entre la temperatura radiante media y la temperatura seca del aire.	Recodificación de variable continua temperatura en incrementos de 0.5°C; Rango 16.0-27.5°C
Estación del año	Invierno	+1
	Verano	+2
Temperatura exterior	Temperatura exterior	Recodificación de variable continua temperatura en incrementos de 0.5°C; Rango 2-31°C
Sexo	Masculino	+1
	Femenino	+2
Arropamiento	Aislamiento por arropamiento	Rango 0.00-2.00
Metabolismo	Sentado pasivo	1.0
	Sentado activo	1.2
	Parado pasivo	1.2
	Parado activo	1.4
	Caminando en interiores	1.7
	Caminando en exteriores	2.0
Aceptabilidad de la calidad del aire	Aceptable	+1
	Inaceptable	0
Aceptabilidad del nivel de ruido	Aceptable	+1
	Inaceptable	0
Aceptabilidad de las condiciones lumínicas	Aceptable	+1
	Inaceptable	0
Sensación del movimiento del aire	Inmóvil	0
	Leve	+1
	Notorio	+2
	Intenso	+3
	Excesivo	+4
Preferencia del movimiento del aire	Mucho más movimiento del aire	-2
	Un poco más movimiento del aire	-1
	Sin cambios	0
	Un poco menos movimiento del aire	+1
	Mucho menos movimiento del aire	+2
Ventilador en operación	Si	+1
	No	0
Ventanas en operación	Si	+1
	No	0
Calefactor en operación	Si	+1
	No	0
Sensación térmica	Fría	-3
	Fresca	-2
	Levemente fresca	-1
	Neutra	0
	Levemente cálida	+1
	Calurosa	+2
	Hot	+3
Preferencia térmica	Mucho más fría	-2
	Un poco más fría	-1
	Sin cambios	0
	Un poco más cálida	+1
	Mucho más cálida	+2
Aceptabilidad térmica	Aceptable	+1
	Inaceptable	0
Productividad autoevaluada según condiciones ambientales	Mucho menos que lo normal	-2
	Un poco menos que lo normal	-1
	Normal	0
	Un poco más que lo normal	+1
	Mucho más que lo normal	+2

A continuación, y como se muestra en la Tabla 26, se realizaron varias pruebas de bondad de ajuste del modelo y cumplen con la validez estadística requerida. De acuerdo con estos resultados, las medidas incrementales de ajuste del modelo son aceptables según el Índice de Ajuste Comparativo (CFI), el Índice de Tucker-Lewis (TLI), el Índice de Bondad de Ajuste (GFI) y el Índice de Bondad de Ajuste Ajustado (AGFI), ya que son superiores a 0,95 según los criterios de cada índice. Las medidas incrementales de ajuste pretenden ser aproximaciones simplificadas de la realidad; intentan explicar un comportamiento observado con el modelo propuesto y la calidad de ajuste de un modelo base que estipula una falta absoluta de asociación entre las variables del modelo.

Además, las medidas absolutas de ajuste del modelo también son aceptables a partir de los coeficientes de la raíz cuadrada media estandarizada (SRMR) y del error medio de aproximación (RMSEA), que son inferiores a 0,10, y el cociente entre el chi cuadrado y los grados de libertad es inferior a 3. Las medidas absolutas de ajuste determinan el grado en que el modelo predice la matriz de datos inicial. Considerado como bondad de ajuste, el coeficiente rho de Jöreskog indica que la fiabilidad de los resultados obtenidos es de 0,99, lo que se considera un valor alto.

Tabla 24: Bondad de ajuste del modelo

Índices	Bondad de ajuste
Chi cuadrado	226.794
Grados de libertad	79
Chi cuadrado / Grados de libertad	2.87
p-valor	0.000
SRMR	0.053
RMSEA	0.046
CFI	0.988
TLI	0.933
GFI	0.999
AGFI	0.999
Varianza promedio extraída	0.992
Jöreskog's rho	0.999

Con respecto al modelo, es evidente que tanto los efectos directos como indirectos de la productividad afectada por el ambiente térmico (PPT) sobre la aceptabilidad térmica son estadísticamente significativos ($p < .001$). El efecto de la hipótesis H02 es especialmente negativo, indicando así un menor nivel de sensación térmica en

función de una mayor productividad afectada por el ambiente térmico ($\beta=-0,111$). Asimismo, tanto el efecto directo como el indirecto de la productividad afectada por el ambiente térmico sobre la preferencia térmica son estadísticamente significativos ($p<.001$). Los resultados de la estimación del modelo se presentan en la Tabla 27 a continuación.

Tabla 25: Estimación del modelo

Variables	Estimación	Error Estándar	p-valor	R ²
Aceptabilidad térmica en:				
Aceptabilidad de la calidad del aire	0.586	0.028	.000***	34.3%
Aceptabilidad del nivel de ruido	0.360	0.038	.000***	13.0%
Aceptabilidad de las condiciones lumínicas	0.321	0.041	.000***	10.3%
Ventilador en operación	0.182	0.053	.001***	3.3%
Sexo	-0.159	0.028	.000***	2.5%
Preferencia del movimiento del aire	0.118	0.017	.000***	1.4%
Ventanas en operación	-0.104	0.051	.041*	1.1%
Tiempo en área de trabajo	-0.093	0.032	.003***	0.9%
Temperatura exterior	-0.086	0.025	.001***	0.7%
Sensación del movimiento del aire	0.051	0.024	.036*	0.3%
Sensación térmica en:				
Estación del año	-0.408	0.022	.000***	16.6%
Sensación del movimiento del aire	-0.282	0.018	.000***	8.0%
Preferencia del movimiento del aire	-0.258	0.015	.000***	6.7%
Aceptabilidad de la calidad del aire	-0.240	0.019	.000***	5.8%
Ventanas en operación	0.156	0.036	.000***	2.4%
Arropamiento	0.148	0.018	.000***	2.2%
Metabolismo	0.120	0.018	.000***	1.4%
Temperatura exterior	0.085	0.018	.000***	0.7%
Aceptabilidad térmica (H ₀₄)	0.104	0.019	.000***	1.1%
Preferencia térmica (H ₀₅)	-0.608	0.016	.000***	37.0%
Preferencia térmica en:				
Estación del año	-0.365	0.018	.000***	13.3%
Calefactor en operación	-0.242	0.047	.000***	5.9%
Arropamiento	0.235	0.015	.000***	5.5%
Temperatura operativa	-0.234	0.013	.000***	5.5%
Sensación del movimiento del aire	0.207	0.011	.000***	4.3%
Estrategia de acondicionamiento ambiental	0.090	0.017	.000***	0.8%
Ventanas en operación	0.090	0.029	.002***	0.8%
Sexo	0.076	0.014	.000***	0.6%
Aceptabilidad de las condiciones lumínicas	-0.063	0.022	.006***	0.4%
Variables	Estimación	Error Estándar	p-valor	
Productividad en el entorno térmico (PPT) en:				
Productividad autoevaluada según condiciones ambientales (<i>Prod</i>)	0.911	0.153	.000***	
Aceptabilidad térmica (H ₀₁)	0.288	0.059	.000***	
Sensación térmica (H ₀₂)	-0.111	0.037	.000***	
Preferencia térmica (H ₀₃)	0.171	0.031	.000***	

* indica que hay pruebas estadísticamente significativas a favor de la existencia de una asociación entre las variables.

*** indica que hay pruebas estadísticas altamente significativas a favor de la existencia de una asociación entre las variables.

Existe un efecto directo positivo de la productividad en el entorno térmico (PPT) sobre la preferencia térmica ($\beta=0,171$, $p<.001$), verificando así la hipótesis H₀₃. La sensación térmica tiene un efecto directo positivo y significativo sobre la aceptabilidad térmica ($\beta=0,104$, $p<.001$), y a su vez, la sensación térmica tiene un efecto directo negativo y significativo ($\beta=-0,608$, $p<.001$) sobre la preferencia térmica.

3.3.4. Validez del constructo productividad afectada por el entorno térmico

En primer lugar, para la aceptabilidad térmica, el modelo refinado muestra que todas las variables elegidas tienen coeficientes estadísticamente significativos al 5%, 1% o menos. Caracterizadas por el signo, la aceptabilidad de la iluminación ($\beta=0,321$), la aceptabilidad del ruido ($\beta=0,360$) y la aceptabilidad de la calidad del aire ($\beta=0,586$) son todas positivas, ya que se clasifican como "aceptables". Para la sensación de movimiento del aire ($\beta=0,051$), aunque es positiva, la magnitud indica una mayor manifestación de la aceptabilidad térmica, ya que la percepción pasa de una sensación de "quietud" a una de "exceso". En el caso de la preferencia por el movimiento del aire ($\beta=0,118$) ocurre algo similar al pasar de "prefiero mucho más movimiento" a "prefiero mucho menos movimiento". Por último, la operatividad del ventilador ($\beta=0,182$) se muestra positiva por su propio uso. El resto de las variables tienen signos negativos. Para el sexo ($\beta=-0,159$), la aceptabilidad térmica se manifestó en mayor grado en el género masculino. Para el porcentaje de la jornada en el espacio de trabajo ($\beta=-0,093$), se observa un efecto de mayor aceptabilidad para porcentajes menores de tiempo en el espacio de trabajo o jornadas más cortas. En cuanto a la temperatura exterior ($\beta=-0,086$), la aceptabilidad térmica es mayor para temperaturas más bajas. Por último, respecto a la operatividad de las ventanas ($\beta=-0,104$), la aceptabilidad es mayor cuando las ventanas no están operativas. Teniendo en cuenta el porcentaje de varianza explicada, la aceptabilidad térmica está principalmente influenciada por la presencia de la aceptabilidad de la calidad del aire, con un R^2 del 34%. La aceptabilidad del ruido y la aceptabilidad de la iluminación son las siguientes que más influyen, con porcentajes del 13% y el 10% respectivamente. Para el resto de las variables, los valores R^2 se sitúan entre el 3,3% y el 0,3%, lo que es considerablemente inferior. Se concluye que, en general, la aceptabilidad térmica tiene una relevancia moderada respecto a las tres primeras variables, pero una relevancia menor sobre las demás.

En cuanto a la sensación térmica para el nuevo modelo, todos los factores elegidos tienen coeficientes estadísticamente significativos al 5%, 1% o menos. Caracterizando las variables por su signo, el metabolismo ($\beta=0,120$) y la ropa ($\beta=0,148$) muestran mayor sensación térmica cuando sus valores son más altos, como también ocurre con la temperatura exterior ($\beta=0,085$). Para el caso de la operatividad de las ventanas ($\beta=0,156$), hay mayor sensación térmica cuando se utilizan viudas. En aquellas variables con signo negativo, destaca la estación ($\beta=-0,408$) con la menor sensación térmica, reflejando así que en invierno se producen las menores sensaciones térmicas. A medida que la sensación de movimiento del aire ($\beta=-0,282$) pasa de "excesivo" a "inmóvil", la sensación térmica aumenta. Algo similar ocurre cuando la preferencia por el movimiento del aire ($\beta=-0,258$) pasa de "preferir mucho menos movimiento" a "preferir mucho más movimiento". Teniendo en cuenta el porcentaje de varianza explicada, la sensación térmica está mayormente influenciada por la estación del año, con un R^2 del 16,6%. La sensación de movimiento del aire y la preferencia por el movimiento del aire son las siguientes que más influyen, con porcentajes del 8% y el 6,7% respectivamente. Se concluye que la variable sensación térmica en no se manifiesta con fuerza en los indicadores seleccionados, aunque son significativos.

Asimismo, para la preferencia térmica la nueva especificación del modelo revela que todas las variables elegidas tienen coeficientes estadísticamente significativos al 5%, 1% o menos. Así, caracterizando por el signo, para el sexo ($\beta=0,076$), la preferencia térmica se manifiesta más en las mujeres; para la ropa ($\beta=0,235$), la preferencia térmica es más cálida cuando los valores de clo son más altos. La preferencia térmica aumenta a medida que la preferencia por el movimiento del aire ($\beta=0,207$) pasa de "preferir mucho más movimiento" a "preferir mucho menos movimiento". A continuación, en el caso de la estrategia de acondicionamiento ambiental ($\beta=0,090$), se manifiesta una mayor percepción térmica cuando está presente el HVAC. Por último, en cuanto a la preferencia térmica, la operatividad del ventilador ($\beta=0,090$) es positiva cuando se utiliza. En las variables con signo negativo, la estación ($\beta=-0,365$) revela una menor preferencia térmica. En el caso

de la operatividad del ventilador ($\beta=-0,242$), la preferencia térmica es menor cuando se utiliza. A continuación, da cuenta de una mayor percepción térmica cuando la temperatura operativa es menor ($\beta=-0,234$), mientras que la aceptabilidad de la iluminación ($\beta=-0,063$) indica una menor preferencia térmica cuando este indicador es "aceptable". Por último, la operatividad del calefactor ($\beta=-0,242$), se manifiesta positivamente cuando se utiliza. Considerando el porcentaje de varianza explicada, la preferencia térmica está mayormente influenciada por la estación del año, con un R^2 del 13,3%. A continuación, aparecen tres variables en segundo lugar: la operatividad del calentador, la ropa y la temperatura operativa, con porcentajes de influencia del 5,9% y el 5,5% para las dos últimas. Por lo tanto, la preferencia térmica es una variable que no se manifiesta fuertemente en los indicadores seleccionados, aunque son significativos. En definitiva, el modelo es capaz de reproducir adecuadamente las covarianzas iniciales de la muestra, por lo que el modelo es plausible, es decir, es una representación ideal del fenómeno estudiado.

En consecuencia, el análisis resultó útil para comprobar las hipótesis planteadas. Así, el modelo desarrollado revela que es posible utilizar los constructos de aceptabilidad térmica, satisfacción y preferencia como variables mediadoras entre los elementos del ambiente térmico de la oficina y la productividad de los trabajadores. Además, dichas variables permitieron probar interrelaciones de dependencia complejas, a la vez que incorporaron los efectos del error de medición en los coeficientes estructurales, lo que coincide con Schumacker & Lomax (2016) en cuanto a la utilidad de las variables mediadoras en los modelos de ecuaciones estructurales. Ahora bien, en consonancia con Tekce et al. (2020), los modelos de ecuaciones estructurales no comprueban la causalidad. Sin embargo, permiten seleccionar las hipótesis causales relevantes, y eliminar las que no están respaldadas por la evidencia empírica de las oficinas, en particular el ambiente térmico. En este estudio, el valor de esta perspectiva estadística consistió en especificar relaciones complejas entre variables a priori del modelo propuesto para evaluar cuántas de estas relaciones están representadas en los datos recogidos de los 18 edificios de oficinas.

3.3.5. Aplicaciones y estudios posteriores

La investigación sigue avanzando en cuanto al efecto del ambiente térmico en la productividad. En este sentido, el SEM podría permitir que futuros estudios incluyan cada vez más variables de forma concurrente, identifiquen la influencia relativa de cada variable y examinen relaciones cada vez más complejas (Asman et al., 2019; Hakkak et al., 2015; Nimlyat, 2018; Veitch et al., 2007). Otra de las aplicaciones resultantes de este trabajo es validar el uso de los constructos de aceptabilidad térmica, sensación térmica y preferencia térmica como variables que pueden ser utilizadas para evaluar la productividad.

En particular, la gran ventaja de este tipo de modelos es que permiten proponer el tipo y la dirección de las relaciones esperadas entre las variables que contiene, para luego estimar los parámetros especificados por las relaciones propuestas a nivel teórico. Por esta razón, también se denominan modelos confirmatorios, ya que el interés primordial es "confirmar" mediante el análisis de la muestra las relaciones propuestas a partir de la teoría explicativa utilizada como referencia. Además, con estos modelos, y dada la interdependencia de las variables, es posible separar los efectos directos totales en efectos directos e indirectos y probar la bondad del ajuste del modelo en su conjunto. Además, estos modelos son muy útiles para comparar modelos alternativos (competidores), ya que permiten el uso de variables latentes y tienen en cuenta el error de medición, lo que, junto con la variación de los valores de los índices de bondad de ajuste, puede indicar la existencia de mejores modelos alternativos. Esta es precisamente una de las diferencias más importantes entre el SEM y otras técnicas estadísticas multivariantes que analizan modelos (más o menos complejos) que sólo incorporan medidas directamente observables. Además, otra de las principales características del SEM, como indica Bollen (1989), es el hecho de que dentro de un mismo modelo una misma variable puede comportarse como variable de respuesta en una ecuación y aparecer como variable explicativa en otra ecuación. También es posible que se produzcan efectos

recíprocos, en los que dos variables producen efectos entre sí mediante un proceso de retroalimentación.

En última instancia, la identificación de los factores o elementos críticos con mayor impacto en la productividad autoevaluada conduce a la introducción de mecanismos de mejora que aumenten la calidad del ambiente térmico interior. Por tanto, el análisis de la satisfacción de los trabajadores desempeña un papel esencial en el diseño y la mejora del propio ambiente. Se produce un mecanismo de retroalimentación en el que la evaluación lleva a centrarse en los elementos con mayor impacto en la satisfacción. A su vez, la mejora de estos factores genera trabajadores más satisfechos.

4. Conclusiones

No existe una única relación entre la productividad y el entorno térmico. Las variables en el interior de los edificios son múltiples y han sido estudiadas por los investigadores. Esto se ve reflejado en la cantidad de enfoques con que la literatura aborda el efecto del entorno térmico de las oficinas en la productividad de los ocupantes. Sin embargo, la mayor parte de estas investigaciones no hacen una integración simultánea de todas las variables para su análisis en conjunto.

La principal aportación de esta tesis doctoral es la elaboración de un modelo que puede ser adecuado para analizar el constructo de la productividad autoevaluada en el contexto térmico de los edificios de oficinas. Este modelo elaborado en base datos de 18 oficinas en Chile, en climas templados, permite identificar otros tres constructos de la productividad de los ocupantes de oficinas: sensación térmica, aceptabilidad térmica y preferencia térmica. Si bien estas respuestas de percepción y satisfacción térmica están en la literatura, su uso como variables mediadoras con todas las otras variables del entorno representa la oportunidad de facilitar el estudio de la productividad en oficinas.

Para el trabajador de oficina, no es posible separar la percepción térmica de los otros factores ambientales. No obstante, como se demostró la autoevaluación de la productividad en el espacio de trabajo es un indicador estadísticamente significativo de la productividad en el ambiente térmico. Esto refuerza la importancia del ocupante como evaluador de su propia situación laboral.

Los hallazgos muestran que los promedios de las temperaturas operativas son 22,2 °C en invierno y 23,5 °C en verano. Los individuos declaran sentirse cómodos en oficinas con temperaturas moderadas y reconocen la temperatura como un parámetro muy relevante en la búsqueda de condiciones de productividad adecuada. Las temperaturas neutras oscilan entre 19,5 °C y 24,6 °C y las temperaturas preferidas oscilan entre 19,9 °C y 24,6 °C. La temperatura preferida

coincide en gran medida con la temperatura operativa, especialmente en edificios con ventilación natural solo calefacción y modo mixto.

La adaptación térmica parece estar asumida dentro del constructo de la productividad autoevaluada de los trabajadores, y dichas acciones de adaptación se realizan regularmente en sus espacios de trabajo. Por ejemplo, existe una alta correlación negativa entre los valores de clo y la temperatura exterior, lo que muestra que las personas ajustan su arropamiento considerablemente de una estación a otra como un comportamiento adaptativo. Esta y otras variables de adaptación podrían ser consideradas en la evaluación del impacto del ambiente térmico en la productividad, ya que sigue siendo superficial y sólo se suele relacionar con la temperatura.

Existe una oportunidad para los diseñadores y gestores de edificios, que deben comprender que la evaluación del funcionamiento de las oficinas es un reto. Es necesaria una mayor valoración de las aportaciones de los ocupantes, ya que proporcionan la base para un mejor análisis del edificio en función de las distintas realidades. El 80,5% de los ocupantes declararon su productividad como normal en la encuesta transeccional. Sin embargo, en la encuesta retrospectiva, el 82,7% dijo que su productividad se ve afectada por el ambiente térmico. En este sentido, la información de estudios de campo obtenida de forma transeccional en el tiempo, se puede combinar con estudios retrospectivos para detectar inconsistencias y mejorar su coherencia. Este método de análisis comparativo ofrece resultados con potencial de aplicación en climas y contextos culturales distintos para para lograr un enfoque más holístico del fenómeno.

Crear modelos más complejos y completos de la interfaz entre los ocupantes y su entorno térmico puede ser resuelto mediante la modelación de ecuaciones estructurales. Este estudio pudo evidenciar que de las 32 variables reconocidas, las variables de estación del año; estrategia del acondicionamiento ambiental interior; temperatura operativa de la oficina; aceptabilidad del aire, ruido y condiciones

lumínicas; operabilidad de ventiladores y ventanas; sexo, arropamiento y metabolismo del ocupante; sensación y preferencia de movimiento del aire; y el tiempo que la persona pasa en el lugar de trabajo son los indicadores que juntos explican el constructo no-observable de la productividad afectada por el entorno térmico, a través de las variables mediadoras de aceptabilidad, sensación y preferencia térmica. Entonces, si se toman en cuenta dichas variables, se puede conducir a mejor entendimiento de la satisfacción térmica del trabajador en el espacio de trabajo y, por tanto, a un comportamiento más productivo. Esta mayor comprensión de los efectos del edificio y sus ocupantes son los motores clave para ayudar a rediseñar la asignación de los recursos disponibles para un mayor equilibrio en el entorno térmico.

5. Futuras líneas de investigación

Esta investigación reconoce futuras líneas de trabajo que pueden tener especial interés para la comunidad científica:

1. Los hallazgos encontrados parecen indicar la existencia de factores no observados y obstáculos percibidos en el espacio del trabajo de las oficinas que son difíciles de cuantificar objetivamente. Es necesario seguir aumentando el número de variables en análisis cada vez más integrados. Así se puede mejorar la perspectiva holística del problema y abundar el conocimiento de la productividad en el entorno térmico.
2. En un contexto de cambio global, inmigración humana e incorporación de la tecnología al diseño de las oficinas y al mundo laboral, se observa la necesidad de ampliar los métodos e instrumentos con perspectivas más cualitativas. Se debe examinar con mayor profundidad factores antropométricos y variables demográficas, tales como la edad y el género de los ocupantes. Además, sería valioso abarcar estatus socioeconómico, estilo de vida y costumbres, comportamiento y cultura. Por otra parte, se pueden desarrollar estudios de gran escala que consideran varias facetas del trabajador en el contexto de la organización, incluyendo su ubicación dentro de la oficina, la carga laboral, el efecto de la supervisión sobre el ocupante, la función del trabajador en la organización, y la cultura organizacional.
3. Una futura línea de investigación valiosa que se requiere para expandir la teoría planteada en esta investigación es estudiar la productividad en estaciones de transición, es decir, primavera y otoño. Esta tarea no es fácil, porque requiere precisar cuestiones metodológicas exigentes, pero que sin duda serán un valioso aporte a la gestión de edificios en dichas temporadas.

6. Referencias

- Agha-Hosseini, M. M., El-Jouzi, S., Elmualim, A. A., Ellis, J., & Williams, M. (2013). Post-occupancy studies of an office environment: Energy performance and occupants' satisfaction. *Building and Environment*, *69*, 121–130.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.003>
- Akimoto, T., Tanabe, S. ichi, Yanai, T., & Sasaki, M. (2010). Thermal comfort and productivity - Evaluation of workplace environment in a task conditioned office. *Building and Environment*, *45*(1), 45–50.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.022>
- Al Horr, Y., Arif, M., Kaushik, A., Mazroei, A., Elsarrag, E., & Mishra, S. (2017). Occupant productivity and indoor environment quality: A case of GSAS. *International Journal of Sustainable Built Environment*, *6*(2), 476–490.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2017.11.001>
- Al Horr, Y., Arif, M., Kaushik, A., Mazroei, A., Katafygiotou, M., & Elsarrag, E. (2016). Occupant productivity and office indoor environment quality: A review of the literature. In *Building and Environment* (Vol. 105, pp. 369–389). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.06.001>
- Altomonte, S., Allen, J., Bluysen, P., Brager, G., Hescong, L., Loder, A., Schiavon, S., Veitch, J., Wang, L., & Wargocki, P. (2020). Ten questions concerning well-being in the built environment. *Building and Environment*, 106949. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106949>
- Anderson, J., & French, M. (2010). Sustainability as promoting well-being: psychological dimensions of thermal comfort. In *Personal communication, Institute of Well-Being*. <http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB20934.pdf>
- André, M., De Vecchi, R., & Lamberts, R. (2020). User-centered environmental control: a review of current findings on personal conditioning systems and personal comfort models. In *Energy and Buildings* (Vol. 222, p. 110011). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110011>
- Antoniadou, P., & Papadopoulos, A. M. (2017). Occupants' thermal comfort: State of the art and the prospects of personalized assessment in office buildings. In *Energy and Buildings* (Vol. 153, pp. 136–149). Elsevier Ltd.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.001>

- Arens, E. A., & Zhang, H. (2009). *The skin's role in human thermoregulation and comfort*.
- ASHRAE 55. (2013). Standard ASHRAE 55-2013 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, 54. <https://www.ashrae.org/resources--publications/bookstore/standard-55>
- ASHRAE 55. (2017). *Standard 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy>
- Bland, J. M., & Altman, D. G. (2011). Correlation in restricted ranges of data. *BMJ*, 342. <https://doi.org/10.1136/bmj.d556>
- Borgeson, S., & Brager, G. (2011). Comfort standards and variations in exceedance for mixed-mode buildings. *Building Research & Information*. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613218.2011.556345>
- Brager, G., Paliaga, G., & De Dear, R. (2004). Operable windows, personal control and occupant comfort. *ASHRAE Transactions*, 110, 17–35. www.ashrae.org
- Brager, G., Zhang, H., & Arens, E. (2015). Evolving opportunities for providing thermal comfort. *Building Research & Information*, 43(3), 274–287. <https://doi.org/10.1080/09613218.2015.993536>
- Bueno, A. M., de Paula Xavier, A. A., & Broday, E. E. (2021). Evaluating the connection between thermal comfort and productivity in buildings: A systematic literature review. *Buildings*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/buildings11060244>
- Campbell, J. P., & Wiernik, B. M. (2015). The Modeling and Assessment of Work Performance. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 2(1), 47–74. <https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-032414-111427>
- Chao, C. Y. H., & Wan, M. P. (2004). Airflow and air temperature distribution in the occupied region of an underfloor ventilation system. *Building and Environment*, 39(7), 749–762. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2004.01.010>

- Chappells, H., & Shove, E. (2005). Debating the future of comfort: environmental sustainability, energy consumption and the indoor environment. *Building Research & Information*, 33(1), 32–40.
<https://doi.org/10.1080/0961321042000322762>
- Clements-Croome, D. (2015). Creative and productive workplaces: a review. *Intelligent Buildings International*, 7(4), 164–183.
<https://doi.org/10.1080/17508975.2015.1019698>
- D'Oca, S., Hong, T., & Langevin, J. (2018). The human dimensions of energy use in buildings: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 81, pp. 731–742). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.019>
- Dai, C., Lan, L., & Lian, Z. (2014). Method for the determination of optimal work environment in office buildings considering energy consumption and human performance. *Energy and Buildings*, 76(JUNE 2014), 278–283.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.077>
- Damiati, S. A., Zaki, S. A., Rijal, H. B., & Wonorahardjo, S. (2016). Field study on adaptive thermal comfort in office buildings in Malaysia, Indonesia, Singapore, and Japan during hot and humid season. *Building and Environment*, 109, 208–223. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2016.09.024>
- de Dear, R., Akimoto, T., Arens, E., Brager, G., Candido, C., Cheong, K., Li, B., Nishihara, N., Sekhar, S., Tanabe, S., Toftum, J., Zhang, H., & Zhu, Y. (2013). Progress in thermal comfort research over the last twenty years. *Indoor Air*, 23(6), 442–461. <https://doi.org/10.1111/ina.12046>
- de Dear, R., & Brager, G. (1998). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *UC Berkeley: Center for the Built Environment*.
<https://escholarship.org/uc/item/4qq2p9c6>
- Denisi, A. S., & Murphy, K. R. (2017). Performance appraisal and performance management: 100 years of progress? *Journal of Applied Psychology*, 102(3), 421–433. <https://doi.org/10.1037/apl0000085>
- Dul, J., & Ceylan, C. (2010). Work environments for employee creativity. <https://doi.org/10.1080/00140139.2010.542833>, 54(1), 12–20.
<https://doi.org/10.1080/00140139.2010.542833>

- Duran, Ö., & Lomas, K. J. (2021). Retrofitting post-war office buildings: Interventions for energy efficiency, improved comfort, productivity and cost reduction. *Journal of Building Engineering*, *42*, 102746.
<https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.102746>
- EASHW, E. A. for S. and H. at W. (2013). *Well-being at work: creating a positive work environment Literature Review*. <https://doi.org/10.2802/52064>
- Enescu, D. (2019). Models and Indicators to Assess Thermal Sensation Under Steady-state and Transient Conditions. *Energies*, *12*(5), 841.
<https://doi.org/10.3390/en12050841>
- Fanger, P. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. *British Journal of Industrial Medicine*, *30*(4), 313–324.
<https://doi.org/10.1136/oem.30.4.313>
- Flouris, A. D. (2011). Functional architecture of behavioural thermoregulation. In *European Journal of Applied Physiology* (Vol. 111, Issue 1, pp. 1–8). Springer.
<https://doi.org/10.1007/s00421-010-1602-8>
- Frontczak, M., Andersen, R. V., & Wargocki, P. (2012). Questionnaire survey on factors influencing comfort with indoor environmental quality in Danish housing. *Building and Environment*, *50*, 56–64.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.012>
- Frontczak, M., Schiavon, S., Goins, J., Arens, E., Zhang, H., & Wargocki, P. (2012). Quantitative relationships between occupant satisfaction and satisfaction aspects of indoor environmental quality and building design. *Indoor Air*, *22*(2), 119–131. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2011.00745.x>
- García, A., Olivieri, F., Larrumbide, E., & Ávila, P. (2019). Thermal comfort assessment in naturally ventilated offices located in a cold tropical climate, Bogotá. *Building and Environment*, *158*, 237–247.
<https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2019.05.013>
- Geng, Y., Ji, W., Lin, B., & Zhu, Y. (2017). The impact of thermal environment on occupant IEQ perception and productivity. *Building and Environment*, *121*, 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.05.022>
- Gunay, H. B., O'Brien, W., & Beausoleil-Morrison, I. (2013). A critical review of

- observation studies, modeling, and simulation of adaptive occupant behaviors in offices. *Building and Environment*, 70, 31–47.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.07.020>
- Haapakangas, A., Hallman, D. M., Mathiassen, S. E., & Jahncke, H. (2018). Self-rated productivity and employee well-being in activity-based offices: The role of environmental perceptions and workspace use. *Building and Environment*, 145, 115–124. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2018.09.017>
- Haapakangas, A., Hongisto, V., Varjo, J., & Lahtinen, M. (2018). Benefits of quiet workspaces in open-plan offices – Evidence from two office relocations. *Journal of Environmental Psychology*, 56, 63–75.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.03.003>
- Haldi, F., & Robinson, D. (2010). On the unification of thermal perception and adaptive actions. *Building and Environment*, 45(11), 2440–2457.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.05.010>
- Havenith, G. (2005). Temperature regulation, Heat balance and climatic stress. *Extreme Weather Events and Public Health Responses*, 69–80.
https://doi.org/10.1007/3-540-28862-7_7
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación. Las Rutas Cuantitativa, Cualitativa y Mixta*. (McGraw-Hill Interamericana Editores. (ed.); Primera Ed). McGraw-Hill Interamericana.
<https://www.academia.edu/download/38911499/Sampieri.pdf>
- Heydarian, A., McIlvennie, C., Arpan, L., Yousefi, S., Syndicus, M., Schweiker, M., Jazizadeh, F., Risetto, R., Pisello, A. L., Piselli, C., Berger, C., Yan, Z., & Mahdavi, A. (2020). What drives our behaviors in buildings? A review on occupant interactions with building systems from the lens of behavioral theories. *Building and Environment*, 179, 106928.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106928>
- Huizenga, C., Abbaszadeh, S., Zagreus, L., & Arens, E. A. (2006). Air quality and thermal comfort in office buildings: Results of a large indoor environmental quality survey. *Proceeding of Healthy Buildings 2006*, 3.
<http://escholarship.org/uc/item/7897g2f8>

- Huizenga, C., Zagreus, L., Arens, E., & Lehrer, D. (2003). *Measuring indoor environmental quality: a web-based occupant satisfaction survey*. Indoor Environmental Quality.
http://www.cbe.berkeley.edu/research/pdf_files/Huizenga2003_USGBC.pdf
- Humphreys, M. A., Rijal, H. B., & Nicol, J. F. (2013). Updating the adaptive relation between climate and comfort indoors; new insights and an extended database. *Building and Environment*, 63, 40–55.
<https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2013.01.024>
- Humphreys, M.A., & Nicol, J. F. (2007). Self-Assessed Productivity and the Office Environment. *ASHRAE Transactions*, 113(part1), 606–616.
- Humphreys, M., & Nicol, J. F. (2007). Self-Assessed Productivity and the Office Environment: Monthly Surveys in Five European Countries. *ASHRAE Transactions*, 113, 606–616.
- Humphreys, Michael., Nicol, F., & Roaf, S. (2015). *Adaptive thermal comfort : foundations and analysis*. Routledge.
- Humphreys, Michael A., & Hancock, M. (2007). Do people like to feel ‘neutral’?: Exploring the variation of the desired thermal sensation on the ASHRAE scale. *Energy and Buildings*, 39(7), 867–874.
<https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2007.02.014>
- Humphreys, Nicol, & Rajal. (2007). Field studies of indoor thermal comfort and the progress of the adaptive approach. *Advanced Building Energy Research*, 1, 55–88.
- Ilgen, D., & Schneider, J. (1991). Performance Measurement: A Multi-Discipline View. In C. L. Cooper & I. T. Robertson (Eds.), *International review of industrial and organizational psychology*. Vol.6 (p. 416). Wiley.
- Indraganti, M., Ooka, R., & Rijal, H. B. (2013). Thermal comfort in offices in summer: Findings from a field study under the ‘setsuden’ conditions in Tokyo, Japan. *Building and Environment*, 61, 114–132.
<https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2012.12.008>
- ISO 10551. (2019). *ISO 10551:2019 - Ergonomics of the physical environment — Subjective judgement scales for assessing physical environments*. 28.

- ISO 15251. (2008). *ISO 15251 Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*.
- ISO 7730. (2005). *ISO 7730 – Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. 52.
- ISO 8996. (2005). *ISO 8996 Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate*.
- Johansson, R. (2003). *Case Study Methodology*.
- Jung, W., & Jazizadeh, F. (2019). Human-in-the-loop HVAC operations: A quantitative review on occupancy, comfort, and energy-efficiency dimensions. *Applied Energy*, 239, 1471–1508.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.070>
- Kaufmann-Buhler, J. (2021). *Open Plan: A Design History of the American Office*. Bloomsbury Visual Arts.
- Kaushik, D. A., Mohammed, P. A., Tumula, D. P., & Ebohon, P. J. (2020). Effect of thermal comfort on occupant productivity in office buildings: Response surface analysis. *Building and Environment*, 107021.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107021>
- Kenawy, I., & Elkadi, H. (2013). The impact of cultural and climatic background on thermal sensation votes. *PLEA 2013: Proceedings of the 29th Sustainable Architecture for a Renewable Future Conference*, 1–6.
- Kosonen, R., & Tan, F. (2004). The effect of perceived indoor air quality on productivity loss. *Energy and Buildings*, 36(10 SPEC. ISS.), 981–986.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.06.005>
- Lan, L., Lian, Z., Pan, L., Samuel, D. G. L., Nagendra, S. M. S., Maiya, M. P., Tanabe, S., Nishihara, N., Haneda, M., Wong, L. T., & Mui, K. W. (2007). Indoor Temperature, Productivity, and Fatigue in Office Tasks. *HVAC&R Research*, 13(4), 623–633. <https://doi.org/10.1080/10789669.2007.10390975>
- Lan, L., Wargocki, P., & Lian, Z. (2012). Optimal thermal environment improves performance of office work. *Indoor Environment*, January, 12–17.

- Lattimer, R. L. (1998). The case for diversity in global business, and the impact of diversity on team performance. *Competitiveness Review*, 8(2), 3–17.
<https://doi.org/10.1108/EB046364/FULL/XML>
- Leaman, A., & Bordass, B. (2001). Assessing building performance in use 4: The Probe occupant surveys and their implications. *Building Research and Information*, 29(2), 129–143. <https://doi.org/10.1080/09613210010008045>
- Leaman, Adrian, & Bordass, B. (1999). Productivity in buildings: the ‘killer’ variables. *Building Research & Information*, 27(1), 4–19.
<https://doi.org/10.1080/096132199369615>
- Li, J., & Liu, N. (2020). The perception, optimization strategies and prospects of outdoor thermal comfort in China: A review. In *Building and Environment* (Vol. 170, p. 106614). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106614>
- Lipczynska, A., Schiavon, S., & Graham, L. T. (2018). Thermal comfort and self-reported productivity in an office with ceiling fans in the tropics. *Building and Environment*, 135, 202–212. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.013>
- Maher, A., & von Hippel, C. (2005). Individual differences in employee reactions to open-plan offices. *Journal of Environmental Psychology*, 25(2), 219–229.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2005.05.002>
- Marín-Restrepo, L., Trebilcock, M., & Gillott, M. (2020). Occupant action patterns regarding spatial and human factors in office environments. *Energy and Buildings*, 214, 109889. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109889>
- Marvel Cequea, M., Rodriguez Monroy, C., & Nuñez Bottini, M. A. (2011). La productividad desde una perspectiva humana: Dimensiones y factores. *Intangible Capital*, 7(2), 549–584.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54921605013>
- McArthur, J. J., & Powell, C. (2020). Health and wellness in commercial buildings: Systematic review of sustainable building rating systems and alignment with contemporary research. *Building and Environment*, 171, 106635.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106635>
- Mishra, A. K., Loomans, M. G. L. C., & Hensen, J. L. M. (2016). Thermal comfort of heterogeneous and dynamic indoor conditions — An overview. *Building and*

- Environment*, 109, 82–100. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.09.016>
- Mishra, Asit Kumar, & Ramgopal, M. (2015). A thermal comfort field study of naturally ventilated classrooms in Kharagpur, India. *Building and Environment*, 92, 396–406. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2015.05.024>
- Morrison, S. F., & Nakamura, K. (2019). Central Mechanisms for Thermoregulation. *Annual Review of Physiology*, 81(1), 285–308. <https://doi.org/10.1146/annurev-physiol-020518-114546>
- Mulville, M., Callaghan, N., & Isaac, D. (2016). The impact of the ambient environment and building configuration on occupant productivity in open-plan commercial offices. *Journal of Corporate Real Estate*, 18(3), 180–193. <https://doi.org/10.1108/JCRE-11-2015-0038>
- Mumford, L. (2010). *Technics and Civilization* (4th Edition). The University of Chicago Press.
- Nicol, F., & Roaf, S. (2005). Post-occupancy evaluation and field studies of thermal comfort. *Building Research and Information*, 33(4), 338–346. <https://doi.org/10.1080/09613210500161885>
- OECD, O. for E. C. and D. (2001). *Measuring Productivity-OECD Manual Measurement of Aggregate and Industry-level Productivity Growth*. www.SourceOECD.org
- Oliveira, E. A. S. de, Xavier, A. A. de P., Michaloski, A. O., Torres, F., & Pizyblskia, E. M. (2015). Subjective productivity in different states of thermal comfort. *Revista ESPACIOS | Vol. 36 (Nº 07) Año 2015*.
- Ornetzeder, M., Wicher, M., & Suschek-Berger, J. (2016). User satisfaction and well-being in energy efficient office buildings: Evidence from cutting-edge projects in Austria. *Energy and Buildings*, 118, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.036>
- Parkinson, T., Schiavon, S., de Dear, R., & Brager, G. (2021). Overcooling of offices reveals gender inequity in thermal comfort. *Scientific Reports* 2021 11:1, 11(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03121-1>
- Pellerin, N., & Candas, V. (2003). Combined effects of temperature and noise on human discomfort. *Physiology and Behavior*, 78(1), 99–106.

- [https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(02\)00956-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(02)00956-3)
- Peng, Y., Feng, T., & Timmermans, H. (2019). A path analysis of outdoor comfort in urban public spaces. *Building and Environment*, *148*, 459–467.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.11.023>
- Rijal, H. B., Humphreys, M. A., & Nicol, J. F. (2019). Adaptive model and the adaptive mechanisms for thermal comfort in Japanese dwellings. *Energy and Buildings*, *202*, 109371. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2019.109371>
- Rock, B. A. (2018). Thermal Zoning For HVAC Design. *ASHRAE Journal*.
www.ashrae.org.
- Romero Herrera, N., Doolgaard, J., Guerra-Santin, O., Jaskiewicz, T., & Keyson, D. (2020). Office occupants as active actors in assessing and informing comfort: a context-embedded comfort assessment in indoor environmental quality investigations. *Advances in Building Energy Research*, *14*(1), 41–65.
<https://doi.org/10.1080/17512549.2018.1488620>
- Rupp, R. F., Vasquez, N. G., & Lamberts, R. (2015). A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy and Buildings*, *105*, 178–205.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>
- Samani, S. A., Rasid, S. Z. B. A., & Bt Sofian, S. (2014). A Workplace to Support Creativity. *Industrial Engineering and Management Systems*, *13*(4), 414–420.
<https://doi.org/10.7232/IEMS.2014.13.4.414>
- Sawka, M. N., Castellani, J. W., Pandolf, K. B., & Young, A. J. (2002). *Human adaptations to heat and cold stress*.
- Schlader, Z. J., Prange, H. D., Mickleborough, T. D., & Stager, J. M. (2009). Characteristics of the control of human thermoregulatory behavior. *Physiology and Behavior*, *98*(5), 557–562. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.09.002>
- Schulte, P., Guerin, R., Schill, A., Bhattacharya, A., Cunningham, T., Pandalai, S., Eggerth, D., & Stephenson, C. (2015). Considerations for Incorporating “Well-Being” in Public Policy for Workers and Workplaces. *American Journal of Public Health*, *105*(8), 31–44. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2015.302616>
- Schweiker, M., & Wagner, A. (2016). The effect of occupancy on perceived control, neutral temperature, and behavioral patterns. *Energy and Buildings*, *117*, 246–

259. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.10.051>
- Seppänen, O., Fisk, W., & Lei, Q. (2006). Effect of Temperature on Task Performance in Office Environment. *Lawrence Berkeley National Laboratory*, 11.
- Shafaghat, A., Keyvanfar, A., Ferwati, M. S., & Alizadeh, T. (2015). Enhancing staff's satisfaction with comfort toward productivity by sustainable Open Plan Office Design. *Sustainable Cities and Society*, 19, 151–164.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.08.001>
- Shahzad, S., & Rijal, H. B. (2019). Preferred vs neutral temperatures and their implications on thermal comfort and energy use: Workplaces in Japan, Norway and the UK. *Energy Procedia*, 158, 3113–3118.
<https://doi.org/10.1016/J.EGYPRO.2019.01.1007>
- Soto-Muñoz, J., Trebilcock-Kelly, M., Flores-Alés, V., & Caamaño-Carrillo, C. (2022). Recognizing the effect of the thermal environment on self-perceived productivity in offices: A structural equation modeling perspective. *Building and Environment*, 210(108696).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108696>
- Soto Muñoz, J., Trebilcock Kelly, M., Flores-Alés, V., & Ramírez-Vielma, R. (2022). Understanding the perceived productivity of office occupants in relation to workspace thermal environment. *Building Research & Information*, 50(1–2), 152–170. <https://doi.org/10.1080/09613218.2021.1897501>
- Šujanová, P., Rychtáriková, M., Sotto Mayor, T., & Hyder, A. (2019). A Healthy, Energy-Efficient and Comfortable Indoor Environment, a Review. *Energies*, 12(8), 1414. <https://doi.org/10.3390/en12081414>
- Tanabe, S. I., Nishihara, N., & Haneda, M. (2007). Indoor temperature, productivity, and fatigue in office tasks. *HVAC and R Research*, 13(4), 623–633. <https://doi.org/10.1080/10789669.2007.10390975>
- Thapa, S., Bansal, A. K., & Panda, G. K. (2018). Thermal comfort in naturally ventilated office buildings in cold and cloudy climate of Darjeeling, India – An adaptive approach. *Energy and Buildings*, 160, 44–60.
<https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2017.12.026>

- Thapa, S., Bansal, A. K., Panda, G. K., & Indraganti, M. (2018). Adaptive thermal comfort in the different buildings of Darjeeling Hills in eastern India – Effect of difference in elevation. *Energy and Buildings*, 173, 649–677.
<https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2018.05.058>
- Thomas, L. E. (2017). Combating overheating: mixed-mode conditioning for workplace comfort. *Building Research & Information*, 45(1–2), 176–194.
<https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1252617>
- Tiller, D., Wang, L., Musser, A., & Radik, M. (2010). AB-10-017: Combined effects of noise and temperature on human comfort and performance (1128-RP). *Architectural Engineering -- Faculty Publications*.
<https://digitalcommons.unl.edu/archengfacpub/40>
- Trebilcock, M., Soto-Muñoz, J., & Piggot-Navarrete, J. (2020). Evaluation of thermal comfort standards in office buildings of Chile: Thermal sensation and preference assessment. *Building and Environment*, 183, 107158.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107158>
- Van Der Voordt, T. J. m. (2004). Productivity and employee satisfaction in flexible workplaces. *Journal of Corporate Real Estate*, 6(2), 133–148.
<https://doi.org/10.1108/14630010410812306/FULL/XML>
- Van Meel, J. (2001). *The European office : office design and national context* (2nd Editio). 010 Publishers.
- Vijayasree, A. V. (2019). A Study of Challenges in Designing and Construction of Skyscrapers. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 8. www.ijert.org
- Virote, J., & Neves-Silva, R. (2012). Stochastic models for building energy prediction based on occupant behavior assessment. *Energy and Buildings*, 53, 183–193. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.001>
- Vischer, J. C. (2017). Building-in-use assessment: Foundation of workspace psychology. In *Building Performance Evaluation: From Delivery Process to Life Cycle Phases* (pp. 129–139). Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-56862-1_10
- Vischer, J. C., & Wifi, M. (2017). *The effect of workplace design on quality of life at*

- work. In *Handbook of environmental psychology and quality of life research*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31416-7_21
- Wang, D., Zhang, H., Arens, E., & Huizenga, C. (2007). Observations of upper-extremity skin temperature and corresponding overall-body thermal sensations and comfort. *Building and Environment*, 42(12), 3933–3943. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.035>
- Wargorcki, P., & Seppänen, O. (2006). *REVHA Guidebook N°6. Indoor environment and productivity in office environment. How to integrate productivity in life-cycle cost analysis of building services*.
- Wyon, D. P., & Wargocki, P. (2006). Room temperature effects on office work. In *Creating the productive workplace* (Taylor & F, pp. 181–192).
- Yan, D., & Hong, T. (2018). *Definition and Simulation of Occupant Behavior in Buildings Annex 66 Final Report Operating Agents of Annex 66*. www.iea-ebc.org
- Yan, D., Hong, T., Dong, B., Mahdavi, A., D'Oca, S., Gaetani, I., & Feng, X. (2017). IEA EBC Annex 66: Definition and simulation of occupant behavior in buildings. *Energy and Buildings*, 156, 258–270. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.084>
- Yang, W. (2017). Effects of Noise on Indoor Thermal Sensation and Comfort. *KIEAE Journal*, 17(1), 83–89. <https://doi.org/10.12813/kieae.2017.17.1.083>
- Yang, W., Moon, H. J., & Jeon, J. Y. (2019). Comparison of Response Scales as Measures of Indoor Environmental Perception in Combined Thermal and Acoustic Conditions. *Sustainability 2019, Vol. 11, Page 3975*, 11(14), 3975. <https://doi.org/10.3390/SU11143975>
- Zhang, F., de Dear, R., & Hancock, P. (2019). Effects of moderate thermal environments on cognitive performance: A multidisciplinary review. *Applied Energy*, 236, 760–777. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.005>
- Zhang, H., Arens, E., Fard, S. A., Huizenga, C., Paliaga, G., Brager, G., & Zagreus, L. (2007). Air movement preferences observed in office buildings. *International Journal of Biometeorology*, 51(5), 349–360. <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0079-y>

7. Anexos

Artículo 1: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107158>

Artículo 2: <https://doi.org/10.1080/09613218.2021.1897501>

Artículo 3: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108696>