



Mariana E. Villavicencio Fernández

“Revisión estratégica del confort térmico en un auditorio diseñado con enfoque bioclimático”

p. 85 - 92

De los métodos y las maneras Número 3

Coordinador de la obra

Dr. José Iván Gustavo Garmendía Ramírez

Compilación y Diseño editorial

Mtra. Sandra Rodríguez Mondragón

DCG. Martín Lucas Flores Carapia

México

Universidad Autónoma Metropolitana

Unidad Azcapotzalco

Coordinación de Posgrado de

Ciencias y Artes para el Diseño

Primera edición impresa: **2018**

Primera edición electrónica en pdf: **2018**

<http://hdl.handle.net/11191/6138>

ISBN de la colección en versión impresa: **978-607-28-1322-9**

ISBN No. 3 versión impresa: **978-607-28-1325-0**

ISBN de la colección en versión electrónica: **978-607-28-1326-7**

ISBN No. 3 versión electrónica: **978-607-28-1333-5**



Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

2020:

Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco, Coordinación de Posgrado de Ciencias y Artes para el Diseño. Se autoriza la consulta, descarga y reproducción con fines académicos y no comerciales o de lucro, siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica. Para usos con otros fines se requiere autorización expresa de la institución.

Universidad
Autónoma
Metropolitana



Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**



Ciencias y Artes para el Diseño

**Cordinación de
Posgrado CyAD**

<http://cyadposgrados.azc.uam.mx/>

Revisión estratégica del confort térmico en un auditorio diseñado con enfoque bioclimático

Mariana E. Villavicencio Fernández

PROCESO METODOLÓGICO

Se entiende como ‘metodología’ al conjunto de métodos y procedimientos basados en principios lógicos que se siguen en un estudio o investigación (Sampieri, 2006).

En este capítulo se describe el proceso que sigue el presente proyecto de investigación para alcanzar los objetivos puntuales que serán detallados más adelante en este capítulo.

Primero se describe el objetivo general y los específicos; así como las preguntas de investigación, que sustituyen a la hipótesis, dado el carácter descriptivo del estudio. Se continúa con las metas y productos de la investigación, el diagrama que muestra la ruta crítica y el proceso sistemático para alcanzar el objetivo de la investigación. Se finaliza con el cronograma del trabajo.

Planteamiento de la investigación

Como parte del método científico, el proceso de construcción del proyecto de investigación consta del ordenamiento de las ideas por medio de la delimitación del problema a investigar, la formulación de objetivos y preguntas de investigación y la propuesta de capitulado (Sánchez, 2004). Para el presente caso, se comienza por cuestionar los métodos para determinar si las condiciones del hábitat construido son adecuadas y la forma en que se evalúa actualmente el diseño bioclimático (¿qué tiene más peso, la implementación de sistemas pasivos o el voto de confort de los usuarios?).

Para reducir la subjetividad, se han planteado investigaciones estadísticas que den solidez al estudio y se utilizan tres modelos de evaluación distintos para correlacionar los resultados. Al final se reportan los contrastes encontrados, donde se incorporan los aspectos cualitativos observados.

Objetivo general

El objetivo general es validar el planteamiento bioclimático del caso-estudio por medio de tres metodologías de evaluación del confort térmico.

Objetivos específicos

1. Contrastar los resultados del voto de confort térmico obtenidos a partir de tres metodologías de evaluación: estudios de campo (encuestas a usuarios), enfoque predictivo (simulaciones en DesignBuilder) y enfoque adaptativo (fórmula de deDear).
2. Discutir la relación entre las variables endógenas y exógenas (Figura 1) del caso-estudio con la satisfacción térmica de los ocupantes (confort térmico).
3. Comparar los rangos de confort térmico preestablecidos con los resultados de las metodologías planteadas.
4. Discutir si la propuesta original del edificio sigue siendo vigente.

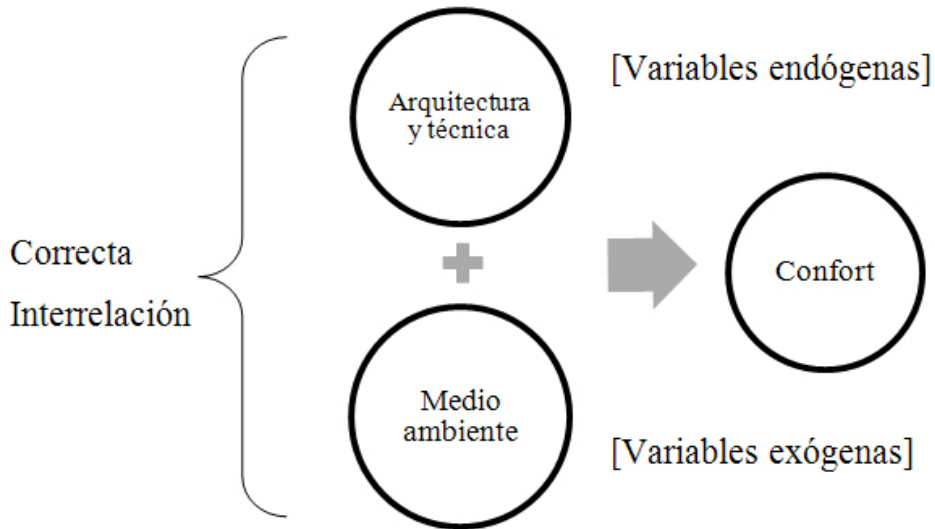


Figura 1. Relación entre variables endógenas y exógenas del medio construido. Diagrama de elaboración propia con información de Víctor Olgyay (1963).

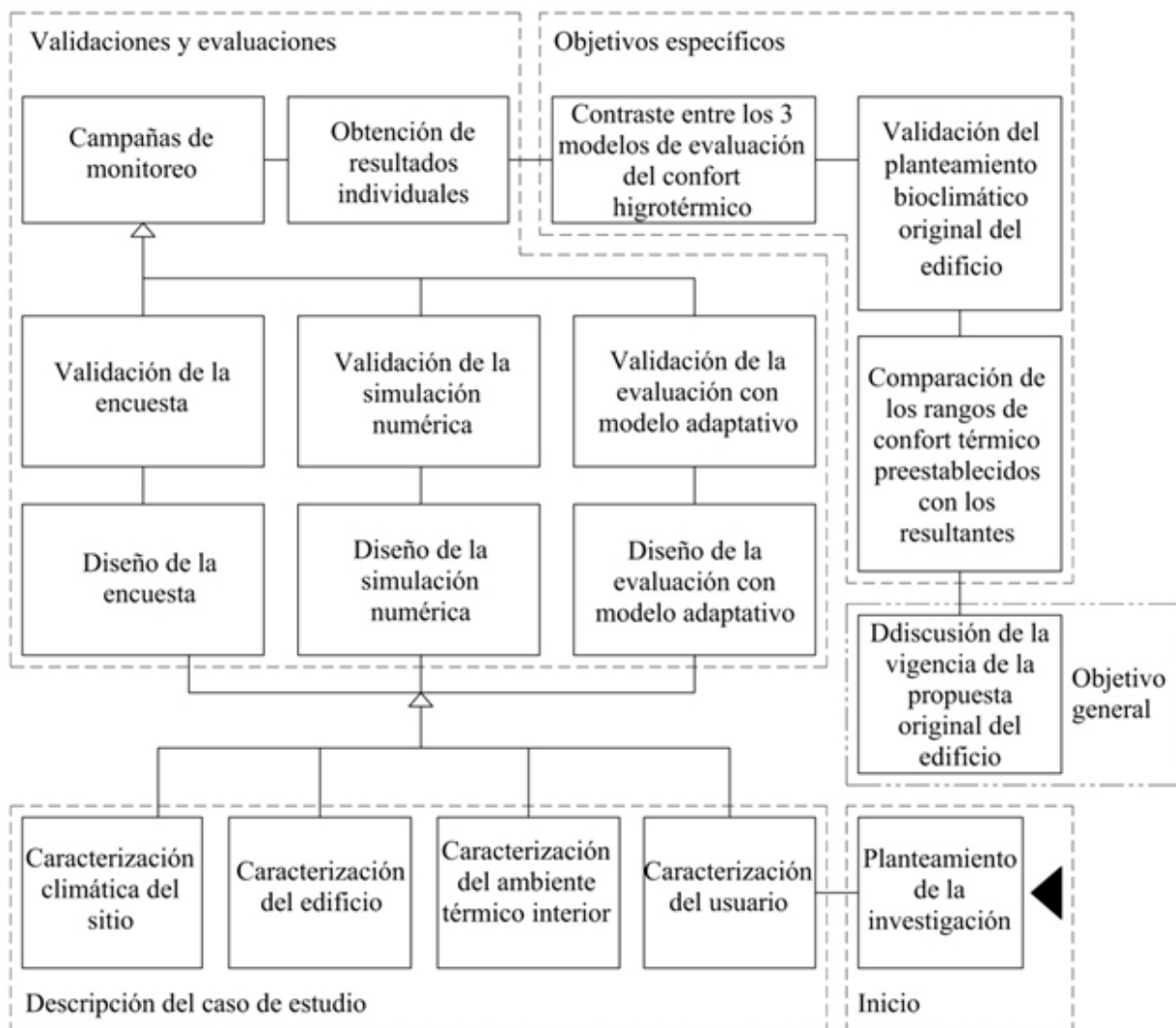


Figura 2. Diagrama de la metodología de la investigación

Preguntas de investigación

En lugar de una hipótesis, este documento propone 6 preguntas de investigación. Durante el proceso, ayudan a tener claridad sobre lo que pretende encontrarse a través de las evaluaciones y no perder el rumbo. Al final, se pretende responderlas y comprender sus fundamentos.

- ¿Un planteamiento bioclimático es suficiente para que el edificio sea considerado como tal, o se requiere saber si los usuarios están satisfechos térmicamente?
- ¿Se puede validar el planteamiento bioclimático a partir de los resultados de estudios de campo (encuestas)?
- ¿Se puede validar el planteamiento bioclimático a partir del enfoque predictivo?
- ¿Se puede validar el planteamiento bioclimático a partir del enfoque adaptativo?
- ¿Es posible validar el planteamiento bioclimático con las tres metodologías juntas?
- ¿Qué enfoque se asemeja más a la opinión de los usuarios, el predictivo o el adaptativo?

El factor estadístico se incorpora a través de las encuestas para indagar en términos de confort. Esto reduce la subjetividad del estudio. Por otro lado, el contraste entre tres metodologías de evaluación se reporta en términos cuantitativos. Se usan tres metodologías de evaluación dado que el estudio es básicamente teórico; es decir, se sabe que la percepción humana es compleja e involucra factores psicosociales, fisiológicos, genéticos (temperamento), de personalidad (carácter, pensamiento, motivación, disposición, humor, etcétera) y de asociación (recuerdos conscientes e inconscientes), entre otros (Lersch, 1966).

Así, cada una de las metodologías de evaluación otorga al estudio un punto de vista diferente, y en ocasiones, complementario a los de las otras metodologías.

Los elementos teóricos que sistematizan el proceso de investigación se limitan a una descripción del camino, pues la arquitectura no sigue una metodología específica ni lineal. La Figura 2 ilustra gráficamente, por medio de un diagrama, el proceso metodológico del estudio:

1. Planteamiento de la investigación.
2. Caracterización del caso de estudio y del diseño.
3. Desarrollo de las tres metodologías de validación del diseño bioclimático.
4. Realización de las campañas de monitoreo para obtención de resultados individuales para cada una de las metodologías.
5. Contraste de las 3 metodologías entre sí.
6. Validación del enfoque bioclimático del auditorio.
7. Comparación de los rangos de confort preestablecidos con los resultantes.
8. Determinación de la vigencia de la propuesta original del diseño.

DISEÑO DE LAS HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN DE LAS TRES METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN

Cada una de estas tres metodologías utiliza herramientas de medición para la evaluación del planteamiento bioclimático del auditorio. Para los estudios de campo, la herramienta de medición son las encuestas. Para el enfoque predictivo, la herramienta de medición es el modelo de simulación en DesignBuilder. Para el enfoque adaptativo, la herramienta de medición es la fórmula de deDear modificada para el caso de estudio. Por lo tanto, este apartado describe toda la actividad previa al desarrollo experimental, es decir, el diseño de las herramientas antes descritas.

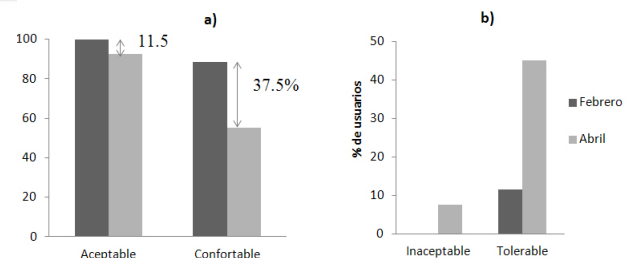


Figura 6. Tolerancia térmica. a) Aceptable/confortable; b) Inaceptable/soportable

Figura 3. Datos simulados para temperaturas exteriores e interiores (Ti y To) de un día típico

Diseño de la herramienta de medición para la validación por medio de estudios de campo (encuesta)

En algunos casos, la encuesta, herramienta de medición de los estudios de campo, se basa en la ISO 10551, ANSI/ASHRAE 55 u otros. La muestra total está conformada por 140 encuestas aplicadas (61 en febrero y 80 en abril), aunque en algunos casos los sujetos entrevistados se repiten. El método de selección para la aplicación del cuestionario es de tipo ‘Grupo II, por disponibilidad’.

La encuesta de confort térmico es simple (extensión corta y comprensible), práctica (opción múltiple) y accesible (a través de Internet, por escaneo de código QR o URL directa, o mediante hojas impresas, en caso de carecer de dispositivos electrónicos).

- Las preguntas se agrupan de la siguiente manera:
- Grupo 1: datos personales, preguntas 1 a 7.
- Grupo 2: sensación higrotérmica, preguntas 8 a 10.
- Grupo 3: preferencia, preguntas 11 y 12.
- Grupo 4: satisfacción, preguntas 13 y 14.

Diseño de la herramienta de medición para la validación por medio del enfoque predictivo (modelo de simulación).

El programa DesignBuilder analiza el confort a través de modelos que tienen en cuenta los mecanismos de intercambio de energía con los parámetros fisiológicos experimentales de una persona y utilizan escalas de siete o nueve puntos. Se utiliza el modelo de Fanger.

Para el diseño de la herramienta de medición, es decir, el modelo de DesignBuilder, se siguen 5 pasos, que van desde la construcción digital del auditorio hasta la validación del modelo o herramienta.

9. Modelado del edificio tal y como está construido, es decir, se consideran sus sistemas pasivos y constructivos.
10. Incorporación de datos climáticos, provenientes del epw proporcionado por el Instituto de Energías Renovables (IER), junto con los datos de actividad (cambios de aire, horario de ocupación, horario de ventilación nocturna).
11. Incorporación de datos de entrada o input, que corresponden a lo medido en la temporada fría (5 de febrero de 2016): número de ocupantes, clo promedio, considerando el aislamiento proporcionado por las sillas, y met promedio.
12. Simulación y graficado de los datos obtenidos para el horario del seminario (se grafica de 11

a 14 horas, aunque el seminario se lleva a cabo de 12 a 13:30 horas). Se hace la correlación con los datos medidos. La Figura 3 muestra la temperatura interior medida y simulada (Ti) en relación con la temperatura exterior medida (Te). Cabe señalar que la Figura 3 es meramente ilustrativa, pues sólo considera la temperatura, cuando el comportamiento de los edificios depende de una amplia gama de variables.

13. Se valida el modelo dado que la diferencia de temperaturas simulada y medida es de 0.36 °C durante el lapso de ocupación, lo suficientemente pequeña como para validar el modelo. Posteriormente, las simulaciones para temporada fría y para temporada cálida se llevan a cabo y se discuten en la sección de resultados.

LAPSO DE TIEMPO	FEBRERO %	ABRIL %
Día (a cada hora)	60, C	33, C
	39, DF	67, DC
Una hora	44, C	0, C

Tabla 1. Diferencias entre datos simulados y medidos

A continuación se presenta un diagrama a modo de resumen del proceso metodológico (Figura 4).

En su tesis doctoral, Zhao (2015) concluye que “un modelo de EnergyPlus, elaborado en la etapa de diseño, puede ser actualizado y utilizado a través de todo el proceso de DBO-EIM . En comparación con el funcionamiento típico de un edificio, la implementación de este proceso puede alcanzar un mejor rendimiento energético y mantener el confort térmico de los ocupantes”. Es decir, el autor demuestra que la trascendencia de un modelo de simulación va más allá de la etapa de diseño, pues sigue siendo útil después de la ocupación. En el estudio de Zhao (2015), el edificio que sirve como caso-estudio, implementa una plataforma en línea de pueden acceder los usuarios y participar en la operación del edificio para mejorar su confort personal.

Diseño de la herramienta de medición para la validación por medio del enfoque adaptativo (fórmula de deDear). El enfoque adaptativo es también parte de la discusión, porque a diferencia del predictivo, considera el efecto de la aclimatación. Estudios previos (Humphreys y Nicol, 1996; de Dear y Auliciems, 1998, 2000, 2005) muestran que este modelo es más dinámico y realista que las predicciones numéricas. Además, permite al

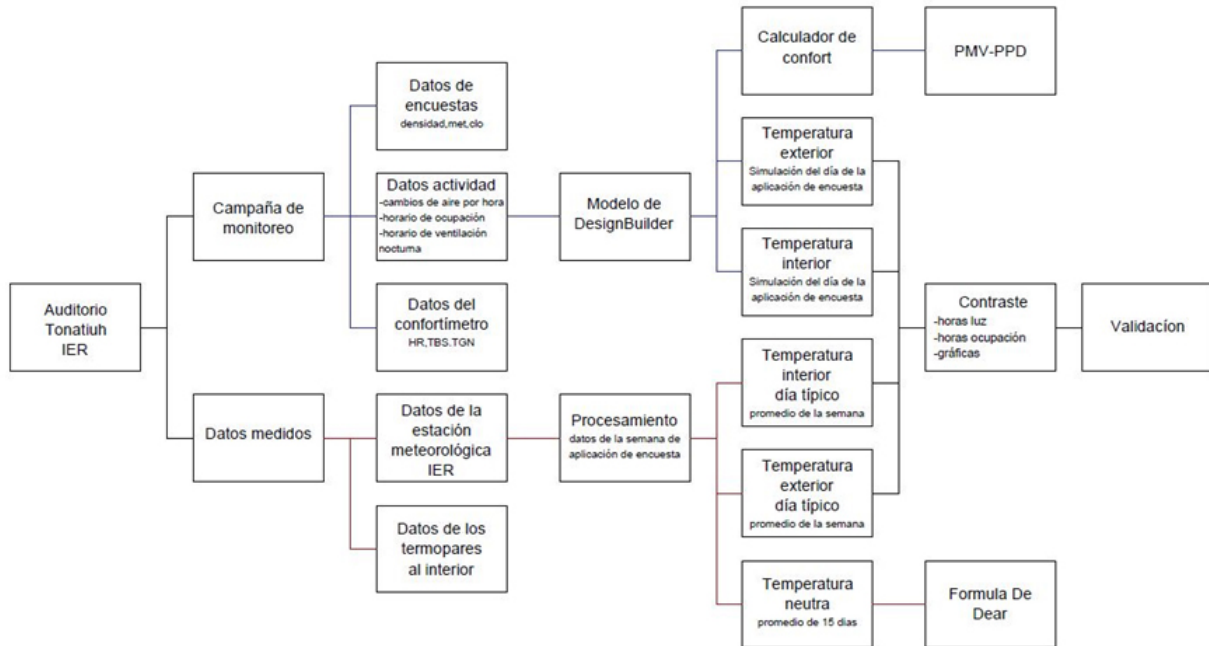


Figura 4. Diagrama de la metodología de validación del modelo de DesignBuilder, elaborado por Manuel Zurita (2016)

usuario ajustar su confort personal mediante el control de la ventilación natural a través de ventanas operables y su grado de arropamiento. Este trabajo se basa en la ecuación de de Dear, Brager y Cooper (1997):

$$TN=18,9+0,225 Tm$$

Donde TN es la temperatura neutra anual y Tm es la temperatura exterior media mensual. El rango de confort adaptativo que se toma es de ± 3 (Morillón, et al., 2004).

RESULTADOS

(CONTRASTES CUALI-CUANTITATIVOS)

La Tabla 1 reporta un análisis más profundo del enfoque adaptativo, dado que la fórmula de deDear dicta resultados drásticos: 100 ó 0% de confort. En esta ocasión se usa la misma fórmula para evaluar los resultados a cada 10 minutos, en vez de cada hora durante todo el día o la hora del seminario (12 a 13 horas). Como puede apreciarse, el enfoque adaptativo funciona con mayor precisión si se analiza en lapsos cortos de tiempo, como cada 10 minutos, pues brinda resultados más detallados. Además, los cambios importantes se pueden notar con más facilidad.

LAPSO DE TIEMPO	FEBRERO %	ABRIL %
Día (a cada hora)	60, C	33, C
	39, DF	67, DC
Una hora (a cada 10 minutos)	44, C	0, C
	56, DF	100, DC
12:00-13:00 h (hora del seminario)	100, C	0, C

Tabla 2. Resultados del enfoque adaptativo (DC: disconfort cálido; C: confort; DF: disconfort frío)

Ni el modelo de *Design Builder* ni la ecuación adaptativa de deDear representan por completo la percepción de los usuarios, reportada en los estudios de campo.

La temperatura interior simulada y medida son cercanas, por lo que el modelo de simulación es válido; sin embargo, la diferencia radica en el voto de confort. Aquí es donde la adaptación, no el enfoque adaptativo, tiene lugar, y se puede entender que los usuarios con voto de confort diferente del neutro son capaces de mejorar su sensación térmica mediante la adaptación de su propia sensación de confort.

Tal como aseguran Lawrence-Zúñiga, et al. (2016), el confort térmico adaptativo es un proceso complejo que requiere que los residentes usen una variedad de estrategias. Enseñar a los usuarios a operar su entorno pasivo ayuda a regular el ambiente térmico.

Los tres métodos de evaluación apuntan a resultados similares, más no idénticos. Sin embargo, los estándares internacionales, como ASHRAE 55 e ISO 10551, y estudios anteriores (Brager, et al, 1993), consideran el rango de +1 a -1 como zona de confort; siendo así, los resultados de las tres metodologías están más cercanos entre sí.

De acuerdo a la carta psicrométrica (Figura 5) que evalúa ambos meses, el auditorio está dentro de confort el 33.3% del tiempo durante febrero, y el 34% del tiempo durante abril. En las madrugadas, tanto de temporada fría como de temporada cálida, se recomienda calentamiento solar pasivo, y en el transcurso del día, ventilación natural. Se recomienda masa térmica para las horas más cálidas de abril, que representan el 26.8% del tiempo.

Los porcentajes de horas en confort son menores a los que se muestran en la Tabla 3, pero cabe aclarar que dicha tabla reporta únicamente para las horas de ocupación, mientras que la carta psicrométrica a continuación (Figura 5), toma un día típico completo.

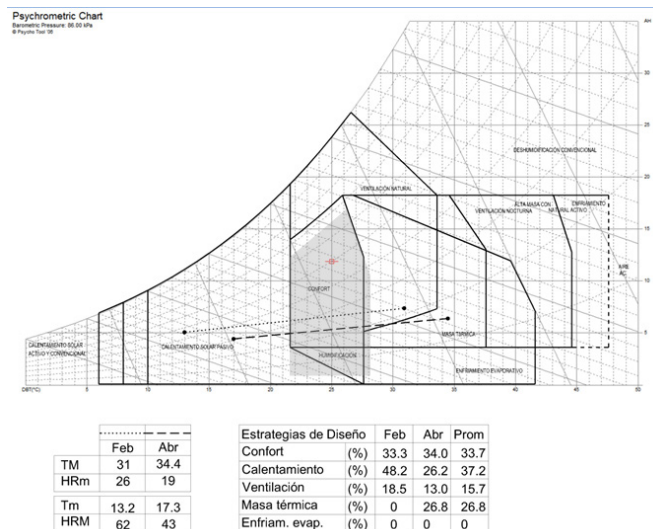


Figura 5. Carta psicrométrica para los meses de evaluación. Fuente: elaboración propia, con la herramienta Psycho Tool 2006, para 1335 msnm, 651 mmHg & 86 kPa; usando datos normalizados de T y datos de HR calculados con hoja de cálculo de V.A. Fuentes Freixanet (UAM-A, 2004)

De acuerdo a la opinión de los usuarios, la temporada fría es 100% aceptable térmicamente, 7.5% más que la temporada cálida. Sin embargo, la brecha entre las dos estaciones es mayor en términos de confort (Figura 6, a). Confort es un término mucho más estricto que simplemente aceptable, debido a que muchas personas están dispuestas a aceptar condiciones que no son confortables como tal. Por ello, en la misma temporada, la aceptabilidad es mayor que la tolerancia (confort); es decir, 37.5% en abril y 11.5% en febrero. Por otra parte, inaceptable es más estricta que soportable. Nadie, en la estación fría, elige esta opción (Figura 6, b). En la encuesta, las alternativas para soportable son confortable e insoportable; 0% considera el ambiente térmico interior insoportable en ninguna de las temporadas.

En resumen, la aceptación de los ocupantes del auditorio es muy alta, sin necesidad de utilizar sistemas de refrigeración activa, lo que también significa eficiencia energética del edificio. Por lo tanto, se puede decir que el auditorio funciona correctamente. El confort se deriva del considerable amortiguamiento térmico, resultado del enfoque bioclimático (es decir, los dobles muros, cámara plena y doble acristalamiento). Un estudio en curso que va en la dirección opuesta, con el mismo edificio privado de las características bioclimáticas, apoyará la validez del diseño.

El auditorio tiene un menor porcentaje de insatisfacción (PPD) durante el invierno, por lo que es conveniente prestar más atención a la temporada de calor, cuando según los usuarios, la ventilación no es suficiente, a pesar de que los cambios de aire requeridos se cumplen (Rojas et al., 2010).

Total de clientes	15	
Edad promedio	30	
Color favorito	Femenino	Rosa
	Masculino	Blanco
Color favorito total	Indigo	

Tabla 3. Comparación de los tres métodos de evaluación del confort térmico para la temporada cálida.

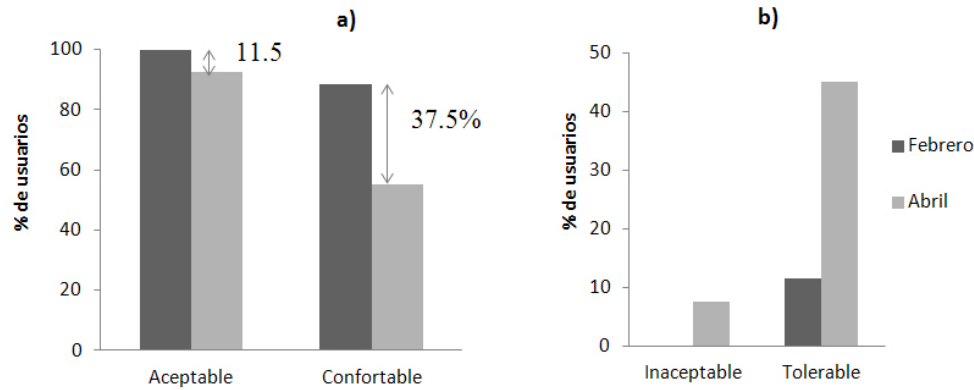


Figura 6. Tolerancia térmica.
a) Aceptable/confortable;
b) Inaceptable/soportable

A MODO DE CONCLUSIÓN

Las respuestas a la pregunta 2 de la encuesta dejan ver que el calor se concentra más en la parte central del auditorio; esos asientos son los más evitados. Por lo tanto, una buena medida correctiva sería el uso de un intercambiador de viento en lugar de los extractores actuales, para permitir que el aire caliente sea expulsado al exterior, al tiempo que favorece la circulación del aire en el interior. Esto proporcionaría un mayor enfriamiento del aire y disminuiría el discomfort cálido. Para reducir las ganancias de calor en el interior, un buen cambio en la operación del edificio sería reubicar la máquina de café en el vestíbulo. Actualmente, la cafetera se deja encendida durante aproximadamente una hora antes del comienzo del seminario de medio día y esta genera ciertas ganancias interiores que afectan a las personas que permanecen de pie en la parte trasera del auditorio.

Este proyecto de investigación demuestra que un modelo hecho en software, correctamente validado, es una excelente herramienta de diseño, pero no puede sustituir a los estudios de post-ocupación, pues un edificio no puede ser considerado confortable a menos que los ocupantes lo sientan de esa manera. Los estudios de post-ocupación son especialmente útiles en los países en desarrollo, donde rara vez se demuele y reconstruye un edificio por cuestiones de confort. En este sentido, la búsqueda de medidas correctivas es la mejor apuesta.

FUENTES

- ANSI/ASHRAE Standard 55-2010 (2010). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. ISSN 1041-2336.
- Auliciems, A. (1981). Towards a psychophysiological model of thermal perception. *Int J Biometeorology* 25:109–122. Recuperado de: <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02184458#page-1>
- De Dear, R.J. & Brager, G.S. (2001). Climate, comfort & natural ventilation: a new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55. *Proceedings, Moving Thermal Comfort Standards into the 21st Century*, Windsor, UK. Abril. Recuperado de: <http://www.escholarship.org/uc/item/2048t8nn>
- De Dear, et al. (1998). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference / Discussion. *ASHRAE transactions research*. Recuperado de: <http://search.proquest.com/openview/bd3427db1cb55e6e9ab20d3099a6d8e4/1?pq-origsite=gscholar>
- De Dear, R.; Barger, G. (2001). The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment. Center for the built environment. Berkley. Recuperado de: <http://escholarship.org/uc/item/89d4871t>
- Humphreys M. A., Nicol J. F. (1996). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. Oxford Centre for Sustainable Development, School of Architecture. Reino Unido.
- Lawrence-Zúñiga, et al. (2016). Teaching Regenerative Studies Students about Thermal Comfort Practices. PLEA 2016 - 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Los Angeles, CA.
- Lersch. (1966). *Constructs of the person*, p. 41. Munich.
- Rojas, Huelsz, Tovar, Lira, Castillo. 2010. Energía y confort en edificaciones. *Revista UNAM*, V. 11, No. 10, Art. 9. México. Recuperado de: <http://www.revista.unam.mx/vol.11/num10/art92/art92.pdf>
- Sampieri Hernández, et al. (2006). *Metodología de la investigación*. 4a Ed. Mc Graw Hill. México.
- Sánchez Ruíz, Gerardo G. (2004). Guía de investigación para niños interesados en problemas urbanos y en otras cuestiones. Recuperado de: http://www.gerardourbanista.mx/docs/Guia_Inv_Gerardo_Sanchez.pdf
- Zhao, Jie. (2015). *Design-Build-Operate Energy Information Modeling for Occupant-Oriented Predictive Building Control*. Dissertations. Recuperado de: <http://repository.cmu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1472&context=dissertations>