

*Thermal comfort assessment
for 10 public buildings in
Chile during the winter
season*

Evaluación del confort térmico en recintos de 10 edificios públicos de Chile en invierno



Autores

MOLINA, C. Pontificia Universidad Católica de Chile
cdmolina@uc.cl
Santiago, Chile

VEAS, L. Pontificia Universidad Católica de Chile
lveas@uc.cl
Santiago, Chile

Fecha de recepción 18/06/2012

Fecha de aceptación 24/07/2012

Resumen

El confort ambiental es un parámetro esencial en cualquier recinto de trabajo y cada día toma más fuerza, pero poco se conoce. Se midieron variables ambientales y realizaron encuestas de satisfacción en 10 edificios públicos en uso en Chile, obteniéndose el Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPI), Voto Medio Previsto (PMV), Porcentaje de Insatisfechos (PI) y Voto Medio (MV). Se comparan las condiciones neutrales recogidas en las normas ISO7730 y ASHRAE55, y los índices calculados. Además, se analizan las encuestas de satisfacción y posibles factores de adaptación. Los resultados arrojaron bajo porcentaje de aceptabi-

lidad ambiental principalmente en las 4 escuelas debido a la mala calidad de aire y bajas temperaturas, correlacionándose positivamente con las encuestas realizadas y entre la diferencia de temperaturas efectiva y operativa, que llega hasta -10,05. En el 80% de los edificios prefieren ambientes más cálidos en invierno, desplazándose el neutro en +0,52 puntos en la escala de sensación térmica. Se espera que este tipo de investigaciones vayan en aumento dada la real necesidad del país de contar con recintos confortables que mejoren la productividad y aceptación de los usuarios por su ambiente de trabajo.

Palabras clave: Confort térmico, PPI, PMV, adaptación.

Abstract

Environmental comfort in working space is an essential component in any architectural project and takes more strength every day, but little is known about. Environmental variables were measured and surveyed satisfaction of 10 public buildings in use throughout Chile obtaining the predicted percentage of dissatisfied (PPI), predicted mean vote (PMV), Percentage of Dissatisfied (PI) and mean vote (MV). We compare the neutral conditions contained in the standards ISO 7730 and ASHRAE 55, and the calculated indices. Also discusses the satisfaction surveys and possible adaptation factors. The results

showed low level of environmental acceptability in 4 schools mainly because of poor air quality and low temperatures, correlating positively with the surveys and the difference between operational and effective temperature, which reaches -10.05 °C. In 80% of the buildings prefer warmer environments in winter, moving the neutral +0.52 points on the scale of thermal sensation. It is hoped that such investigations will go in rise given the country's real need to have comfortable venues that improve productivity and user acceptance for their work environment

Keywords: Thermal comfort, PPI, PMV, Adaptation.

1. Introducción

Concepto de confort en el ser humano

El interés en el bienestar ambiental del ser humano ha estado presente desde Sócrates y Vitruvio, procurando crear y construir ambientes adecuados en función del clima de la zona, sobre todo por razones de confort y salud (Auliciems & Szokolay, 2007). Pero no fue sino hasta el siglo XX cuando se comenzó a investigar más profundamente sobre este tema y el impacto que este concepto tiene en la producción y mejoramiento de la calidad de vida de la población. Junto con el desarrollo del diseño, las tecnologías, mejoramiento de los sistemas y técnicas constructivas, se han creado equipos y técnicas de control ambiental que no siempre son consideradas por los diseñadores, anteponiendo la arquitectura por sobre los componentes energéticos y ambientales.

En consecuencia, diversos arquitectos e investigadores han deseado a lo largo de los años crear y estandarizar ambientes cada vez más confortables al menor costo energético y contaminación ambiental, evitando comprometer la salud de los usuarios, permitir que estos se sientan confortables, y fomentar su buen desempeño. Numerosos estudios (Frontczak & Wargock, 2011; Mahdavi & Unzeitig, 2005) demuestran que el rendimiento está estrechamente relacionado con las condiciones ambientales, que estas condiciones cambian de una persona a otra, y dependen de múltiples factores como: luz natural, iluminación, ruido ambiental, calidad de aire, confort térmico, entre otros.

El conocimiento de lo que realmente aprecian y valoran del ambiente las personas que trabajan o utilizan estos espacios es esencial para focalizar las estrategias de mejora y estándares de diseño de los edificios públicos del país.

a) Confort ambiental

“Una persona se encuentra confortable cuando puede observar y sentir un fenómeno sin preocupación o incomodidad” (Corbella & Yannas, 2003). Así, es posible hablar de confort térmico, acústico y lumínico, como variables del confort ambiental. Si alguno de los factores que afectan el confort del usuario se eleva por sobre ciertos límites, a largo plazo se produce un estrés negativo en el cuerpo que puede desencadenar en diversas enfermedades físicas y psicológicas asociadas.

Las principales estrategias ambientales a desarrollar en un edificio que responda a estas interrogantes, nacen

a partir de los datos climáticos y estimaciones de uso del lugar. Estas conllevan a controlar las pérdidas y ganancias de calor, iluminación natural, energía térmica del edificio, eliminar el exceso de humedad del interior, controlar el movimiento del aire, nivel de ventilación y renovaciones de aire para mejorar la calidad de este; y controlar las concentraciones de gases contaminantes procedentes tanto de las actividades humanas y de calefacción, como de los materiales de construcción (COV). Finalmente, promover el uso de iluminación natural sobre la artificial sin perjudicar las ganancias de calor, y mantener controlado el ruido interior y exterior (Corbella & Yannas, 2003).

b) Confort higrotérmico

Esta variable ambiental no fue importante hasta la crisis del petróleo (1973), cuando el precio de los combustibles aumentó considerablemente afectando la economía mundial. El confort térmico es definido por la ASHRAE 55 y UNE-EN ISO 7730 como el “estado de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico”. Se señala que este es alcanzado cuando el cuerpo está en balance térmico, es decir, cuando realizando cierta actividad, no se experimenta un estrés térmico para corregir la energía que produce el cuerpo internamente, manifestado a través de la transpiración excesiva o escalofríos. Otra variable importante se relaciona con la concentración de vapor de agua a la temperatura existente (humedad relativa), variando la percepción que se tiene del ambiente térmico, ya sea mejorándola o empeorándola según sea el caso.

Este estado se indica dentro de una zona de confort representada en un gráfico psicométrico (ver Figura 5), en donde se señalan las condiciones higrotérmicas en las cuales la mayoría de las personas se encuentran a gusto. Sin embargo, al ser un estado subjetivo, cambia de persona a persona por razones tanto psicológicas como fisiológicas, lo que ha dado origen a dos distintos enfoques de análisis.

Enfoques racional y adaptativo

En la actualidad se realizan dos diferentes enfoques para estudios del confort térmico de los usuarios. Uno de ellos corresponde al enfoque racional o estático, base teórica de las normas mencionadas y fundamentada principalmente en los estudios de Fanger y el balance térmico. Este enfoque no toma en cuenta variables como el contexto, los mecanismos de aclimatación del usuario, variables demográficas, y psicológicas. En cambio, estos factores sí son incluidos en los estudios realizados según el enfoque adaptativo, donde el usuario es un actor activo que interactúa con

el ambiente, adaptándose y modificándolo según sus preferencias y comodidad.

Enfoque racional

Fanger (1972) estudió el comportamiento del cuerpo sano, adulto y sedentario al estar en estado de confort, relacionándolo finalmente con la temperatura superficial de la piel. Según su estudio, para conseguir este estado hay tres variables principales que deben permitir que el calor emitido por el cuerpo sea igual a la producción interna del mismo. Estas son: vestimenta, actividad que se está realizando o metabolismo, y ambiente externo. Al hacer variar cualquiera de estas la temperatura de confort variará, produciendo en el cuerpo respuestas fisiológicas en forma proporcional a la incomodidad térmica percibida.

El resultado de la investigación fue la creación de la ecuación de confort, usada comúnmente en estudios de campo y recogida por las normas ISO 7730 y ASHRAE 55 para relacionar el confort térmico de un grupo de individuos a una escala de sensación térmica. Esta escala va desde el nivel -3 (frío) a +3 (calor), índice llamado Voto Medio Estimado (PMV por sus siglas en inglés), y se puede relacionar este valor con el Porcentaje Previsto de personas Insatisfechas (PPI o PPD por sus siglas en inglés), teniendo como valor mínimo un 5%. Esto quiere decir que, modificando todos los parámetros ambientales para conseguir que el valor del PMV sea 0 o neutro, como máximo se puede obtener al 95% de personas satisfechas en esas condiciones.

Con estos valores es posible clasificar térmicamente el entorno como Aceptable según la clasificación de la norma UNE-EN ISO7730:1996 si el PPD es inferior al 10% y el PMV se encuentra en el rango $-0,5 < PMV < 0,5$. Por otro lado, una segunda clasificación nace a partir de la norma ASHRAE 55, la que asigna a los recintos un

estándar de confort Clase A, B y C, dependiendo de los resultados del PMV y PPD. La clase A ($-0,2 < PMV < 0,2$ y $PPI > 6$) es obtenida con valores cercanos a los máximos o mejores, la clase B ($-0,5 < PMV < 0,5$ y $PPI > 10$) también está dentro de lo que la norma ISO clasifica como Aceptable, y la Clase C ($-0,7 < PMV < 0,7$ y $PPI > 15$) clasifica fuera del rango Aceptable por esa norma, pero ciertos recintos pueden ser diseñados con la calidad que esa Clase toma como aceptable.

Enfoque adaptativo

Finalmente, el análisis o percepción subjetiva del ambiente térmico comúnmente se realiza a través de una encuesta de aceptabilidad y preferencia, relacionada también con la escala de de sensación térmica de los 7 puntos de Fanger, donde el resultado arroja el porcentaje Voto Medio (MV) y Porcentaje de Insatisfechos (PI) y permite correlacionar estos resultados con los correspondientes a la percepción objetiva de neutralidad térmica.

Diversos estudios (van Hoof & Hensen, 2007) han demostrado que al tomar en cuenta ambos enfoques, y no limitar el estudio solo a lo que hacen referencia las normas, trae numerosas ventajas en estudios de campo para analizar la aceptabilidad real de los usuarios, lo que no necesariamente se logra a las temperaturas indicadas por las normas. Sin embargo, son irrelevantes en estudios de laboratorio en cámara climática, como lo hizo Fanger.

Las normas usadas actualmente pretenden ser aplicables a cualquier tipo de edificio, cualquier tipo de ventilación, patrón de ocupación y zona climática. A partir de esta hipótesis, el desafío de los investigadores y profesionales involucrados en el tema es realizar estudios de campo para comprobar su eficacia a menor escala.

2. Caracterización de los edificios

Tabla 1: Características de los 10 edificios estudiados

Región	II	III	X	XI	XI					
Edificios	1	3	5	7	9					
Datos climáticos	Latitud	23°39'05" S	Latitud	27° 15' S	Latitud	39°7'0,07"S	Latitud	41°27'26.19"S	Latitud	45°23'71" S
	Longitud	70°24'07" O	Longitud	70° 46' O	Longitud	71°28'23,48", O	Longitud	72°55'43.33" O	Longitud	72°41'18" O
	Altura geográfica	8 msnm	Altura geográfica	210 msnm	Altura geográfica	839 msnm	Altura geográfica	15 msnm	Altura geográfica	8 msnm
	Tipo de clima[1]	Norte Litoral	Tipo de clima	Norte Litoral	Tipo de clima	Sur Interior	Tipo de clima	Sur Litoral	Tipo de clima	Sur extremo

Región	II	III	X	XI	XI					
Edificios	1	3	5	7	9					
Datos climáticos	Latitud	23°40'18"S	Latitud	27° 21' S	Latitud	39°21'29.33"S	Latitud	41°27'26.19"S	Latitud	47°115'11"S
	Longitud	70°23'52"O	Longitud	70° 20' O	Longitud	71°35'23.28"O	Longitud	72°55'43.33"O	Longitud	72°34'29"O
	Altura geográfica	85 msnm	Altura geográfica	381 msnm	Altura geográfica	420 msnm	Altura geográfica	15 msnm	Altura geográfica	148 msnm
	Tipo de clima	Norte Litoral	Tipo de clima	Norte Valles Transversales	Tipo de clima	Sur Interior	Tipo de clima	Sur Litoral	Tipo de clima	Sur extremo

Fuente: elaboración propia.

3. Toma de datos

A partir del proyecto INNOVA/CORFO N° 09 CN 14-5706 desarrollado por un consorcio tecnológico coordinado por el Instituto de la Construcción, durante los años 2010 y 2011 se monitorizaron 10 edificios en 5 regiones a lo largo del país (ver Tabla 1). Entre los edificios estudiados se encuentran recintos de oficinas (5), de uso educacional (4) y de servicio (1). Se realizaron 2 campañas de mediciones durante un año, tanto en temporada de invierno como de verano, durante las cuales se monitorizaron, entre otras, variables ambientales y energéticas que permitieron realizar un completo análisis de desempeño del edificio durante 1 semana.

Para contar con la percepción de los usuarios se les realizó una encuesta a las personas que realizaban actividades en los recintos diariamente. Estas fueron 64 personas durante el verano y 81 personas en la campaña de invierno.

En el presente estudio se analizarán condiciones de confort térmico durante la campaña de invierno para cada recinto de trabajo observado.

4. Objetivos del análisis

El presente artículo tiene por objetivos realizar los análisis pertinentes que pretende responder dos interrogantes, a saber:

Por un lado, ¿son aplicables las normas ASHRAE 55 e ISO 7730 como referencia para estudios de confort térmico en los edificios medidos? Para contestar a esta interrogante se realizó una comparación entre el estudio realizado por Fanger en cámaras controladas y reflejado en las normas anteriormente mencionadas, lo demarcado por Givoni en el gráfico psicométrico

como zona de confort, y el estudio de campo realizado en los 10 edificios públicos a lo largo de Chile. Este análisis presupone al individuo como un actor pasivo frente a los estímulos del ambiente, y se basa en la teoría del balance térmico del cuerpo (de Dear, Brager, & Cooper, 1997).

Por otro, ¿son los parámetros ambientales derivados de los estudios de Fanger y utilizados para considerar un ambiente como "neutral" similares a los considerados neutrales por los usuarios de los edificios estudiados? Para esto se debe analizar la aceptabilidad real del ambiente térmico a partir de las encuestas de satisfacción, respuestas que se ven influenciadas por diversos factores como: el contexto, comportamiento, personalidad y expectativas de los usuarios al contestar la encuesta de satisfacción. Los diversos estudios realizados sobre este tema han dejado el cuestionamiento sobre si a las personas que habitan climas no templados, les gusta sentir neutralidad con el medio ambiente en el que trabajan o se inclinan por ambientes más cálidos o más frescos, influenciados por el clima predominante en la zona (Humphreys & Hancock, 2007). Esto ha derivado en el modelo de adaptación del confort térmico, basado en que el cuerpo sano reacciona constantemente frente al ambiente que lo rodea realizando ajustes de tipo adaptativo según sus gustos y preferencias, lo que se manifiesta a través de mecanismos de adaptación tanto relacionados con el comportamiento, como de tipo psicológico y fisiológico.

Con estos resultados se pueden efectuar recomendaciones de diseño de los ambientes evaluados o de manejo de los sistemas de calefacción y ventilación para aumentar o disminuir la temperatura interior. Esto, sin embargo, puede implicar un aumento en la tasa de PPI dada por la norma ISO7730, debido a que estos cálculos están basados en parámetros universalmente establecidos como de confort, y no reflejan la realidad de un grupo más acotado de personas.

5. Metodología de análisis

Se realizaron 2 tipos de análisis. El primero es de tipo racional o matemático, donde se estudiaron los valores PMV y PPI de cada recinto monitorizado. Estos valores se calculan a partir de las mediciones de los parámetros ambientales y de las condiciones de trabajo de los usuarios tales como la vestimenta y actividad metabólica.

El segundo enfoque del estudio es de tipo adaptativo, para analizar la aceptabilidad real que tienen los usuarios de las condiciones térmicas del edificio, para el cual se utilizaron las encuestas de satisfacción. Este último análisis corresponde a un resultado subjetivo, ya que influyen factores tales como la cultura, el clima, y la adaptación de tipo social, psicológica y conductual. (Djongyang, Tchinda, & Njomo, 2010)

Para realizar el análisis de los resultados de la encuesta, se seleccionaron las preguntas que arrojan respuestas de los usuarios relacionadas con la Aceptabilidad y Preferencia en temas térmicos.

Se entiende aceptabilidad como la percepción del usuario a través de la escala de los 7 valores de Fanger, que en este estudio fue registrada para los horarios de mañana, tarde y promedio del día, y se calculó como el promedio de los votos registrados MV (Voto Medio).

Para calcular el porcentaje de personas que se encuentran inconformes con el ambiente (PI), se calculó el porcentaje de valores -3, -2, +2 y +3 a partir de los votos de percepción térmica del recinto por cada usuario. En cambio, la preferencia de los usuarios se obtuvo en función de cada valor entregado en la pregunta sobre aceptabilidad, contabilizando los resultados que expresan la preferencia por un ambiente más cálido o más fresco independiente del valor respondido, y sin tomar en cuenta la calidad del aire, como tampoco las personas que no le harían cambios a la temperatura.

Los datos ambientales registrados se encuentran dentro de los límites que recomienda la norma UNE-EN ISO7730 para el uso de las ecuaciones de Fanger, con excepción del Edificio 9 (XI Región) donde se registraron valores de humedad relativa levemente mayores al 70% recomendado. Para efectos de este análisis, fueron consideradas geográficamente como zona norte las regiones II y III; como zona sur las regiones IX y X; y como zona extremo sur la XI Región.

6. Resultados

Los resultados de ambos métodos, es decir, los obtenidos usando la ecuación de Fanger y los recogidos por las encuestas, se muestran a continuación:

Tabla 2: Resultados y clasificación de los recintos durante el invierno de acuerdo a dos referencias internacionales. Los resultados PMV y PPI corresponden al promedio del día

EDIFICIOS	REGIÓN	USO	PMV	MV	PPI	PI	ISO 7730	ASHRAE 55	T° OPERATIVA	T° EFECTIVA
MOP	II	OFICINA	-0,3	-0,4	6,5	30	ACEPTABLE	CLASE B	20,5	20,33
LABOCAR	II	OFICINA	-0,5	-1,7	10,3	66,67	N/A	CLASE C	20,5	19,1
AEROPUERTO	III	SERVICIO	-0,6	-1,3	12,9	50	N/A	CLASE C	19,8	17,9
MOP	III	OFICINA	0,0	0,7	5,0	33,3	ACEPTABLE	CLASE A	20	21,25
RUCAMANKE	IX	ESCUELA	-2,0	-2,0	76,2	71,4	N/A	N/A	19,8	9,75
FCO VALDÉS	IX	ESCUELA	-1,0	-0,7	25,7	12,5	N/A	N/A	19,8	14,95
PDI	X	OFICINA	0,2	0,5	5,8	0	ACEPTABLE	CLASE A	20	22,15
MOP	X	OFICINA	-0,1	0,9	5,2	0	ACEPTABLE	CLASE A	20,5	21,15
GABRIELA MISTRAL	XI	ESCUELA	-2,0	1,0	78,4	0	N/A	N/A	20,5	11,7
TENIENTE MERINO	XI	ESCUELA	-1,1	0,4	30,2	60	N/A	N/A	21,7	15,25

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del proyecto INNOVA/CORFO N° 09 CN 14-5706.

7. Discusión

En general se obtuvo una diferencia entre el PMV y la aceptabilidad real del usuario MV (ver Tabla 1), además de la tendencia de mejorar la percepción térmica durante la tarde (Las Figuras 1 y 2 se muestran como ejemplo).

Lo anterior podría tener su explicación en la adaptación psicológica del sujeto al ambiente durante la mañana. Esta depende de las actividades que estén realizando las personas, la vestimenta, personalidad, experiencia previa y expectativas. La forma de adaptación o climatización que tienen los usuarios viene dado por una respuesta de sí mismo para ajustar las variables del ambiente según sus preferencias y niveles de confort, y se presentan en forma paralela a la respuesta fisiológica del cuerpo desencadenando en lo que se manifiesta como percepción y sensación térmica (de Dear, Brager, & Cooper, 1997, págs. 12-13). En el caso de los recintos educacionales, juega un rol fundamental el contexto social que se presenta, donde el comportamiento y libertad de adaptación se encuentran restringidos por los profesores y el resto de los alumnos de la sala.

Además, al mantenerse las mismas condiciones ambientales durante un tiempo, se desencadenan procesos o mecanismos de adaptación del cuerpo humano. Estos procesos se diferencian en tres tipos (Yao, Li, & Liu, 2009): Adaptación debido a cambios en el comportamiento, adaptación de tipo fisiológica, y finalmente de tipo psicológica, los que en general

comienzan luego de 1 hora. El primero de estos, relacionado con el comportamiento, es posible de encontrar con mayor frecuencia en los 6 edificios de oficina y de servicio que en las escuelas, ya que las personas que en ellos trabajan cuentan con la libertad de modificar su conducta, manifestándose en acciones tales como cambiar la actividad metabólica (met), modificar la vestimenta (clo), o incluso ingerir alimentos o líquidos calientes, para así acomodarse a las condiciones ambientales del momento. Consciente o inconscientemente, el usuario realiza de esta forma cambios en las variables que dependen de ellos mismos para corregir la percepción térmica. Por otro lado, la adaptación de tipo fisiológica se presenta después de un tiempo estando en el mismo ambiente térmico, forma que tiene el cuerpo de reducir el estrés que este le provoca (Buratti & Ricciardi, 2009). Sin embargo, esto no es tan evidente en ambientes moderados, sino solo en edificios en donde las condiciones térmicas como temperatura y humedad relativa exterior e interior se presentan fuera de ciertos límites. Tal es el caso de los 6 edificios de las zonas sur y extremo sur, con temperaturas exteriores durante la mayor parte del año muy bajas, y en especial en las 4 escuelas, donde las actividades que ahí se desarrollan restringen el movimiento durante las clases, y lo obligan a tomar otras formas de adaptación. Finalmente, la adaptación psicológica depende de las expectativas y experiencia previa del sujeto respecto de los parámetros de confort y a las condiciones ambientales a las que está siendo sometido, por ejemplo, el acostumbra a estar bajo ambientes climatizados artificialmente o a trabajar en recintos naturalmente ventilados. Esto es aplicable a

Figura 1: II Región – Edificio 1, invierno.

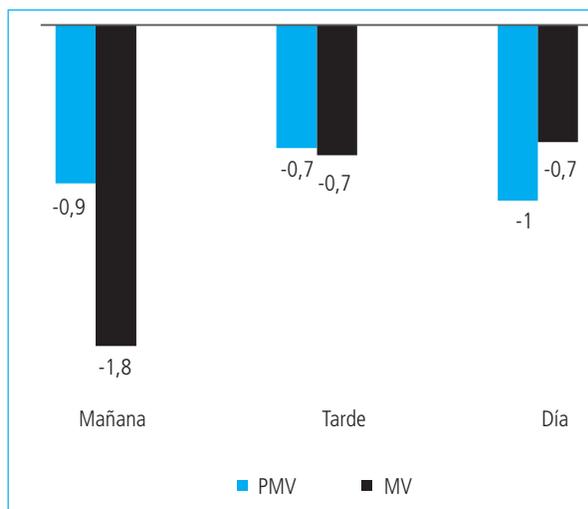
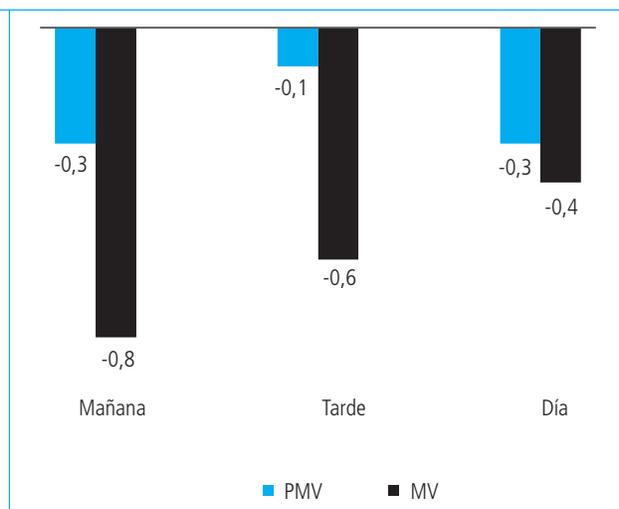


Figura 2: IX Región – Edificio 6, invierno.



Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos del proyecto INNOVA/CORFO N° 09 CN 14-5706.

todos los edificios de oficinas y salas de clases, en que los usuarios permanecen durante prolongadas horas del día bajo las mismas condiciones ambientales.

A partir de diversos estudios de campo realizados con esta teoría (de Dear, Brager, & Cooper, 1997), se ha llegado a especificar una temperatura de neutralidad para cada edificio que se ha estudiado, según las condiciones ambientales, ocupantes y costumbres.

De acuerdo a los estándares establecidos en las normas y referencias internacionales, según los datos registrados en la época de invierno se obtuvo que de los 10 edificios estudiados, solo las escuelas presentaron condiciones térmicas que las hacen ser insuficientes y fuera de cualquier clase (ver Tabla 2).

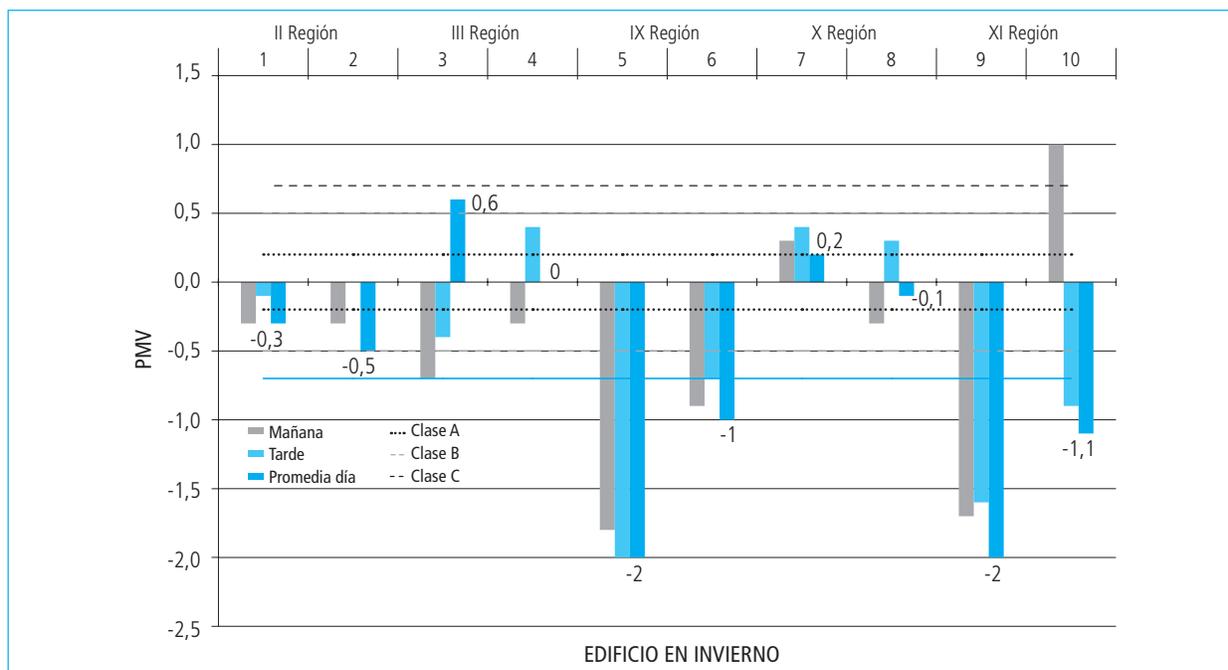
Los resultados de la encuesta de satisfacción realizada a los usuarios muestran que en el 80% de los edificios existe una preferencia hacia los ambientes o condiciones más cálidos que los definidos por Fanger para la época de invierno. Esta diferencia entre las correspondientes temperaturas neutrales para un mínimo PI, produce un desplazamiento del "Neutro" (valor 0) en la escala de sensación térmica (MV) hacia la zona o

sector "Cálido" con promedio de +0,52 entre los 10 edificios, es decir, las personas prefieren climas más cálidos durante el invierno. A pesar de esto, 6 edificios durante la mañana consideraron térmicamente neutral el ambiente y no le realizarían cambios.

En los edificios de oficinas, incluido el edificio de servicio, el valor calculado de PMV es menor (absoluto) al MV arrojado por las encuestas, es decir, las personas encuestadas sienten en realidad mayor incomodidad por la temperatura presente, ya sea mayor calor o frío, que lo predeterminado según la ecuación de Fanger, al contrario de lo que ocurre con las escuelas medidas (ver como ejemplo la Figura 1 Figura 2).

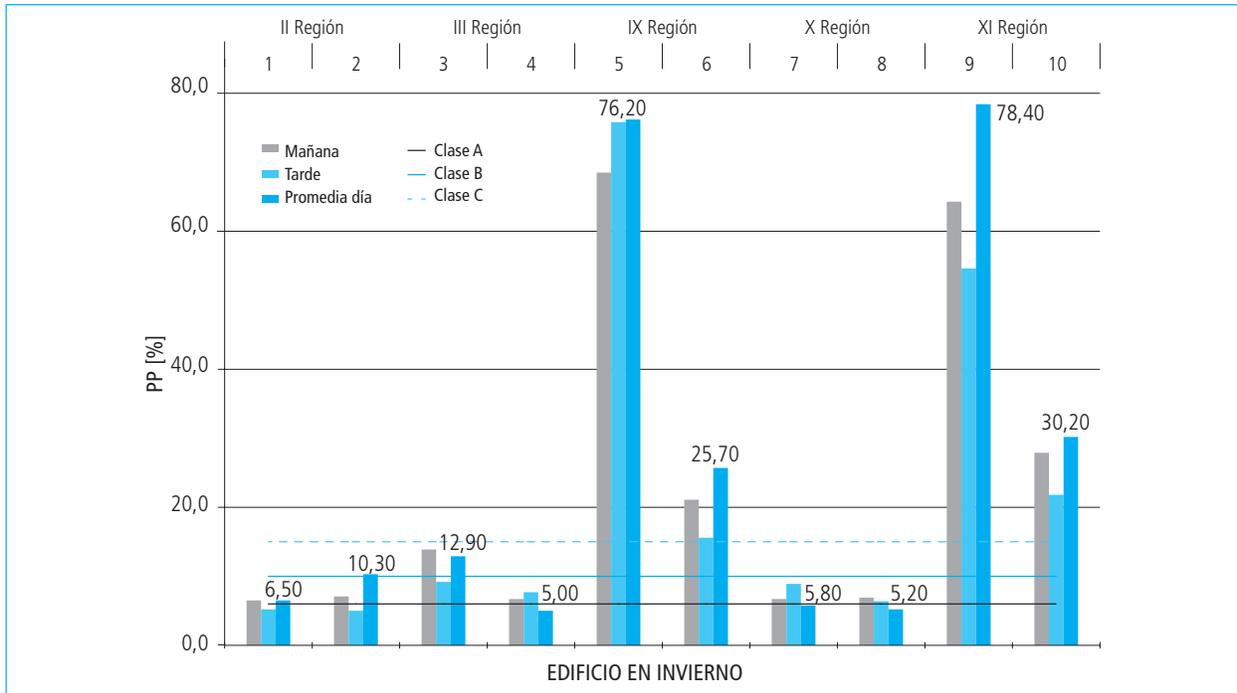
La variable temperatura de la ecuación de Fanger se muestra como de suma importancia y afecta en consideración al momento de diseñar y evaluar los recintos, ya que al ir aumentando la diferencia de temperatura entre la T° efectiva y la T° operativa (ideal para la vestimenta y actividades que realizan) la clasificación empeora (ver últimas dos columnas de la Tabla 2), y en los 3 edificios en que esta diferencia es positiva el nivel de confort térmico es de los mejores, obteniendo clase A según la ASHRAE 55. El promedio de la diferencia en

Figura 3: Voto Medio Previsto (PMV) de los 10 recintos durante las mediciones de invierno. No existe una tendencia por disminuir el PMV de Norte a Sur del país



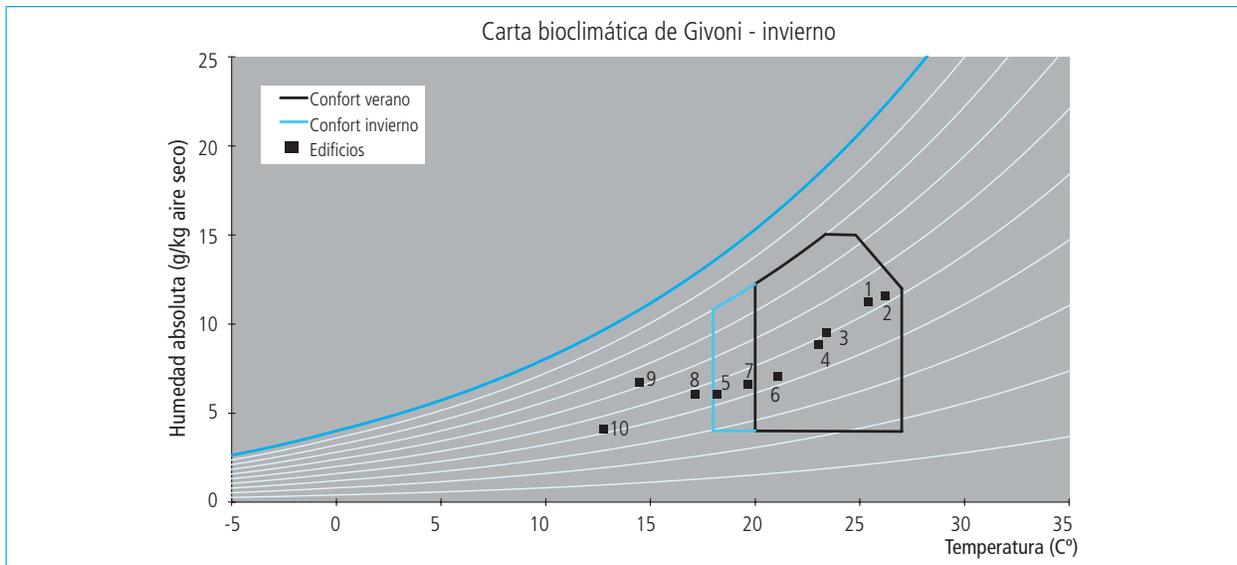
Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos del proyecto INNOVA/CORFO N° 09 CN 14-5706.

Figura 4: Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPI) de los 10 recintos durante las mediciones de invierno



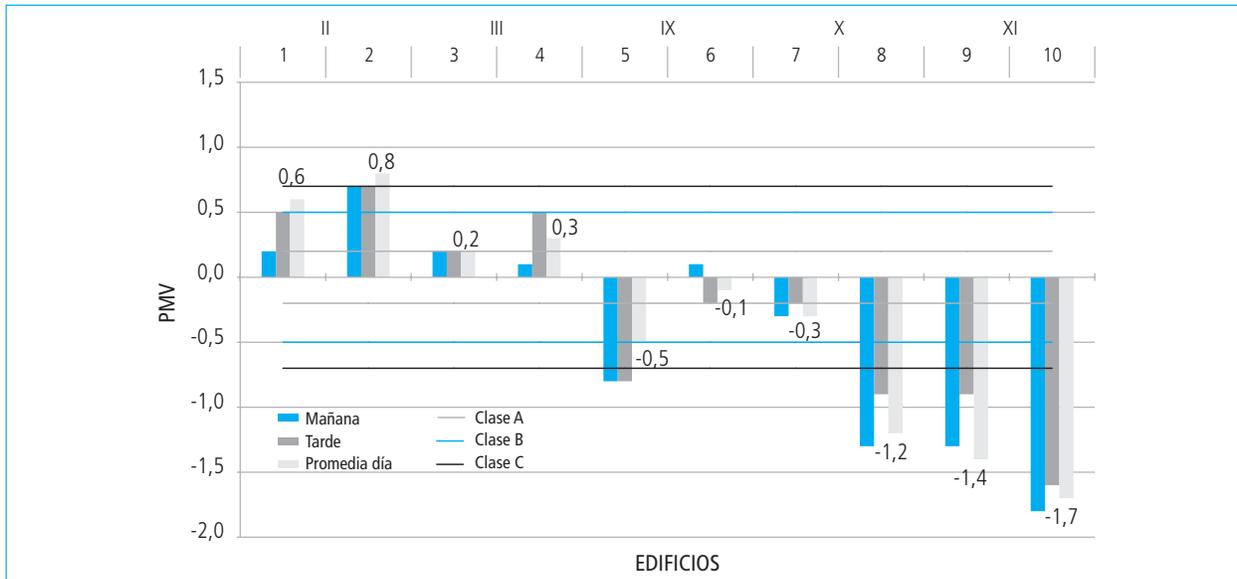
Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos del proyecto INNOVA/CORFO. N° 09 CN 14-5706

Figura 5: Diagrama bioclimático ubicando los 10 recintos estudiados durante la época de invierno con zona de confort de Givoni. Los cuatro recintos más alejados de la zona de confort (5, 6, 9 y 10) corresponden a los 4 establecimientos educativos estudiados



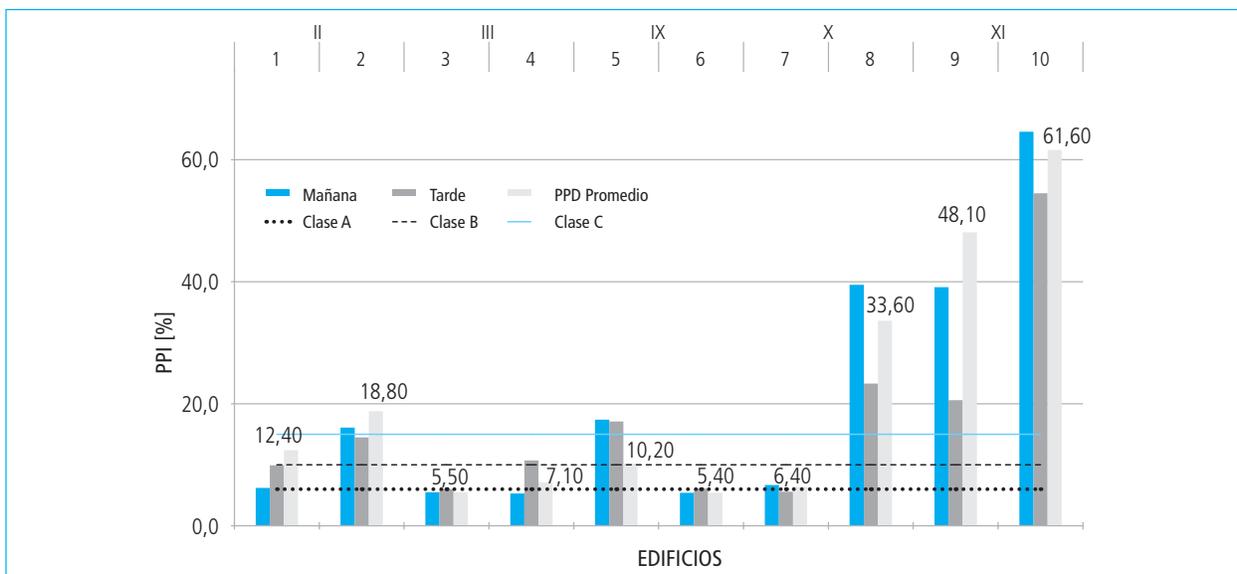
Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos del proyecto INNOVA/CORFO N° 09 CN 14-5706.

Figura 6: Voto Medio Previsto (PMV) de los 10 recintos a partir de las mediciones de verano. Destacan los edificios del sur, donde se mantienen las condiciones durante todo el año



Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos del proyecto INNOVA/CORFO N° 09 CN 14-5706.

Figura 7: Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPI) de los 10 recintos a partir del PMV. Los límites del 10% de PPI en 7 de los 10 edificios



Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos del proyecto INNOVA/CORFO N° 09 CN 14-5706.

estos edificios clase A es de $+1,35^{\circ}\text{C}$, correlacionándose con la preferencia generalizada de los usuarios por ambientes más cálidos que los considerados por Fanger ($\text{PMV}=0$) en sus estudios.

Destacan los resultados de los edificios escuelas. Estos arrojaron los más bajos valores de PMV, lo que se correlaciona con las condiciones ambientales presentes. Se registró una diferencia entre la temperatura efectiva y temperatura operativa en el lugar entre los $-5,4^{\circ}\text{C}$ y $-10,4^{\circ}\text{C}$, lo que hace evidente la incomodidad de los alumnos, respondiendo al nivel de aceptabilidad (sensación térmica) con el valor de $\text{MV}=-1.7$, el más bajo de los 10 edificios, y porcentaje de insatisfacción del 71,4%. En estas condiciones ninguna escuela cumple con los estándares internacionales indicados por la norma ISO7730 como tampoco en ninguna clase de la ASHRAE 55 para esta época del año.

Los edificios que presentaron una diferencia de temperatura negativa, es decir, bajo la óptima, fueron clasificados según la norma ISO7730 como inaceptable, y según la referencia ASHRAE 55 es de clase C, lo que continúa demostrando la preferencia hacia temperaturas más altas que bajas.

Finalmente, la aceptabilidad real (MV) en los edificios Clase A también es mayor que 0, indicando además su preferencia por aumentar la temperatura interior.

A continuación se presentan los resultados de PMV y PPI de los 10 recintos estudiados y su clasificación según la norma ASHRAE 55.

Correlacionando los resultados de las mediciones, la clasificación de estos según las normas, y zona de confort de Givoni en el ábaco psicométrico, se puede observar que los 4 recintos dentro de la Zona de Confort (ZC) son clase A o B según la norma ASHRAE 55 y clasifican como Aceptables según la norma ISO7730. Además, los recintos 2 y 3 más cercanos a la ZC de invierno son clasificados como clase C, y la norma ISO los clasifica como insuficientes.

8. Conclusiones

A través de la encuesta de satisfacción aplicada se pudo recoger información relacionada a la real percepción del ambiente térmico de cada uno de los usuarios

de los recintos y a los cambios que ellos les harían según sus preferencias, respuestas que varían de una persona a otra. Por otro lado, gracias a las mediciones realizadas durante las campañas de invierno y verano, fueron calculados los índices PMV y PPI para todos los recintos, resultados que fueron contrastados con los de las encuestas. Fue importante establecer que existe una tendencia generalizada, en todos los edificios estudiados para época de invierno, a preferir temperaturas más altas que las establecidas como temperaturas operativas neutrales según la vestimenta y actividades que se están desarrollando, y a percibir el ambiente más frío de lo que objetivamente es obtenido con las ecuaciones de Fanger. Es decir, a los usuarios de estos edificios, salvo algunas excepciones, no les gusta sentirse neutrales en el ambiente de trabajo, que para las referencias ASHRAE 55 y UNE-EN ISO 7730 es el valor $\text{PMV}=0$, sino con una tendencia hacia un ambiente más cálido ($\text{PMV}=+0,52$). Se demuestra, además, que los usuarios de estos recintos, tanto en oficinas como salas de clases, mejoran su confort térmico durante la tarde, y se acercan a los valores calculados con las mediciones realizadas. La zona de confort de Givoni representada en el gráfico ábaco psicométrico es un buen acercamiento de la percepción que tienen las personas del ambiente térmico durante el día (valores promedio).

Ninguna escuela cumple con los estándares internacionales indicados por la norma ISO7730 como tampoco en ninguna clase de la ASHRAE 55 para la época de invierno, y no se logra el confort de los usuarios debido principalmente a las bajas temperaturas interiores.

Las referencias citadas son una buena herramienta para tener un primer análisis sobre el confort térmico de estos edificios independiente del sistema de calefacción y ventilación que presenten. Sin embargo, se debe tener en cuenta la preferencia de los usuarios, que depende tanto de las actividades que realizan, costumbres y hábitos, haciendo variar la temperatura de confort levemente.

Futuros estudios ahondarán en la relación entre la temperatura interior, el confort térmico de los usuarios y el consumo de energía para un recinto específico, teniendo como objetivo disminuir el gasto en calefacción o enfriamiento de los edificios.

9. Bibliografía

Auliciems, A.; Szokolay S. (2007). Thermal Comfort. PLEA Note, 3. Recuperado de <http://www.arct.cam.ac.uk/PLEA/Document.aspx?p=9&ix=6&pid=4&prcid=40&ppid=524>

ASHRAE (2004). Thermal environmental conditions for human occupancy. (No. de publicación ASHRAE 55:2004), Atlanta, USA.

Buratti, C., & Ricciardi, P. (2009). Adaptive analysis of thermal comfort in university classrooms: Correlation between experimental data and mathematical models. *Building and Environment*, 44 (4), 674-687. doi:10.1016/j.buildenv.2008.06.001

Corbella, O., & Yannas, S. (2003). Em busca de uma Arquitetura Sustentável para os trópicos. Rio de Janeiro, Brasil: Revan.

De Dear, R., Brager, G., & Cooper, D. (1997). ASHRAE RP-884 - Developing an Adaptive Model of Thermal. Berkeley, Sydney.

DECON UC. (2011). Informe de diagnóstico escuela Teniente Merino. Santiago.

Djongyang, N., Tchinda, R., & Njomo, D. (2010). Thermal comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (9), 2626-2640. doi:10.1016/j.rser.2010.07.040

Frontczak, M., & Wargock, P. (2011). Literature survey on how different factors influence human comfort in

indoor environments. *Building and Environments*, 46 (4), 922-937. doi:10.1016/j.buildenv.2010.10.021

Humphreys, M., & Hancock, M. (2007). Do people like to feel 'neutral'? Exploring the variation of the desired thermal sensation on the ASHRAE scale. *Energy and Building*, 39, 867-874. doi:10.1016/j.enbuild.2007.02.014

Lan, L., & Lian, Z. (2010). Application of statistical power analysis - How to determine the right sample size in human health, comfort and productivity research. *Building and Environment*, 45, 1202-1213. doi:10.1016/j.buildenv.2009.11.002

Mahdavi, A., & Unzeitig, U. (2005). Occupancy implications of spatial, indoor environmental, and organizational features of office spaces. *Building and Environment*, 40, 113-123. doi:10.1016/j.buildenv.2004.04.013

Muhic, S., & Butala, V. (2004). The influence of indoor environment in office buildings on their occupants: expected-unexpected. *Building and Environment*, 39, 289-296. doi:10.1016/j.buildenv.2003.09.011

van Hoof, J., & Hensen, J. (2007). Quantifying the relevance of adaptive thermal comfort models in moderate thermal climate zones. *Building and Environment*, 42, 156-170. doi:10.1016/j.buildenv.2005.08.023

Yao, R., Li, B., & Liu, J. (2009). A theoretical adaptive model of thermal comfort - Adaptive Predicted Mean Vote (aPMV). *Building and Environment*, 44, 2089-2096. doi:10.1016/j.buildenv.2009.02.014

Este artículo se realiza con parte de los resultados del proyecto INNOVA/CORFO N° 09 CN 14-5706.