

**Universidad
Autónoma
Metropolitana**



Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO

**REVISIÓN ESTRATÉGICA DEL CONFORT TÉRMICO EN UN AUDITORIO
DISEÑADO CON ENFOQUE BIOCLIMÁTICO**

Mariana Estefanía Villavicencio Fernández

Idónea Comunicación de Resultados para optar por el grado de Maestría en Diseño
Bioclimático

Miembros del jurado:

Dr. Pablo David Elías López, director de ICR

Dr. Jorge Antonio Rojas Menéndez, codirector de ICR

Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet, asesor de ICR

Dra. Guadalupe Huelsz Lesbros

Dr. Aníbal Figueroa Castrejón

Dr. Jorge Armando Ojeda Sánchez

Ciudad de México

Julio de 2017

A mis padres.

RESUMEN

El principal objetivo de todo planteamiento bioclimático en edificaciones es otorgar condiciones de salud, confort y productividad a los ocupantes de un espacio habitable (Olgay, 1963), motivo por el cual el presente proyecto de investigación toma como punto de partida al usuario final para determinar si las condiciones térmicas bajo las que realiza sus actividades son realmente adecuadas.

El caso de estudio es el auditorio Tonatiuh del Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México (IER-UNAM), ubicado en Temixco, Morelos, México. El bioclima de la región es cálido sub-húmedo (Aw). Los usuarios son adultos entre 19 años y más de 65; muchos de ellos, residentes de la zona.

Mediciones de estudios previos (Elías-López, *et al.*, 2011) reportan datos específicos de temperatura y humedad del auditorio, tanto interiores como exteriores, que indican que tan favorable o desfavorable es el ambiente térmico intramuros en relación con rangos de confort preestablecidos. Sin embargo, son evaluaciones teóricas de confort adaptativo. Dichos informes indican que el auditorio está fuera de confort el 33% del tiempo.

El presente proyecto de investigación plantea que la **respuesta del usuario final es la que valida el planteamiento o enfoque bioclimático de un espacio habitable.**

El planteamiento del proyecto de investigación es la revisión del confort térmico del caso de estudio por medio de tres metodologías: estudios de campo, enfoque predictivo (cálculo de PMV¹, por medio de la herramienta numérica *DesignBuilder -DB-*, interface para *EnergyPlus*) y enfoque adaptativo. Las tres metodologías se ejecutan de forma individual para luego, contrastar sus resultados entre sí, discutirlos y determinar si el planteamiento de diseño bioclimático del auditorio responde a las necesidades de confort térmico de los usuarios.

¹ Por sus siglas en inglés de Voto Medio Predicho (Predicted Mean Vote).

ABSTRACT

The main objective of all bioclimatic approach is to provide conditions of health, comfort and productivity to the occupants of a space (Olgay, 1963). Therefore, this research takes the user as its starting point: how to determine whether the thermal conditions under which they perform are really adequate?

The case study is the Tonatiuh Auditorium of the Institute for Renewable Energy of the National Autonomous University of Mexico (IER-UNAM) located in Temixco, Morelos. The bioclimate of the region is sub-humid warm (Aw). The users are adults from 19 years to over 65; many of them, residents of the area.

Previous studies' assessments (Elías-López, *et al.*, 2011) report specific temperature and humidity data from the auditorium, both indoors and outdoors, which indicate how favorable or unfavorable the intramural thermal environment is, regarding established comfort ranges. From these data it is assumed that the users are out of comfort at least 33% of the time. Nevertheless, these are theoretical evaluations of adaptive comfort.

This project of investigation proposes that **the opinion of the final user is what, ultimately, validates the bioclimatic approach of a habitable space.**

In order to determinate the approach of this project of investigation by reviewing the case-study, the thermal comfort is assessed through three methodologies: field studies, predictive model (calculation of PMV, through the numerical tool *DesignBuilder's EnergyPlus*) and adaptive model. The three methodologies are conducted individually to later, contrast and discuss their results and determine whether the original proposal of the auditorium remains in force or not.

INTRODUCCIÓN

Según la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers), mejor conocida como ASHRAE, el confort es definido como aquellas condiciones de la mente, que expresan satisfacción con el ambiente térmico; mientras que para Givoni es la ausencia de irritación o malestar térmico (Givoni, 1981).

El presente trabajo forma parte del programa de investigación de Eficiencia Energética del Diseño Bioclimático: relación de ciencias del diseño frente al uso eficaz de recursos energéticos del área de arquitectura bioclimática de la UAM Azcapotzalco; misma que se inserta en el proyecto de investigación #N-419, *Evaluación de la operación del enfoque del diseño bioclimático en etapa postocupacional y su aportación a la eficiencia energética correlacionada con el nivel de confort de los ocupantes*.

El proyecto surge a raíz de los dos siguientes entendidos, descritos en el Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC (2007):

1. El ahorro energético y la eficiencia energética son acciones potenciales para lograr reducir los gases efecto invernadero.
2. Un buen diseño bioclimático-sustentable² es una manera de garantizar el ahorro energético y la eficiencia energética.

² Las tecnologías y prácticas de mitigación relacionadas a los edificios son: Iluminación eficiente y aprovechamiento de la luz del día; aparatos eléctricos y dispositivos de calefacción y refrigeración más eficaces; mejora de los quemadores de las cocinas, mejora del aislamiento; diseño solar pasivo y activo para calefacción y refrigeración; fluidos de refrigeración alternativos, recuperación y reciclado de los gases fluorados; diseño integrado de edificios comerciales que incorporen tecnologías como sensores inteligentes que permitan introducir reajustes y controles; energía fotovoltaica solar integrada en los edificios y los cambios de comportamiento de los ocupantes de los edificios. Las emisiones anuales de GEI totales de las edificaciones son de 5.3 a 6.7 GtCO₂-eq/año, superiores a los otros sectores –suministro de energía, industria, transporte, agricultura, silvicultura y desechos–. (IPCC, 2007:17-18)

El diseño bioclimático es aquel que toma ventaja de su disposición en el entorno y sus elementos arquitectónicos para el aprovechamiento del clima, con el fin de conseguir el confort térmico interior sin utilizar sistemas mecánicos (Rodríguez-Torres, 2006), esto de manera complementaria a lo establecido por Fuentes (2004) que se menciona en el resumen, en relación a los ocupantes del espacio habitable. De esta manera, el edificio se acerca al consumo energético ‘cero’³ durante su uso de vida (Voss, 2012).

Es el interés de esta investigación conocer si el diseño bioclimático del caso de estudio (auditorio Tonatiuh, del Instituto de Energías Renovables de la UNAM «IER-UNAM», en Temixco, Morelos, México) brinda niveles de satisfacción aceptables a los usuarios. Para esto, se evalúa el confort térmico con estudios de campo (opinión de los usuarios a través de encuestas, acompañadas de mediciones del ambiente térmico interior y exterior en el sitio), modelo predictivo (PMV) y modelo adaptativo (índice adaptativo).

Diversas investigaciones (Brager, *et al.* 1993; Fanger, 1970; Fanger & Wyon, 1990) reportan inconsistencias entre las predicciones numéricas y la opinión directa de los usuarios. Esto se atribuye principalmente a que el voto medio pronosticado, el porcentaje de insatisfacción pronosticado (PMV/PPD, por sus siglas en inglés) y las simulaciones consideran datos estáticos: la temperatura neutra (TN) se toma igual para todo el año y el balance de calor del cuerpo humano, en estado estacionario. En contraparte, Lou, *et al.* (2014) señalan que el enfoque adaptativo es clave, principalmente para edificios que operan sin aire acondicionado, donde los usuarios “tienden a aceptar un mayor rango de condiciones térmicas intramuros y a reportar una sensación térmica neutral”, dado que tienen la posibilidad de controlar de forma personal la abertura de ventanas, por ejemplo.

El auditorio Tonatiuh es un edificio diseñado bajo un planteamiento bioclimático, mismo al que se le han incorporado algunos sistemas pasivos con el tiempo (ver inciso II.1.2, Caracterización arquitectónica del caso de estudio: enfoque bioclimático y sistemas de acondicionamiento pasivo implementados).

³ La terminología en inglés es ‘net-zero’.

En este trabajo se presentan los resultados para dos meses de análisis: febrero y abril. En febrero no se utilizan los sistemas pasivos (enfriamiento evaporativo a base de aspersores exteriores contiguos a las celosías) ni se encienden los ventiladores. En abril sí se hace uso de los sistemas pasivos. **Al final, se encuentra que existen diferencias interesantes entre la percepción directa de los usuarios, el PMV obtenido a través de simulaciones numéricas y modelos adaptativos.**

La subjetividad y multifactoriedad del objeto de estudio (percepción humana del confort térmico en relación a un espacio habitable) insta a recurrir a tres metodologías de evaluación para conocer las coincidencias y divergencias entre ellas, y con ello reducir el sesgo cualitativo del proyecto de investigación. Así, se entiende que, mientras la evaluación post-ocupacional es experimental-cuantitativa, la evaluación del confort es un proceso indagativo-cualitativo. La relación entre los aspectos cualitativos reforzados con la parte cuantitativa y estadística, dan solidez y fundamento a los resultados a presentar.

El presente trabajo se conforma por 9 capítulos, que a continuación se enuncian y describen brevemente:

CAPÍTULO I. Estado del arte del proyecto de investigación. Contempla los tres temas principales que conforman el proyecto de investigación:

I.1. Evaluación post-ocupación

I.2. Modelos de validación de planteamientos bioclimáticos

I.3. Contraste entre las tres metodologías de validación

CAPÍTULO II. Antecedentes del caso de estudio. Con la finalidad de contextualizar al lector en el caso de estudio (II.1), lo describe de acuerdo a 4 caracterizaciones (del II.1.1 al II.1.4): caracterización climática de la zona de estudio, caracterización arquitectónica del caso de estudio (enfoque bioclimático del edificio y sistemas de acondicionamiento pasivo implementados), caracterización del ambiente térmico interior del caso de estudio, caracterización del usuario.

CAPÍTULO III. Proceso metodológico. Detalla el proceso que siguió la investigación en su planteamiento (formulación de preguntas de investigación, objetivo general y objetivos específicos) y desarrollo (metas y productos, diagrama metodológico y cronograma).

CAPÍTULO IV. Diseño de los métodos de medición de cada una de las tres metodologías de evaluación Profundiza en el diseño de:

IV.1. Encuesta, método de evaluación para el estudio de campo

IV.2. Modelo de simulación del auditorio en DB, método de evaluación para el enfoque predictivo

IV.3. Fórmula de De Dear adaptada al caso de estudio, método de evaluación para el enfoque adaptativo

CAPÍTULO V. Resultados. Presenta los resultados de cada una de las tres metodologías de evaluación (estudios de campo, enfoque predictivo, enfoque adaptativo) en dos meses de análisis: febrero (V.1, del V.1.1 al V.1.4) y abril (V.2, del V.2.1 al V.2.4).

CAPÍTULO VI. Discusiones. Compara o contrasta de forma cualitativa y cuantitativa los resultados de cada una de las tres metodologías de evaluación.

CAPÍTULO VII. Conclusiones Presenta discusiones de los resultados encontrados, de la relevancia y la aportación general del estudio (del VII.1 al VII.4).

CAPÍTULO VIII. Referencias. Responde de manera individual a las preguntas de investigación, objetivo general y objetivos específicos (VIII.1 y VIII.2 «VIII.2.1 y VIII.2.2»).

CAPÍTULO IX. Anexos. Glosario, Publicaciones derivadas del proyecto de investigación, Encuesta, Curriculum Vitae.

INDICE

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
INTRODUCCIÓN	III
CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	2
I.1. Evaluación de post-ocupación.....	3
I.2. Modelos de validación de planteamientos bioclimáticos	9
I.2.1. Modelos de validación de planteamientos bioclimáticos por medio de estudios de campo.....	9
I.2.2. Modelos de validación de planteamientos bioclimáticos por medio del enfoque predictivo.....	12
I.2.3. Modelos de validación de planteamientos bioclimáticos por medio del enfoque adaptativo	17
I.3. Contraste entre las tres metodologías de validación.....	21
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES DEL CASO DE ESTUDIO	22
II.1 Descripción del caso de estudio.....	23
II.1.1. Caracterización climática de la zona de estudio.....	24
II.1.2. Caracterización arquitectónica del caso de estudio: enfoque bioclimático y sistemas de acondicionamiento pasivo implementados	25
II.1.3. Caracterización del ambiente térmico interior del caso de estudio.....	27
II.1.4. Caracterización los usuarios	28
CAPÍTULO III. PROCESO METODOLÓGICO	30
III.1. Planteamiento de la investigación	30
III.1.1. Preguntas de investigación	31
III.1.2. Objetivo general	32
III.1.3. Objetivos específicos	32
III.2. Metas y productos.....	33
III.3. Discusión del diagrama metodológico	33
III.4. Cronograma	35

CAPÍTULO IV. DISEÑO DE LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CADA UNA DE LAS TRES METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN	37
IV.1. Encuesta, método de evaluación para el estudio de campo.....	37
IV.2. Modelo de simulación del auditorio en <i>DB</i> , método de evaluación para el enfoque predictivo	42
IV.3. Fórmula de De Dear adaptada al caso de estudio, método de evaluación para el enfoque adaptativo.....	46
CAPÍTULO V. RESULTADOS.....	48
V.1. Febrero.....	48
V.1.1. Resultados de los estudios de campo	49
V.1.2. Resultados del enfoque predictivo	56
V.1.3. Resultados del enfoque adaptativo	59
V.1.4. Comparación de las tres metodologías de evaluación del confort térmico .	62
V.2. Abril	63
V.2.1. Resultados de los estudios de campo	63
V.2.2. Resultados del enfoque predictivo	68
V.2.3. Resultados del enfoque adaptativo	70
V.2.4. Comparación de los tres modelos de evaluación del confort térmico	72
CAPÍTULO VI. DISCUSIONES.....	73
VI.1. Contrastes cuali-cuantitativos	73
VI.2. Evaluación de post-ocupación a lo largo del tiempo	76
VI.3. Relevancia de las mediciones	77
VI.4. Estudios de campo, alternativas y propuestas	78
VI.5. Aportaciones de la evaluación de post-ocupación	80
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES.....	81
VII.1. Conclusiones de las preguntas de investigación.....	81
VII.2. Conclusiones del objetivo general	87
VII.3. Objetivos específicos.....	88

CAPÍTULO VIII. REFERENCIAS 91

CAPÍTULO IX. ANEXOS..... 101

IX.1. Anexo A. Glosario 102

IX.2. Anexo B. Publicaciones derivadas del proyecto de investigación 105

IX.2.1. Strategic hygrothermal comfort review of an auditorium designed with a bioclimatic approach 105

IX.2.2. Revisión estratégica del confort térmico en un auditorio diseñado con enfoque bioclimático: análisis, interpretación y reflexión sobre las metodologías empleadas 105

IX.2.3. Determinación del confort térmico a través de tres métodos de evaluación. Caso de estudio: un auditorio en etapa de post-ocupación..... 105

IX.3. Anexo C. Encuesta, formato usado para el estudio de campo 106

IX.4. Anexo D. Currículum Vitae 107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I 1. Causas de las discrepancias entre el rendimiento energético previsto y real (Menezes, et al., 2012).....	4
Figura I 2. Influencia de las estimaciones del arropamiento (clo) y actividad metabólica (met) en la predicción del PMV (Brager, et al. 1993)..	15
Figura 0-1. Estándar de confort adaptativo propuesto para ASHRAE 55, aplicable para edificios ventilados naturalmente (Brager & De Dear, 2001)	21
Figura 0-2. Auditorio del IER (Rojas, et al., 2007).....	25
Figura 0-3. Descripción esquemática del Auditorio y del sistema constructivo de techos y muros (Elías-López, et al. 2011)	26
Figura 0-4. Porcentaje por rango de edades.....	29
Figura III 1. Relación entre variables endógenas y exógenas del medio construido. Diagrama de elaboración propia con información de Víctor Olgyay (1963).....	32
Figura III-2. Diagrama metodológico	33
Figura III-3. Línea de tiempo del estudio.....	36
Figura IV-1. Figura IV 1. Planta esquemática del auditorio para ubicar posición del usuario.....	39
Figura IV 2. Opciones de respuesta para constitución física	40
Figura IV 3. Vista exterior del edificio modelado en DesignBuilder por Zurita, M. (2016).....	43
Figura IV 4. Vista volumétrica exterior del edificio modelado en DesignBuilder por Zurita, M. (2016).....	43
Figura IV 5. Datos simulados para temperaturas exteriores e interiores (Ti y To) de un día típico.....	44
Figura IV 6. Diagrama de la metodología de validación del modelo de DesignBuilder, elaborado por Zurita, M. (2016); donde TN es temperatura neutra; Te, temperatura exterior y Ti, temperatura interior	45

Figura V 1. Semana típica de febrero de 2016. Elaborada con datos medidos de temperatura interior del 1 al 7 de febrero de 2016. Cada tipo de línea representa un termopar distinto dentro del área..	52
Figura V 2. Respuestas de datos personales. a) Aislamiento de la ropa (clo); b) Tasa metabólica (met)	53
Figura V 3. Respuestas de sensación. a) Sensación térmica; b) Sensación de ventilación	54
Figura V 4. Respuestas de preferencia. a) Preferencia térmica; b) Preferencia de ventilación	55
Figura V 5. Satisfacción. a) Aceptación térmica; b) Tolerancia	55
Figura V-6. Gráfica de confort térmico. Fechas de análisis: 5 y 12 de febrero	58
Figura V-7. TEC para febrero, realizada con la herramienta BAT (Fuentes, 2010), usando datos normalizados del período 1980- 2010 (SMN, Conagua, 2016)	60
Figura V-8. Gráfica del confort adaptativo (ACS) para ASHRAE 55 (Brager & De Dear, 2001). Elaboración propia con datos medidos para los días 5 y 12 de febrero (promedio)	61
Figura V 9. Respuestas de datos personales. a) Aislamiento de la ropa (clo); b) Tasa metabólica (met)	66
Figura V 10. Respuestas de sensación. a) Sensación térmica; b) Sensación de ventilación	66
Figura V 11. Respuestas de preferencia. a) Preferencia térmica; b) Preferencia de ventilación	67
Figura V 12. Satisfacción. a) Aceptación térmica; b) Tolerancia	68
Figura V 13. Gráfica de confort térmico, para el 20 y 27 de abril	69
Figura V-14. TEC para abril, realizada con la herramienta BAT (Fuentes, 2010), usando datos normalizados del periodo 1980- 2010 (SMN, Conagua)	70
Figura V-15. Gráfica del confort adaptativo (ACS) para ASHRAE 55 (Brager & De Dear, 2001). Elaboración propia con datos medidos para los días 20 y 27 de abril (promedio)	71

Figura VI-1. Tolerancia térmica. a) Aceptable/comfortable; b) Inaceptable/ soportable .	75
Figura VII-1. Sensación térmica de los dos meses evaluados.....	82
Figura VII-2. Preferencia de ventilación	82
Figura VII-3. Preferencia térmica	83
Figura VII-4. Obtención de 'PPD Encuestas' con la gráfica de PMV/PPD de Fanger. Se usa el MV obtenido de las encuestas (-0.34 para febrero y 0.48 para abril).....	86
Figura IX-1. Código QR para acceder al formulario en línea	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I-1. Clasificación de datos de estudios de campo, según De Dear, et al. (1988).	10
Tabla II-1. Datos climáticos normalizados de 10 años, 2001 a 2010 (estación meteorológica 00017014 de Temixco del Servicio Meteorológico Nacional «SMN»)....	25
Tabla III-1. Descripción del diagrama metodológico	34
Tabla IV-1. Características que conforman el caso de estudio, donde T_i es temperatura interior, T_e es temperatura exterior y H_{Re} es humedad relativa exterior.....	37
Tabla IV-2. Datos de la velocidad de viento por orientación, medidos a cada media hora con un medidor de confort y estrés térmico durante el seminario del 20 de abril de 2016	39
Tabla IV-3. Tabla de tasas metabólicas para actividades típicas (ASHRAE 55-2010 Addendum g, 2013).....	40
Tabla IV-4. Tabla de arreglos de vestimenta más comunes (ASHRAE 55-2010 Addendum h, 2013).....	41
Tabla IV-5. Descripción de las preguntas del cuestionario.	42
Tabla IV-6. Diferencias entre datos simulados y medidos	44
Tabla IV-7. Amplitud de la zona de confort para diferentes amplitudes de la oscilación promedio de la temperatura. Fuente: Barrios, et al., 2010; modificada de Morillón, et al., 2004	47
Tabla V-1. Datos térmicos de T_e y T_i medidos y simulados, promedio del 5 y 12 de febrero	56
Tabla V-2. Datos de entrada para el modelo de DB	57
Tabla V-3. PMV y PPD simulados para el 5 y 12 de febrero.....	58
Tabla V-4. Comparación de los tres métodos de evaluación del confort térmico para febrero.....	62
Tabla V-5. Datos térmicos medidos y simulados del 13 al 27 de abril (semanas correspondientes a los dos días de evaluación: 20 y 27 de abril).....	68
Tabla V-6. Datos de entrada para el modelo de DesignBuilder	69

Tabla V-7. *PMV* y *PPD* simulados para abril 70

Tabla V-8. Comparación de los tres métodos de evaluación del confort térmico para abril 72

Tabla VII-1. Comparación de resultados predichos con los reales (precepción de los usuarios), donde MV es el voto medio de confort medido 85

Tabla VII-2. Rangos de confort según los enfoques predictivo y adaptativo (resumen de las secciones 56V.1.3 y 0)89

CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El estado del arte es un proceso de investigación cualitativo-documental de carácter crítico-interpretativa que revisa los estudios, sobre la investigación, producidos por las personas en su representación bibliográfica. Debe seguir una lógica útil, rigurosa y práctica (Gómez-Vargas, *et al.*, 2015).

En este capítulo se analiza la producción de conocimiento existente hasta el momento respecto a los temas principales que conforman al proyecto de investigación que se ven a profundidad en el CAPÍTULO III.

Se han revisado bases de datos indizadas de las principales áreas de investigación. El enfoque de revisión de cada documento pone énfasis en la aportación que tiene el documento en este trabajo.

Los temas principales que se han analizado son aquellos relacionados a la post-ocupación de espacios arquitectónicos; el análisis de modelos de validación de planteamientos bioclimáticos por medio de estudios de campo (medición, encuestas), del enfoque predictivo (PMV y modelos de simulación en software, principalmente los que utilizan *EnergyPlus*); del enfoque adaptativo, y finalmente, aquellos documentos que contienen metodologías que contrastan los diferentes modelos de validación.

El capítulo se conforma de la siguiente manera:

I.1. Evaluación de post-ocupación

I.2. Modelos de validación de planteamientos bioclimáticos

I.2.1. Modelos de validación de planteamientos bioclimáticos por medio de estudios de campo

I.2.2. Modelos de validación de planteamientos bioclimáticos por medio del enfoque predictivo (PMV y modelos de simulación en software)

I.2.3. Modelos de validación de planteamientos bioclimáticos por medio del enfoque adaptativo

I.3. Contraste entre las metodologías de validación.

I.1. Evaluación de post-ocupación

El término ‘evaluación de post-ocupación’ se refiere al amplio estudio de una edificación, enfocado en los requerimientos de los ocupantes, que incluyen salud, seguridad, funcionalidad, eficiencia en el desarrollo de sus actividades, buen desempeño social, psicológico, cultural y físico (Preiser & Schramm, 1997, en Watson, *et al.*, 2012). El diseño bioclimático repercute de forma directa e indirecta en los requerimientos antes mencionados.

En Reino Unido, los estudios de post-ocupación se remontan a mediados de la década de los sesenta con los trabajos de: Manning (1965), bajo la denominación ‘evaluación del desempeño de las edificaciones’; Preiser (1969), desde el punto de vista arquitectónico, y Vischer (1989) desde la psicología ambiental. Desde entonces, la evaluación de post-ocupación ha adquirido gran importancia y se han desarrollado metodologías para el uso arquitectónico, tanto en la práctica profesional como en lo académico (Preiser & Vischer, 2005).

En Estados Unidos, la evaluación de post-ocupación comienza también en los sesenta con académicos como Van derRyn y Silverstein, aunque el término no se utiliza sino hasta los setenta, en unidades militares. De acuerdo a Bordass y Leaman (Preiser, *et al.*, 2005:74), los primeros trabajos aparecen en 1967, como ‘verificaciones experimentales de las hipótesis de los edificios’. “Poco después, la Asociación de Investigación de Diseño Ambiental (EDRA [por sus siglas en inglés]) se creó, y ha contribuido a sostener la práctica de los estudios de post-ocupación de América del Norte, principalmente en el ámbito académico, y concentrándose en los aspectos psicológicos de la satisfacción del usuario” (*ibíd.*).

Basándose en evidencia previa, Menezes, *et al.* (2012), sugieren que los edificios “no se desempeñan tan bien en la realidad como en las predicciones”. Esto inhibe la mejoría tanto en los edificios existentes como en futuros diseños; así, la evaluación de post-ocupación “tiene como objetivo hacer frente a este problema mediante la evaluación del rendimiento de un edificio después de que se ha construido y ocupado

para proporcionar a los diseñadores una valiosa retroalimentación sobre su rendimiento real en uso” (*ibíd.*).

Así mismo, Menezes, *et. al.* (2012) resumen las principales causas de las discrepancias entre el rendimiento previsto y el real en los edificios como se muestra en la Figura I-1.

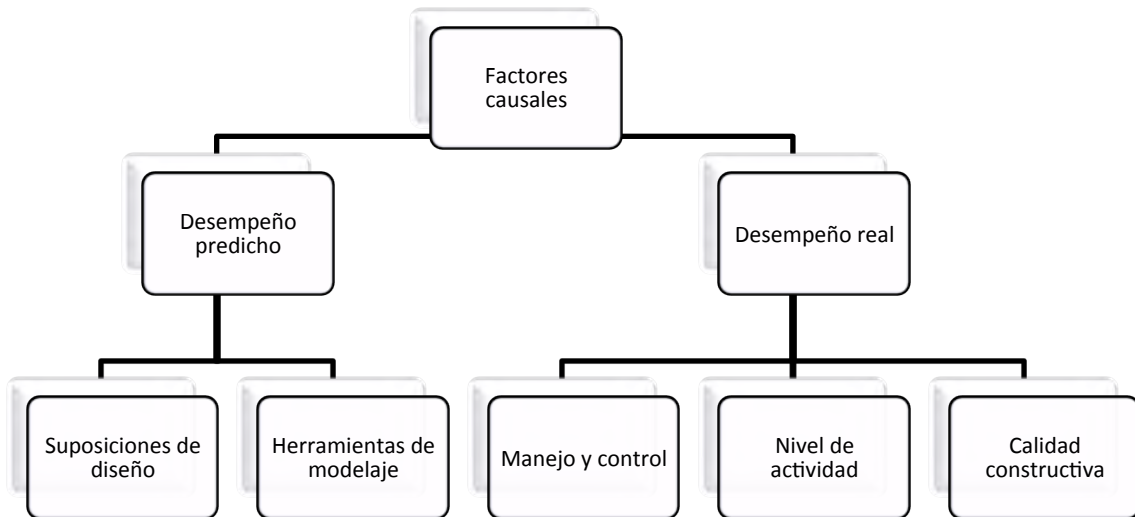


Figura I-1. Causas de las discrepancias entre el rendimiento energético previsto y real (Menezes, *et al.*, 2012)

En cuanto al desempeño predicho, constantemente se reduce más la diferencia global entre predicciones y realidad, gracias a la mejora continua del software de simulación, que recurren a cálculos de transferencia de calor dependientes del tiempo cada vez más complejos y sistemas más estrictos para garantizar la validez del modelo (*ibíd.*).

El contraste entre el desempeño predicho y el real, como lo indican Menezes, *et al.* (2012), se debe a que en la fase de predicción intervienen variables como las suposiciones de diseño y las herramientas de modelaje (además de la pericia del modelador o de quien ejecuta el modelado ya sea físico «maqueta» o numérico «modelado digital»). Por su parte, en el desempeño real intervienen la ocupación, es decir, el factor humano; los factores del manejo y control de los administradores de la edificación y la calidad constructiva.

A pesar de los avances tecnológicos de las herramientas de simulación actuales, estas aún no son capaces de considerar con precisión el impacto de los ocupantes y la gestión de la eficiencia de los edificios. De momento, esto sólo se puede corregir (y llevar a mejores tomas de decisiones durante la etapa de diseño) a través de la práctica de la evaluación de post-ocupación, en cualquiera de sus 3 clasificaciones, según alcances (Cooper, 2001):

- Herramienta de diseño: ayuda a poder mejorar el diseño por medio de la medición del rendimiento del edificio.
- Retroalimentación: tiene por objeto mejorar el rendimiento del edificio con el uso de los datos proporcionados por los usuarios a través de encuestas y reuniones con las autoridades implicadas en el estudio.
- Punto de referencia: pretende impulsar el desarrollo sustentable. Puede ayudar al establecimiento de estándares en relación al consumo de energía.

De acuerdo a la MSU -Universidad del Estado de Michigan- (2008), los principales beneficios de la evaluación de post-ocupación, a corto, mediano y largo plazo, son como se describen a continuación:

Beneficios a corto plazo

- Identificación y solución a los problemas en las instalaciones.
- Manejo proactivo de las instalaciones en respuesta a la valoración de los usuarios.
- Mejora de la utilización del espacio y retroalimentación sobre el rendimiento del edificio.
- Mejora de la actitud de los ocupantes del edificio a través de la participación activa en el proceso de evaluación.
- Comprensión de la implicación del rendimiento energético en ahorros presupuestarios.

- Toma de decisiones basada en el diseño mejor informado y la comprensión de las consecuencias de diseño.

Beneficios a medio plazo

- Capacidad de adaptación al cambio organizativo de la instalación y el crecimiento a través del tiempo, incluyendo el reciclaje de las instalaciones en nuevos usos.
- Ahorro significativo de costes en el proceso de construcción y en todo el ciclo de vida de un edificio.
- Responsabilización de los profesionales del diseño y de los propietarios para con el desempeño del edificio.

Beneficios a largo plazo

- Mejoras a largo plazo en el rendimiento del edificio.
- Mejora de las bases de datos de diseño, normas, criterios y literatura orientativa.
- Mejora de la medición del rendimiento del edificio a través de la cuantificación.

En el caso de estudio del presente proyecto de investigación, la evaluación de post-ocupación se utiliza para hacer una revisión específica del funcionamiento térmico del edificio durante la ocupación. La información que se obtiene con esta evaluación se apega a los alcances de Cooper (2001), en la que conceptos como las mejoras al edificio a lo largo de su vida útil, optimización de los rendimientos (que, para este caso, es la sensación de confort de los ocupantes del edificio), reuniones donde se exponen y discuten los resultados y, finalmente, la retroalimentación, que enriquece el conocimiento del diseño bioclimático en general.

En los últimos años se ha incrementado la producción internacional de artículos de investigación donde la evaluación de post-ocupación es el tema central. A pesar de que cada autor tiene un acercamiento distinto, se suele concluir que “la arquitectura es una combinación del medio ambiente y los usuarios, y tener en cuenta el consumo de energía sin considerar el comportamiento de los usuarios, produce una imagen incompleta del ciclo de vida de la edificación” (Khajehzadeh & Vale, 2016). Y la imagen no sólo es incompleta en términos de ciclo de vida, sino también de confort.

El artículo *Daylighting Evaluation of a LEED Platinum Laboratory* (Burkhar & Konis, 2016), se centra en la iluminación, pero sirve como ejemplo al presente proyecto de investigación porque analiza la postocupación. De acuerdo a los autores es importante examinar los edificios en uso para validar las hipótesis de diseño y tomar mejores decisiones futuras, así como para examinar la aplicabilidad de los criterios utilizados en las predicciones.

Por otro lado, Moon, *et al.* (2016) reconocen que la debilidad de la evaluación de post-ocupación es el depositar toda la confianza en encuestas subjetivas, y que, por lo tanto, “la tendencia actual en la investigación de evaluación de post-ocupación es fortalecer su objetividad y centrarse en ocupantes específicos. Una manera de obtener la objetividad en la evaluación de post-ocupación es incorporar la medición de la calidad ambiental interior”. Los autores entienden por “medición de la calidad ambiental interior” como las mediciones *in-situ* de todos los factores que se analizan en el estudio, así como los atributos del edificio y factores espaciales, como la ubicación de los encuestados dentro de los edificios. La relación de estos datos con los recabados en las encuestas da más objetividad. A pesar de que los edificios evaluados siguen estándares internacionales como ASHRAE e IESNA (Illuminating Engineering Society of North America), “los resultados muestran la existencia de ocupantes insatisfechos incluso bajo condiciones de ambiente controlado”. Finalmente, sugieren que se considere la adaptación y el factor espacial (la ubicación de los encuestados dentro de los edificios) para resolver la satisfacción ambiental individual de los ocupantes.

De acuerdo con los trabajos revisados, la evaluación de post-ocupación va en crecimiento, y la suma de toda la información analizada contribuye a la mejora de futuras investigaciones.

En general, los autores que han indagado en la evaluación de post-ocupación concuerdan en la relevancia que estas tienen y, por otro lado, ninguno de ellos ha encontrado que las predicciones y el ambiente construido sean equivalentes. De hecho, los antes citados evalúan la post-ocupación con una sola metodología de investigación: estudios de campo. Para la mayoría, los estudios de campo se limitan a la aplicación de encuestas, generalmente con muestras grandes y en más de un edificio, y los más

completos, incluyen mediciones ambientales para apoyar los resultados de las encuestas. Ninguno considera grupos focales, contrasta los resultados obtenidos con los predichos, realizan simulaciones después de la etapa de diseño ni considera el enfoque adaptativo; o bien, toca el tema de forma superflua.

I.2. Modelos de validación de planteamientos bioclimáticos

En la etapa de diseño bioclimático se suelen consultar los datos climáticos del sitio con los que se realizan gráficas, tablas y diagramas, como Temperatura Efectiva Corregida (TEC)⁴; el Diagrama Bioclimático desarrollado por Szokolay en 1984 y la Carta Psicrométrica desarrollada por Givoni en 1981 para tener una idea global sobre los requerimientos del edificio y las estrategias bioclimáticas recomendadas para implementar. Al momento de validar el planteamiento, lo más común es que se recurra a *software*, como *Ecotect* o *DesignBuilder*, que con base en cálculos numéricos determinan si el proyecto está o no dentro de los rangos de confort térmico de acuerdo a su latitud. Por ‘rangos de confort térmico’ se entiende la sensación de confort percibida dentro de un umbral de temperaturas donde los valores máximo y mínimo parten de una temperatura de neutralidad o TN (Ver I.2.2).

I.2.1. Modelos de validación de planteamientos bioclimáticos por medio de estudios de campo

Los estudios de campo, para este caso, son datos obtenidos in-situ directamente de los usuarios a través de encuestas. Tienen la finalidad de proporcionar datos térmicos voto de confort, aceptación y tolerancia del ambiente térmico. ASHRAE 55 sugiere la aplicación de encuestas a los ocupantes, como una forma efectiva para determinar la

⁴ “El nomograma de TEC fue publicado por primera vez en 1932 por la ASHVE (American Society of Heating and Vent. Engineers), y posteriormente fue adaptada por Vernon (1932) y por Bedford (1940). [...] La TEC incorpora variables de temperatura radiante media o de bulbo seco; la temperatura de bulbo húmedo (y por lo tanto se establece la relación de humedad) y la velocidad del viento. La TEC es en pocas palabras, la temperatura percibida ante la presencia de todas estas variables” (Fuentes, 2010).

aceptabilidad del ambiente térmico. Sin embargo, hace hincapié en la importancia de la correcta interpretación y uso de las encuestas, y previene de tomar medidas estrictamente basadas en los resultados, pues existen factores psicosociales que pueden influir en las evaluaciones subjetivas del medio ambiente; y/o las condiciones del diseño original del espacio pueden o no ser vigentes, así como el modo de operación.

De Dear, et al. (1998) proponen clasificar los tipos de datos recabados en estudios de campo según la precisión de los instrumentos de medición y los procedimientos de aplicación del monitoreo de datos (ver Tabla I 1).

CLASE I	Los sensores y el procedimiento de aplicación son conforme a las normas ANSI/ASHRAE 55, ISO 7730 e ISO 7726.
CLASE II	Se miden la temperatura del aire, la temperatura radiante, la velocidad del viento, la humedad relativa, la vestimenta y el metabolismo (variables necesarias para el cálculo del balance térmico, el PMV y el PPD) y se aplican cuestionarios de manera simultánea. Los instrumentos o equipos de medición cumplen con algunas normas de calidad.
CLASE III	Mediciones simples de temperatura interior y, en algunos casos, de humedad relativa. Las mediciones no son continuas y se realizan asincrónicamente a la aplicación del cuestionario

Tabla I-1. Clasificación de datos de estudios de campo, según De Dear, et al. (1988)

Por otro lado, Bojórquez (2010) clasifica los tipos de datos recabados en estudios de campo según la conformación de la muestra evaluada, es decir, por su forma de selección (ver Tabla I 2).

GRUPO I	Seleccionados de forma no aleatoria (determinística)
GRUPO II	Por contratación
GRUPO III	Por disponibilidad de los alumnos, empleados o usuarios

Tabla I 2. Clasificación de datos de estudios de campo, según Bojórquez (2010)

Lou, et al. (2014) comparan resultados predichos con el voto de confort “real”, como ellos llaman a los resultados obtenidos a partir de encuestas, en un edificio que opera de modo mixto (aire acondicionado y ventilación natural). El estudio incorpora los datos estadísticos de las encuestas aplicadas a usuarios durante los periodos de climatización

mecánica y natural. Los autores encontraron, entre otras cosas, que los datos predichos y los medidos nunca son totalmente equivalentes, por lo que concluyen que el PMV “falla en predecir la sensación térmica real con precisión, especialmente durante los periodos de ventilación natural”, donde aseguran, se integra el concepto de confort adaptativo. El artículo expresa una crítica por el forzoso uso del PMV en edificios de modo mixto, a los que ASHRAE clasifica como edificios climatizados artificialmente; esto “restringe las condiciones térmicas” y “falla en minimizar el ahorro energético potencial de la filosofía híbrida detrás de dichos edificios”.

Howell y Kennedy (1979) realizaron un estudio donde buscaban validar el modelo predictivo de Fanger (PMV) al correlacionarlo con juicios de sensación térmica medidos. Usaron una muestra de 521 empleados y estudiantes. Los resultados no dieron validez al modelo. Sin embargo, señalan como punto importante que el confort definido por votos de sensación térmica no es el mismo que el medido directamente.

Los contundentes resultados de los estudios descritos en los párrafos anteriores, no hubieran podido obtenerse sin el uso de los estudios de campo como parte de la metodología post-ocupacional. Esta información es una gran aportación al proyecto de investigación porque sirve como indicio de la relevancia y certidumbre de la parte estadística (estudios de campo/encuestas), que muchas veces es subestimada por parecer demasiado subjetiva y cualitativa, sobre todo por aquellas metodologías numérico-pragmáticas.

El valor de contar con información directamente de los usuarios, yace en que, si bien pueden intervenir variables psicosociales no consideradas, brinda a los diseñadores un panorama global de cómo se percibe el ambiente al interior edificio. Si el diseñador se queda únicamente con el conocimiento teórico de “cómo se supone que se debería comportar el edificio”, además de que no puede validarse el proyecto, no pueden mejorarse las condiciones. El conocimiento es poder, en este caso, de regenerar y mejorar aspectos del edificio en pos de la comodidad de sus ocupantes. Cuanto mayor es el confort, mayor es la satisfacción psico-fisiológica de los ocupantes, que repercute en beneficios a la salud física y mental, y por tanto, a la eficiencia y productividad (Fuentes, 2014).

I.2.2. Modelos de validación de planteamientos bioclimáticos por medio del enfoque predictivo

En las últimas décadas, el enfoque predictivo se ha apoyado fuertemente en los modelos de simulación, tal y como lo comprueban los trabajos que se citan a lo largo de este apartado. Los modelos de simulación son herramientas numéricas que predicen el comportamiento térmico de una edificación de acuerdo a los datos ingresados, que suelen ser materiales de construcción, sistemas pasivos y activos de climatización, ventilación y ubicación geográfica, entre otros. Las predicciones se basan en estándares internacionales como ASHRAE 55.

El planteamiento de la predicción del confort, surge del interés por el estudio de establecer condiciones climáticas 'ideales' para el ser humano. Desde la década de los sesenta, Givoni se interesaba en la sensación térmica y los intercambios térmicos entre el cuerpo humano y el medio ambiente; y en 1970, Fanger propone la *Ecuación de confort de Fanger*, como resultados de estudios realizados en cámaras controladas térmicamente⁵ donde se midió la respuesta física de personas con características y actividad metabólica dadas, temperatura media constante y niveles de sudoración dentro de un límite estrecho. Esto es:

$$Lo = H - Ed - Esw - Ere - L - R - C \quad (1)$$

Donde:

Lo = Acumulación de calor en el cuerpo

H = Producción interna de calor (metabolismo basal)

Ed = Pérdidas de calor por la difusión de vapor de agua por la piel (evaporación)

Esw = Pérdidas de calor debidas a la sudoración (evaporación)

⁵ A diferencia del enfoque adaptativo, las cámaras controladas son ambientes térmicos en estado estático, donde se somete al sujeto a condiciones constantes, sin opción de cambio (en ventilación, arropamiento, actividad, etcétera).

- Ere = Pérdidas de calor latente debidas a la respiración (evaporación)
- L = Pérdidas de calor por respiración seca (convección)
- R = Pérdidas de calor por radiación de la superficie del cuerpo vestido
- C = Pérdidas de calor por convección de la superficie del cuerpo vestido

A partir de este punto, Fanger incursionó en la predicción del voto de confort y porcentaje de personas insatisfechas, mejor conocidos como PMV/PPD. PMV y PPD se obtienen a partir de las siguientes fórmulas:

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.025)Lo \quad (2)$$

Donde:

- PMV = Voto medio pronosticado
- Lo = Acumulación de calor en el cuerpo
- M = Tasa metabólica

$$PPD = 100 - 95e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)} \quad (3)$$

Donde:

- PPD = Porcentaje predicho de insatisfacción
- PMV = Voto medio pronosticado

Para este método, la raza y edad de la persona, y el horario del día, no representan variaciones significativas. Dada esta universalidad relativa y la sencillez para aplicar el método, hoy día es más utilizado en la determinación de la temperatura 'óptima' en edificios y ha servido de base para establecer los estándares internacionales de diseño como ASHRAE 55 e ISO 7730:1995. Además, el modelo matemático desarrollado por Fanger es probablemente más conocido que los de Pierce y KSU, modelos de dos nodos desarrollados en la Universidad de Kansas. El modelo de Fanger también es más

fácil de usar, por su representación en forma de cuadro o tabla y de gráfica. El modelo de confort de Fanger (1967) ayudó a sentar las bases para los otros dos modelos (*DesignBuilder*, UK).

En un estudio, Chowdhury, *et al.* (2007) evalúan distintos sistemas de enfriamiento (techo frío, economizador, pre-enfriamiento) para un edificio en clima subtropical (Central Queensland, Australia) por medio de simulaciones en *DesignBuilder* (DB). Las simulaciones (*ibíd.*) se realizan para invierno (junio a agosto) y verano (diciembre a febrero), con los tres modelos disponibles en el software (DB): Fanger, Pierce y KSU. El modelo de simulación del caso de estudio (*ibíd.*) se valida al correlacionar la temperatura interior medida y la simulada (sin especificar si las medidas fueron tomadas para verano, invierno o anuales). En el horario de ocupación, ambas temperaturas, medida y simulada, se mantienen cerca de los 23 °C. Gracias a las distintas comparaciones, Chowdhury, *et al.* pueden determinar cuál es el mejor sistema de enfriamiento (techo frío) con base en el rendimiento mostrado en las gráficas elaboradas con la información obtenida. La aportación de este estudio (*ibíd.*) al presente proyecto de investigación es la forma en que se valida el modelo de simulación del caso de estudio.

En el estudio de Brager, *et al.* (1993), el arropamiento (cuya unidad de medición es *clo*) y actividad metabólica (cuya unidad de medición es *met*) son clave para equiparar los resultados de las predicciones con los estudios de campo. Al realizar un ajuste en el arropamiento, con la inclusión del aislamiento otorgado por la silla, y de distinguir los *met* para diferentes actividades sedentarias (ver Tabla IV-3), lograron reducir significativamente la diferencia en los resultados de ambas metodologías (Figura I-2).

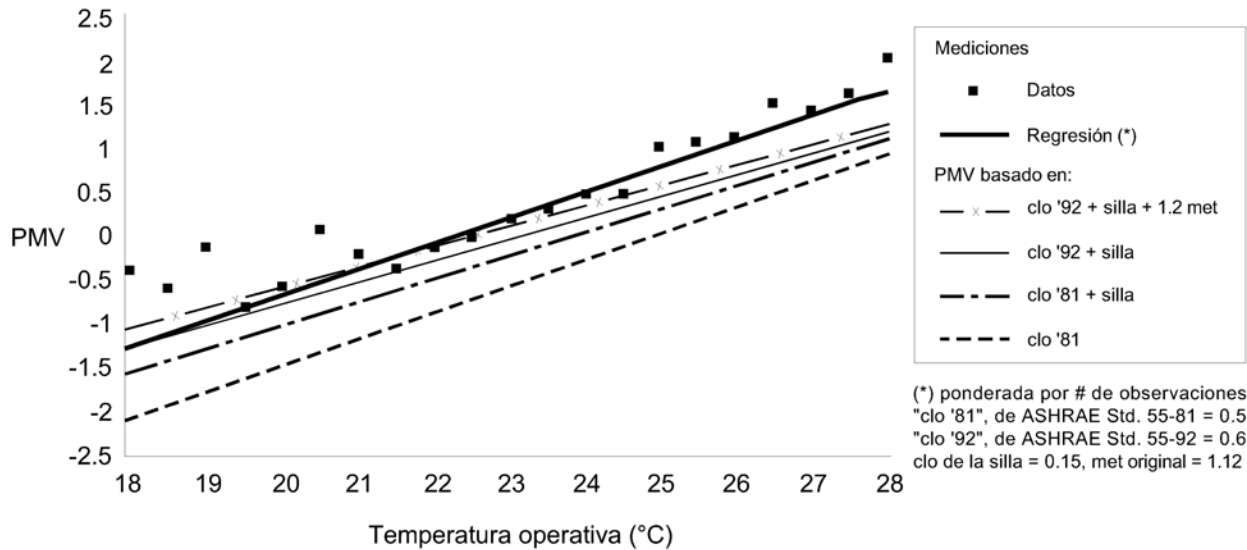


Figura I-2. Influencia de las estimaciones del arropamiento (clo) y actividad metabólica (met) en la predicción del PMV (Brager, et al. 1993).

La Figura I-2 es un extracto de dicho estudio, donde se aprecia cómo la línea discontinua gruesa (clo 0.92 + silla + 1.2 met) se acerca más a la línea sólida que representa una regresión de los datos medidos. La línea más discontinua (clo 0.81), que no considera el aislamiento otorgado por de la silla ni el ajuste en la actividad metabólica, es la más alejada en la regresión. Este conocimiento es de gran utilidad para el presente proyecto de investigación, pues la inclusión correcta de ambas variables (arropamiento y actividad metabólica) se considera en el diseño de la encuesta para los estudios de campo (la pregunta 3 solicita la selección de la actividad desarrollada -sentado, relajado; de pie, relajado; paseándose-, que además de tener un distinto valor de met, indica si hay que sumar al arropamiento de esa persona -pregunta 7- el aislamiento de la silla o no, es decir, si están sentados o no). El diseño y validación de la encuesta para la realización de los estudios de campo, se discute por completo en el apartado 0.

Para el presente proyecto de investigación, los datos promedio de clo y met obtenidos en campo son los mismos que se introdujeron en *DesignBuilder*. Para la simulación se usa el modelo de confort de Fanger, explicado anteriormente en esta sección.

I.2.3. Modelos de validación de planteamientos bioclimáticos por medio del enfoque adaptativo

La aclimatación es la respuesta fisiológica a la estimulación constante para disipar o ganar calor en condiciones de altas o bajas temperaturas, respectivamente. La aclimatación representa un estado de mejora de la capacidad de termorregulación, al proporcionar una reducción progresiva de esfuerzo fisiológico y mejorar así, la tolerancia al calor. Por tanto, la aclimatación es un proceso de adaptación térmica (Hanna & Tait, 2015).

El hipotálamo, también conocido como “termostato cerebral”, manda mensajes al cerebro para que active los mecanismos de respuesta térmica, como la sudoración para refrescar al cuerpo. Esto sucede al instante que la temperatura corporal se eleva (o se reduce, en el caso contrario), lo cual mitiga los efectos del disconfort por sobre o bajo calentamiento (*ibíd.*).

A la par de los mecanismos de enfriamiento del sistema nervioso autónomo, se requieren respuestas de comportamiento para la termorregulación eficaz (*ibíd.*). La capacidad para lograr el confort térmico depende de varios factores: autoevaluación térmica, lo que disminuye con la edad y la discapacidad cognitiva o psicológica; el grado de autonomía para tomar decisiones; y la disponibilidad de condiciones térmicas óptimas, como el acceso a sombra, agua, ventiladores o aire acondicionado (Wilkinson, *et al.*, 2008).

Estos mecanismos de termorregulación son eficaces cuando el cuerpo no está sometido a un cambio térmico drástico, es decir, de más o menos 10 °C. En tales casos, si la persona se expone a climas más cálidos, “la aclimatación requiere la exposición activa, que comprende de dos a seis semanas, de ejercicio al día durante aproximadamente 2 horas (o más) en ese nuevo clima” (Kosaka, *et al.*, 2004, en Hanna & Tait, 2015). Sin embargo, para el caso del proyecto de investigación, se puede inferir que el enfoque adaptativo funciona, pues no hay ‘choque térmico’ (sobre calentamiento o sobre enfriamiento). En todos los casos (días medidos), la diferencia térmica entre el ambiente térmico exterior e interior, es menor de 5 °C.

ASHRAE 55 define al enfoque adaptativo como “un modelo que relaciona la temperatura interior de diseño o el rango de temperaturas aceptables con las condiciones meteorológicas exteriores o parámetros climáticos”. La Figura I-3 muestra la relación con el promedio mensual de la temperatura exterior.

A diferencia del enfoque predictivo, el adaptativo considera el efecto de la aclimatación, por lo que, como ya se ha comprobado en estudios anteriores (Nicol & Humphreys, 1996; Auliciems & De Dear, 1986, 1988), es más dinámico y realista que el propuesto por Fanger. Además, permite al usuario controlar la ventilación natural por medio de ventanas operables y su nivel de arropamiento para ajustar su nivel de confort personal.

El diseño bioclimático considera respuestas de arquitectura e ingeniería que sean lo más ‘limpias’ posibles, tales como el aprovechamiento solar para ganancias térmicas y la ventilación natural, y recientemente, la ventilación híbrida (Szokolay, 1988). En la década de los setenta se separa la idea de convencional del confort y se introduce el término de ‘confort adaptativo’. A partir de este momento, se distingue la ventilación natural de la mecánica, pero para ASHRAE 55:1995 y otras normas, la ventilación híbrida se posicionaba dentro de la mecánica. No fue sino hasta 1997, que De Dear, *et al.*, trabajaron en un nuevo modelo de confort adaptativo para garantizar más y mejores ahorros energéticos durante el uso de vida de una edificación.

Dado el cambio de paradigma en la arquitectura bioclimática, hoy día se sabe que el confort térmico del usuario ocurre cuando hay una *adaptación apropiada* al ambiente térmico, misma que depende de factores contextuales y de la historia térmica; que a su vez influyen en las expectativas y preferencias. Es decir, la *adaptación apropiada* se da cuando existe satisfacción térmica en determinado contexto (Auliciems, 1981; De Dear & Brager, 2001).

En 1998, Brager & De Dear reportan las discrepancias entre los enfoques predictivos y los adaptativos. Generalmente los estudios comparan edificios climatizados artificialmente con aire acondicionado y edificios ventilados naturalmente. El hallazgo es que los ocupantes de edificios que usan aire acondicionado tienen un rango de confort más estricto que los que están en edificios que usan ventilación natural. Éstos últimos

son más flexibles en cuanto a la tolerancia térmica. La explicación que presentan es que se debe a una combinación de ajustes de comportamiento y de adaptación psicológica.

Gracias a estudios realizados en edificios reales ventilados naturalmente, como el antes mencionado, se obtienen ecuaciones para determinar la temperatura neutral, TN, y de ahí, determinar un rango de confort. A continuación se enlistan las más relevantes de acuerdo a Gómez-Azpeitia, *et al.* (*ibíd.*):

Humphreys (1978):

$$TN = 11.9 + 0.534 Tm \quad (4)$$

Nicols, Roaf (1996):

$$TN = 12.1 + 0.534 Tm \quad (5)$$

Auliciems (1981):

$$TN = 17.6 + 0.31 Tm \quad (6)$$

De Dear, Brager, Cooper (1997):

$$TN = 18.9 + 0.225 Tm \quad (7)$$

Humphreys, Nicol (2000):

$$TN = 13.5 + 0.54 Tm \quad (8)$$

Donde TN es temperatura neutra (°C) y Tm (°C) es la temperatura media mensual exterior.

Para efectos del presente proyecto de investigación, se usa la fórmula propuesta por De Dear, *et al.* (1997), dado que estos autores han contribuido de manera activa al desarrollo de un nuevo estándar de confort adaptativo (ACS, por sus siglas en inglés) que se incorpora a ASHRAE 55 desde entonces. Las revisiones y adecuaciones a ASHRAE 55 permiten a los edificios ventilados naturalmente temperaturas más cálidas al interior durante el verano. El ACS se basa en el análisis de 21,000 conjuntos de datos crudos recopilados de estudios de campo en 160 edificios de los cuatro continentes y zonas climáticas variadas, acondicionados tanto artificial como naturalmente (Brager & De Dear, 2001).

ANSI ASHRAE 55:2004, tiene un apartado específico, *5.3 Optional Method for Determining Acceptable Thermal Conditions in Naturally Conditioned Spaces* (Método opcional para determinar las condiciones térmicas aceptables en espacios acondicionados naturalmente), para determinar el ACS, basado en la ecuación lineal de Brager & De Dear (2001), donde “el entorno climático exterior para cada edificio se caracteriza en términos de temperatura exterior media de bulbo seco, $T_{a, out}$, en lugar de TE [temperatura efectiva exterior]. La temperatura de confort óptimo [...] se recalculó con base en $T_{a, out}$.” (*ibíd.*)

$$T_{comf} = 0.31 T_{a, out} + 17.8 \quad (9)$$

A partir de la ecuación anterior (9), se deriva una gráfica que incluye dos juegos de temperaturas límite, una para tener aceptabilidad del 90%, y otra, del 80% (Figura I-3). La condición para aplicar este método es que sean espacios ventilados naturalmente, con ventanas operables y en donde los usuarios puedan cambiar su nivel de arropamiento sin problema (ASHRAE 55, 2004).

“Una de las ventajas del ACS propuesto sobre el modelo basado en el PMV, para las situaciones aplicables, es su simplicidad. Mientras que uno necesita estimar los posibles *clo* y *met* antes de usar el modelo (PMV), la relación entre la ropa y el clima ya ha sido tomada en cuenta para el ACS” (Brager & De Dear, 2001). En este sentido de practicidad, los autores intentan hacer factible la aplicación del estándar para los practicantes. Incluso ‘permiten’ que se cambie temperatura de confort (T_{comf}) por la temperatura media exterior del mes en cuestión, usando datos normalizados. El estándar se recomienda para predecir el comportamiento de un edificio, así como para evaluar el desempeño con base en la retroalimentación directa de los usuarios. El límite del 80% de aceptabilidad es adecuado en general; el del 90%, para casos más estrictos y con requerimientos de confort muy específicos (*ibíd.*).

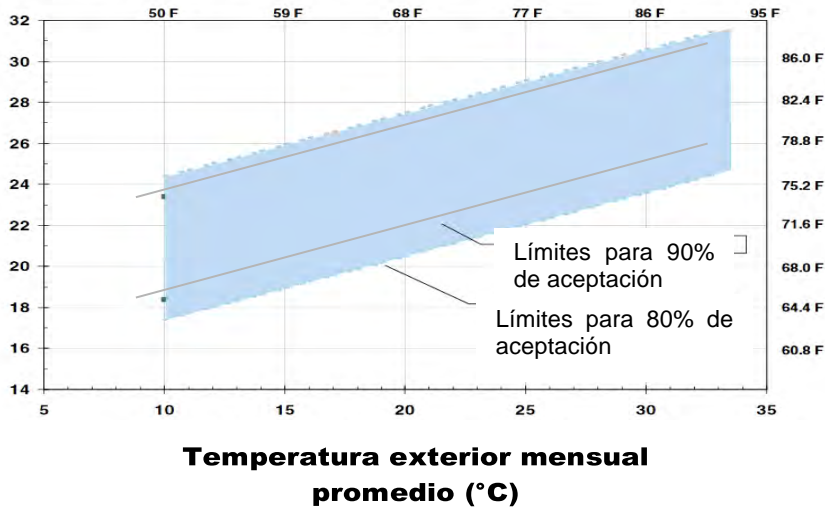


Figura I-3. Estándar de confort adaptativo propuesto para ASHRAE 55, aplicable para edificios ventilados naturalmente (Brager & De Dear, 2001)

I.3. Contraste entre las tres metodologías de validación

Brager, *et al.* (1993) demuestran que mientras más similares son los datos ingresados al *software* a los reales, menores son las brechas entre las cifras simuladas y las medidas; y por otro lado, que la adaptación juega un papel importante, sobre todo en edificios que no tienen climatización artificial.

Estudios como el de Lou, *et al.* (2014) son muy ilustrativos porque tocan los tres enfoques: estudios de campo, predicciones con modelos de simulación y adaptación; donde se validan los modelos de simulación en relación con los datos de campo y luego, se correlaciona el voto medio de confort con la respuesta adaptativa. La adaptación se descarta en condiciones de climatización artificial.

Gómez-Azpeitia, *et al.* (2007) explican que PMV/PPD tienen la limitante de que se estudia a los en condiciones constantes de temperatura, arropamiento y actividad física (tasa metabólica). Esta explicación probablemente sea parte de la justificación de los resultados reportados por Lou, *et al.* (2014): “los usuarios están expuestos a condiciones constantes prolongadas sólo en presencia de aire acondicionado; cuando hay ventilación natural, las condiciones son cambiantes y más aceptadas”. Por lo tanto, el modelo de confort adaptativo es aplicable para edificios ventilados naturalmente o de modo mixto (Gómez-Azpeitia, *et al.*, 2007).

CAPÍTULO II. ANTECEDENTES DEL CASO DE ESTUDIO

Los antecedentes son todo lo anterior al caso: todo lo que se toma como referencia para entenderlo de la forma más completa posible. El auditorio Tonatiuh, ubicado en Temixco, Morelos, edificio donde se realizan las mediciones de confort, es el caso de estudio. Dicho auditorio posee características de diseño (enfoque bioclimático) y de ocupación que lo hacen funcionar de cierta manera y se describen en 4 caracterizaciones: del clima de la zona donde se ubica, del edificio (cualidades constructivas y de diseño), del ambiente térmico interior y del usuario. Por otro lado, se entiende como objeto de estudio a todo lo que conforma la relación o interacción arquitectura-usuario; es decir, confort, percepción, aceptación, rechazo, comportamiento, conducta, etcétera.

El objeto de estudio es sumamente complejo, pues en él intervienen factores psicosociales difíciles de cuantificar. Por un lado, la arquitectura bioclimática proporciona edificaciones que “además de hacer un uso eficiente de la energía, se integren armónicamente al entorno natural para proporcionar espacios dignos, confortables y saludables para el cuerpo, la mente y el espíritu de los usuarios” (García & Fuentes, 2000), entre otros beneficios adicionales. Por otro lado, el confort se refiere a “un estado de percepción ambiental momentáneo, el cual ciertamente está determinado por el estado de salud del individuo, pero además por otros factores endógenos y exógenos” (Fuentes, 2004).

Bajo este entendido de intrínseca relación entre arquitectura bioclimática y confort, fue diseñado y construido el auditorio Tonatiuh, caso de estudio para el proyecto de investigación, para determinar si el comportamiento térmico que se esperaba del edificio en su planteamiento original corresponde con la realidad, o no.

Dado que tras 33 años desde la apertura del auditorio aún no hay datos sobre el confort térmico de los usuarios, este trabajo post-ocupacional contrasta los resultados de estudios de campo (datos de encuestas aplicadas a los usuarios), predicciones numéricas y modelos adaptativos, con el fin de conocer los niveles de satisfacción y de aceptación con respecto al ambiente térmico interior del edificio y proponer medidas de regeneración de diseño y de operación como respuesta.

Las consideraciones básicas que toma el proyecto de investigación son las cuatro caracterizaciones, que en el orden siguiente, conforman el presente capítulo:

III.1. Descripción del caso de estudio

III.1.1. Caracterización climática de la zona de estudio

III.1.2. Caracterización del edificio: enfoque bioclimático y sistemas de acondicionamiento pasivo implementados.

III.1.3. Caracterización del ambiente térmico interior del auditorio

III.1.4. Caracterización del usuario

II.1 Descripción del caso de estudio

Los alcances de la presente ICR se centran en el confort térmico de los ocupantes del auditorio Tonatiuh. Por medio de un análisis post-ocupacional, se detectan las situaciones en las que el edificio no trabaja de la manera esperada. Estos datos pueden ser usados por los propietarios del edificio para tomar medidas regenerativas acordes y mejorar las condiciones ambientales interiores.

En esta sección se describen las cuatro caracterizaciones clave que conforman el caso de estudio: caracterización climática de la zona, caracterización del edificio, caracterización del ambiente térmico interior y caracterización del usuario.

La primera caracterización contextualiza al lector dentro del bioclima de Temixco; es decir, indica las condiciones ambientales a las que está expuesto el edificio y comienza a dar indicios de las necesidades de una construcción en ésta zona. La segunda caracterización describe el diseño arquitectónico del edificio, cómo fue concebido su diseño y cómo se ha ido modificando en el tiempo. La tercera caracterización habla de cómo funciona en general el edificio; se citan distintos estudios que se han realizado en sitio para dar un acercamiento de lo que sucede con el ambiente térmico interior. La cuarta y última caracterización describe al ocupante en distintos ámbitos (edad, género, lugar de procedencia, etcétera); datos que se obtienen de las campañas de monitoreo efectuadas a lo largo de la investigación.

II.1.1. Caracterización climática de la zona de estudio

La zona de análisis está localizada en latitud norte 18°50.24' y longitud oeste 98°14.06' (Google Earth, 2017), presenta clima cálido subhúmedo (Aw), con temporadas marcadas de lluvias y sequías. La primera, comprendida de mayo a octubre (precipitación mensual promedio de 58.9, 199.4, 160.3, 181.3, 184.7 y 74.9 mm, respectivamente), y la segunda, de noviembre a abril (con precipitación mensual promedio de 15.6, 5.3, 9.1, 2.7, 6.7 y 9.4 mm, respectivamente).

De acuerdo a los datos climáticos normalizados del periodo de 2001 a 2010⁶, la época más cálida se presenta en primavera (marzo a mayo) con temperaturas máxima, media y mínima promedio de 33.7, 25.2 y 16.9 °C, respectivamente, y humedad relativa (HR) promedio de 32.7%. El verano (junio a septiembre) es cálido y húmedo, con temperatura máxima, media y mínima promedio 29.7, 23.4 y 17.1° C, respectivamente, y humedad relativa promedio de 50.3% en agosto. La época más fría se presenta en invierno (diciembre a febrero), con temperatura máxima, media y mínima promedio de 29.8, 21.1 y 12.4 °C, respectivamente, y humedad relativa (HR) promedio de 48%.

Con base en los datos climáticos normalizados consultados, se seleccionan dos meses de análisis (en ellos se realizan los estudios de campo) para representar a la temporada más fría y a la más cálida: febrero y abril. Febrero por ser el mes más frío dentro del calendario ocupacional del IER y de la UAM-A, y abril por ser el mes más cálido anterior a las fechas límite para realizar los estudios de campo o campañas de monitoreo (Tabla II-I).

⁶ SMN, a través del *plug in* de *Google Earth*; datos normalizados obtenidos de la estación meteorológica 00017014 de Temixco.

	FEBRERO	ABRIL	ANUAL
T máxima (°C)	31.0	34.4	30.5
T media (°C)	22.1	25.8	23.1
T mínima (°C)	13.2	17.3	15.4
Precipitación total (mm)	6.5	9.0	967.2
Amplitud	17.8	15.5	15.1
HR máxima (%)	62.1	43.1	61.2
HR media (%)	44.0	31.0	45.3
HR mínima (%)	25.9	18.9	29.5

Tabla II-1. Datos climáticos normalizados de 10 años, 2001 a 2010 (estación meteorológica 00017014 de Temixco del Servicio Meteorológico Nacional «SMN»)

Las temperaturas altas que se tienen durante el día, principalmente en primavera y verano, junto con la radiación solar producen fuertes ganancias térmicas en las edificaciones que deben ser reducidas con un buen diseño bioclimático. La reducción de temperatura durante las noches puede aprovecharse en la época de calor para ventilación nocturna (Castillo, *et al.* 2011).

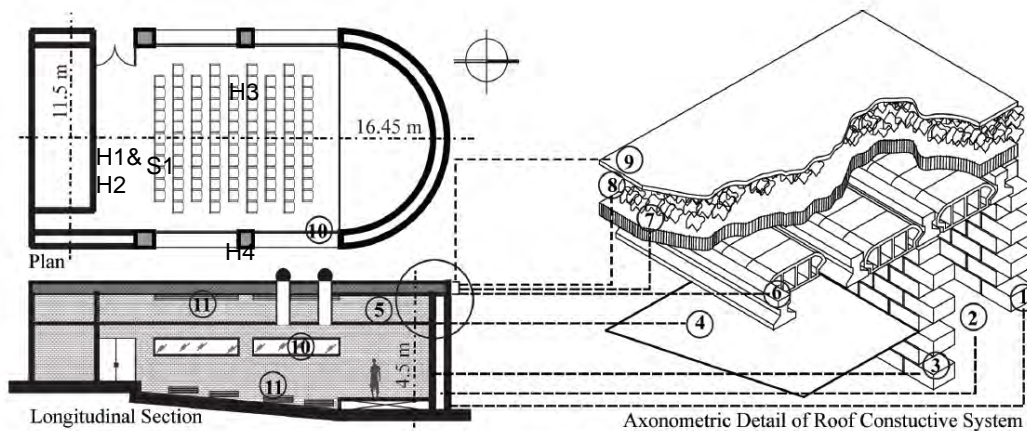
II.1.2. Caracterización arquitectónica del caso de estudio: enfoque bioclimático y sistemas de acondicionamiento pasivo implementados

El auditorio Tonatiuh (Figura II-1) del Instituto de Energías Renovables, IER, ubicado en Temixco, Morelos, fue diseñado y construido 1985 bajo un enfoque bioclimático, con la finalidad principal de operar sin sistemas de acondicionamiento mecánico.



Figura II-1. Auditorio del IER (Rojas, *et al.*, 2007)

El edificio tiene 16.45 metros de largo, 11.5 de ancho, y 4.5 de alto. El área construida es de 251.85 m² y el volumen total del espacio, 589.35 metros cúbicos⁷. Las paredes están formadas por dos capas de ladrillo, con 60 centímetros de aire intermedio. El techo está conformado por 5 capas, que de abajo hacia arriba son: 40 cm de block hueco y sistema de ‘vigas T’, 10 cm de concreto, 10 cm de polvo de perlita, 2 cm de ladrillo y 1 cm de asfalto, con un falso plafón suspendido a 1.5 m de la formación de una cámara de techo (ver Figura II-2).



- | | | |
|-------------------------------|---|--|
| 1. Muro de tabique exterior | 5. Pleno | 9. Tabique y asfalto |
| 2. Cámara de aire entre muros | 6. Block hueco y sistema de vigueta y bovedilla | 10. Ventanas fijas para iluminación natural |
| 3. Muro de tabique interior | 7. Losa de concreto | 11. Louvers para ventilación natural |
| 4. Falso plafón | 8. Relleno de polvo de perlita | H1, H2, H3, H4: tempares; S1: sensor (ver inciso II.1.3) |

Figura II-2. Descripción esquemática del Auditorio y del sistema constructivo de techos y muros (Elías-López, et al. 2011)

[...] Los muros son de doble hilada de tabiques de barro recocido huecos con separación entre hiladas de 0.6 m para dar cabida a una capa de aire que actúa como aislante térmico. En los muros laterales se tienen ventanas con vidrios fijos, entremetidas 0.5 m con respecto a la cara exterior del muro, para permitir la iluminación natural diurna pero sin dejar el paso de la radiación solar directa en las horas de mayor insolación. En la parte inferior

⁷ Datos obtenidos por Zurita (2016) en levantamiento arquitectónico.

de los mismos muros se encuentran unas ventilas o louvers para dar lugar a la entrada del aire. La circulación del aire al interior es promovida por los extractores o turbinas de viento en el techo y por convección natural. En la parte exterior, junto a la base de los muros laterales (muro este y muro oeste) se colocaron unos canales con pequeños desniveles por donde puede correr agua, cuya finalidad es humedecer el aire y bajarle la temperatura antes de que entre al auditorio (Elías-López, et al. 2011).

En el trabajo *Evaporative cooling for an auditorium during the dry season in a hot semi-humid climate*, Elías-López, et al. (2011) calculan la zona de confort térmico según Szokolay, que contempla un rango de 27.2 °C a 24.2 °C, y encuentran que el edificio tiende a sobrecalentarse durante el periodo cálido-seco (de marzo a junio), en el 33% de las horas del día.

II.1.3. Caracterización del ambiente térmico interior del caso de estudio

La instrumentación para las evaluaciones de la temperatura interior está compuesta por 4 termopares tipo T, calibre 30, que registran la temperatura cada 5 minutos, distribuidos de la siguiente manera: dos en la parte trasera, detrás de la última fila de asientos, a 1 y 1.6 metros del suelo (H1 y H2 en la Figura II-2). Uno se encuentra debajo de la rejilla de ventilación frontal-este (H3 en la Figura II-2) y otro por debajo de la rejilla de ventilación frontal-oeste (H4 en la Figura II-2).

La humedad relativa (RH) se mide cada 5 minutos con un sensor de *Campbell Scientific CS210* colocado en la parte central de la sala, por debajo del plafón (S1 en la Figura II-2).

Los instrumentos están calibrados de acuerdo a la ISO 7726 por personal del IER (1998: P. 8, Tabla 2, *Características de los instrumentos de medición*).

Los datos de temperatura exterior y humedad relativa exterior se toman a cada 10 minutos desde la estación meteorológica del IER durante el periodo de las campañas de monitoreo. Los estudios de campo se realizan una vez por semana, durante dos

semanas del mes de análisis, y las mediciones exteriores se consideran para toda la semana. Para el monitoreo del 5 de febrero (día de aplicación de encuestas), las mediciones exteriores se contemplan del 1 al 7 de febrero. Para el monitoreo del 20 y 27 de abril (días de aplicación de encuestas), las mediciones exteriores se contemplan del 13 al 27 de abril.

La incertidumbre de las mediciones de temperatura son menores de ± 0.15 °C. El sensor de la humedad relativa tiene una exactitud de medición del 95%.

II.1.4. Caracterización los usuarios

En este apartado, se caracteriza a los usuarios que son sujetos del estudio, es decir, las personas que ocupan el auditorio (caso de estudio) durante los estudios de campo⁸. Los usuarios del auditorio son básicamente miembros del cuerpo docente y de investigación, estudiantes de preparatoria a universidad e invitados (expositores y público en general). Las dos primeras categorías son, en general, residentes de Morelos, lo que significa que están aclimatadas.

De acuerdo a datos obtenidos de las encuestas, se estima que 70% de los usuarios están acostumbrados a las condiciones climáticas, mientras que 30% no lo están. Los usuarios son predominantemente hombres (77%) y las edades van de los 19 a más de 65 años, en su mayoría, jóvenes y adultos jóvenes a medios (Figura II-3).

⁸ Los estudios de campo (encuestas a los usuarios y mediciones térmicas al interior del auditorio) se realizan de 12 a 13:30 horas, durante el Seminario de posgrado, para los días viernes (febrero: 5 y 12 de febrero), y durante el Seminario del Departamento de Termociencias, para los días miércoles (abril: 20 y 27 de abril).

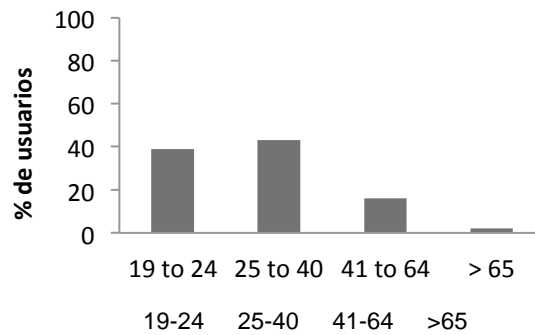


Figura II-3. Porcentaje por rango de edades

El nivel de arropamiento predominante es de 0.57 clo para ambos meses. Sumando el aislamiento de la silla a quienes estaban sentados, el arropamiento promedio es de 1.21 clo en febrero y 0.78 clo en abril. El nivel de actividad de los usuarios dentro del auditorio es ligera, con 1.03 met en febrero y 1.05 en abril. Los datos de clo y met se detallan posteriormente, en los apartados V.1.1 y 0.

CAPÍTULO III. PROCESO METODOLÓGICO

Se entiende como 'metodología' al conjunto de métodos y procedimientos basados en principios lógicos que se siguen en un estudio o investigación (Hernández-Sampieri, *et al.* 2006). En este capítulo se describe el proceso que sigue el presente proyecto de investigación para alcanzar los objetivos que son detallados más adelante en este capítulo.

Se comienza por describir las preguntas de investigación, que son el punto de partida hacia el objetivo general y objetivos específicos. Las preguntas de investigación sustituyen a la hipótesis, dado el carácter descriptivo del estudio. Se continúa con las metas y productos de la investigación, y el diagrama que muestra la ruta crítica para alcanzar el objetivo de la investigación. Se finaliza con el cronograma del trabajo.

A continuación, se muestran los apartados que conforman el capítulo:

III.1. Planteamiento de la investigación

III.1.1. Preguntas de investigación

III.1.2. Objetivo general

III.1.3. Objetivos específicos

III.2. Metas y productos

III.3. Discusión del diagrama metodológico

III.4. Cronograma

III.1. Planteamiento de la investigación

Como parte del método científico, el proceso de construcción de un proyecto de investigación consta del ordenamiento y exposición de las ideas por medio de la delimitación del problema a investigar, la formulación de preguntas de investigación, objetivos y la propuesta de capitulado (Sánchez, 2004). Para el presente caso se cuestiona qué tan adecuados son los métodos para determinar la aceptabilidad de las condiciones del hábitat construido y la forma en que se evalúa actualmente el diseño

bioclimático. Se analiza la relación entre la implementación de sistemas pasivos y el voto de confort de los usuarios: ¿una tiene más peso que otra? o bien, ¿son complementarios y/o dependientes? En la sección de conclusiones se discute con base en los resultados encontrados.

Parte importante del planteamiento de la investigación es recopilar información que sea suficiente, de modo tal que lo cualitativo promueva el debate y conocimiento intangible de la disciplina arquitectónico-bioclimática.

Para reducir la subjetividad, se plantea la investigación estadística y se utilizan tres modelos de evaluación distintos para contrastar los resultados. Al final se reportan los contrastes encontrados, donde se incorporan los aspectos cualitativos observados.

III.1.1. Preguntas de investigación

En lugar de una hipótesis, este documento propone 6 preguntas de investigación. Más adelante se responden con la intención de comprender sus fundamentos.

1. ¿Un diseño con planteamiento bioclimático es suficiente para que el edificio sea considerado como tal, o se requiere consultar a los usuarios sobre su satisfacción térmica?
2. ¿Se puede validar el planteamiento bioclimático de una edificación a partir de los resultados de estudios de campo (encuestas)?
3. ¿Se puede validar el planteamiento bioclimático a partir de un análisis de confort basado en un enfoque predictivo?
4. ¿Se puede validar el planteamiento bioclimático a partir de un análisis de confort basado en un enfoque adaptativo?
5. ¿Se puede validar el planteamiento bioclimático a partir de un análisis de las tres metodologías juntas?
6. ¿Qué enfoque se asemeja más a la opinión de los usuarios, el predictivo o el adaptativo?

III.1.2. Objetivo general

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

III.1.3. 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 (PMV) y enfoque adaptativo (ASHRAE 55, ACS).
2. Discutir la relación entre las variables endógenas y exógenas del caso-estudio con la satisfacción térmica de los ocupantes.

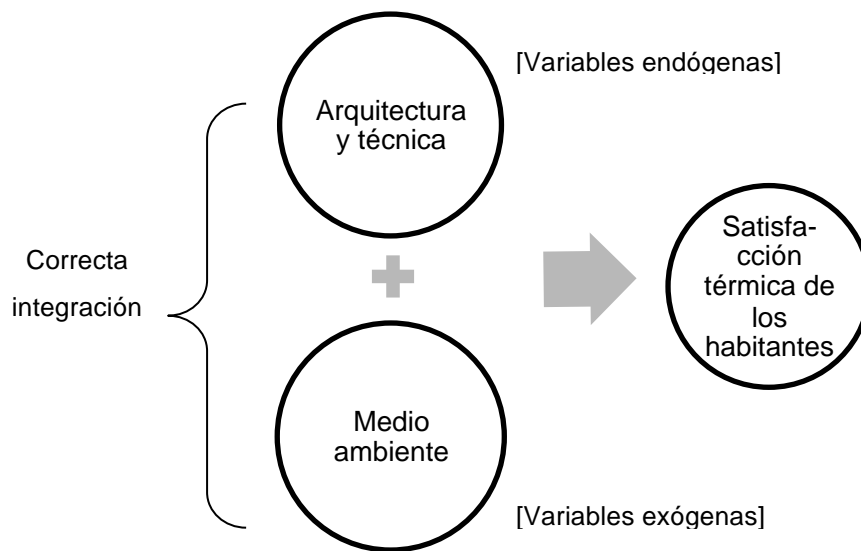


Figura III-1. Relación entre variables endógenas y exógenas del medio construido. Diagrama de elaboración propia con información de Víctor Olgyay (1963)

3. Comparar los rangos de confort térmico preestablecidos (ver V.1.3, p. 59, y Tabla III-1, punto 6) con los resultados de las metodologías planteadas.
4. Discutir si la propuesta arquitectónica original del caso de estudio con las adecuaciones pasivas actuales confirma la existencia de un planteamiento de diseño bioclimático válido.

III.2. Metas y productos

1. Generar una hipótesis *a posteriori*.
2. Publicar los resultados en distintos medios de la difusión de la cultura.

III.3. Discusión del diagrama metodológico

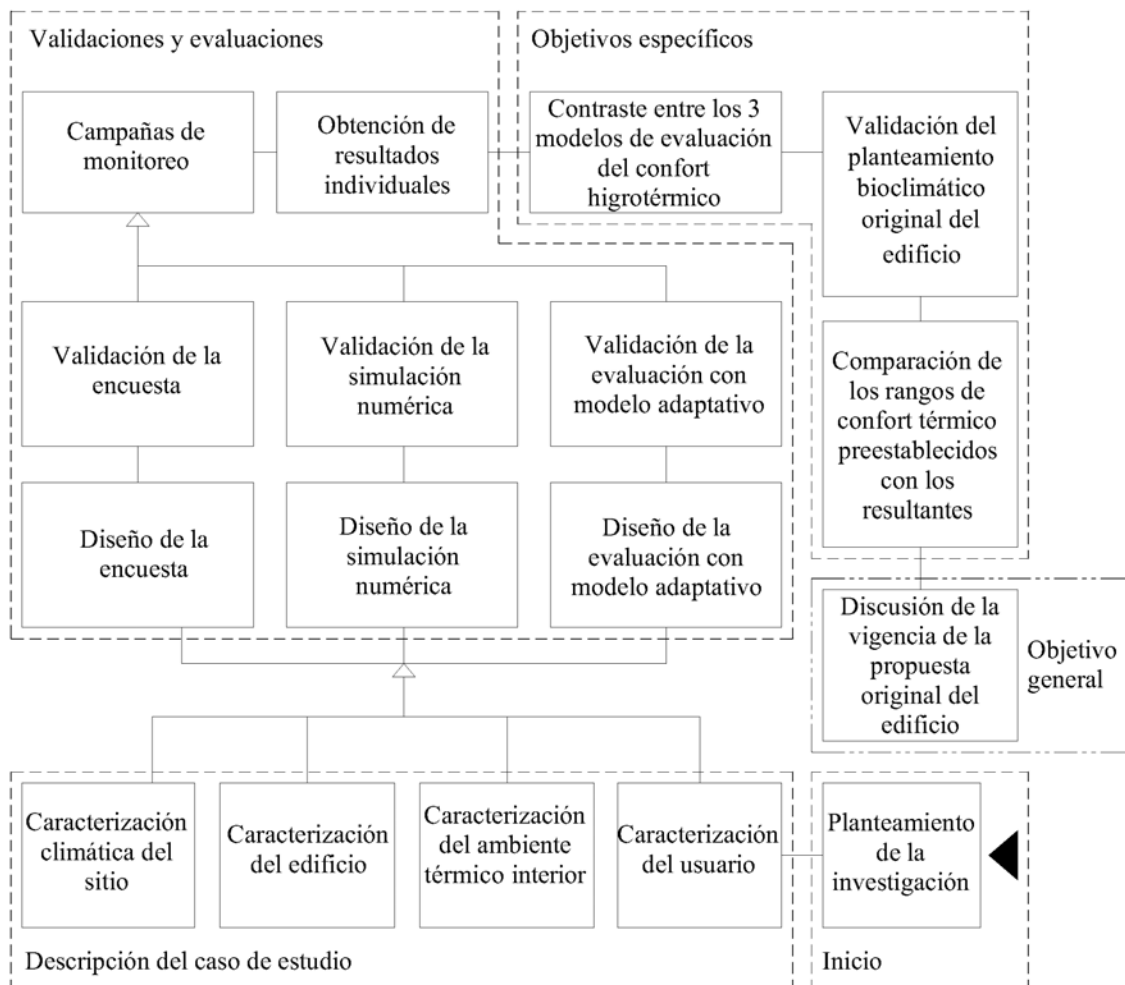


Figura III-2. Diagrama metodológico

Para reducir la subjetividad del estudio se incorpora el factor estadístico a través de encuestas, como se explica en la introducción (p. III). 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-cuantitativo; 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.

La Figura III-2 ilustra el proceso metodológico del estudio.

No.	Concepto	Justificación
1	Planteamiento de la investigación.	Para delimitar el problema y establecer las preguntas de investigación, objetivo general y objetivos específicos.
2	Caracterización del caso de estudio y diseño del conjunto de métodos.	Para contextualizar el marco en el que se desarrolla el estudio, y posteriormente, diseñar la encuesta, modelar el edificio en software con los datos obtenidos en los estudios de campo y acoplar la fórmula adaptativa de De Dear para el caso de estudio.
3	Desarrollo de las tres metodologías de validación del diseño bioclimático.	Llevar a cabo las metodologías, comenzando por los estudios de campo; así se obtienen los datos para incorporar en cada una de las metodologías.
4	Contraste de las 3 metodologías entre sí.	Los distintos resultados de las metodologías de evaluación se contrastan entre sí para encontrar similitudes y discrepancias.
5	Validación del enfoque bioclimático del auditorio.	El voto de confort de los usuarios, expresado a través de las encuestas en estudio de campo son un indicador de la validez del diseño bioclimático. Los resultados de las otras dos metodologías se comparan para respaldar lo anterior o ponerlo en duda. Así mismo, reflejan cuál metodología es más útil o fiable al momento de diseñar y cuál al realizar estudios de post-ocupación.
6	Determinación de la vigencia de la propuesta original del diseño.	Se discute el uso actual del auditorio (caso de estudio) en relación con su diseño original y aceptación térmica por parte de los usuarios.

Tabla III-1. Descripción del diagrama metodológico

III.4. Cronograma

Entender, interpretar, contrastar y abstraer, en ese orden, son las fases cognitivas que dictan la secuencia del proyecto de investigación, bajo el entendido de que el enfoque con el que se interpreta la realidad, da indicadores de diseño. A modo de línea de tiempo (

Figura III-3) se reportan las fases en que se organiza el estudio. Los números dentro del círculo, representan el mes, ya sea del año 2015 o 2016. La construcción del protocolo amplio se da a lo largo del trimestre 15-O (otoño de 2015). El proyecto de investigación en forma, comienza en el trimestre 15-I (invierno de 2015) y finaliza en el 16-P (primavera de 2016). El tiempo de trabajo da pauta, en gran medida, para los alcances de la investigación y a la delimitación del objeto de estudio.



Figura III-3. Línea de tiempo del estudio

CAPÍTULO IV. DISEÑO DE LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN DE CADA UNA DE LAS TRES METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN

Para los estudios de campo, el método de medición es la aplicación de encuestas. Para el enfoque predictivo, el método de medición es PMVa través de *DesignBuilder*. Para el enfoque adaptativo, el método de medición es la fórmula de De Dear acoplada al caso de estudio.

En este apartado se describe toda la actividad previa al desarrollo experimental, es decir, las directrices que lleva el diseño de los métodos de medición de cada una de las tres metodologías de evaluación. El capítulo se conforma de la siguiente manera:

- IV.1. Diseño de la herramienta de medición para la validación por medio de estudios de campo (encuesta)
- IV.2. Diseño de la herramienta de medición de la validación por medio del enfoque predictivo (modelo de simulación)
- IV.3. Diseño de la herramienta de medición de la validación por medio del enfoque adaptativo (fórmula de De Dear)

IV.1. Encuesta, método de evaluación para el estudio de campo

Las características que conforman el caso de estudio se presentan en la Tabla IV-1:

Ciudad	Clima	Períodos de estudio	Tipología	Tipo de datos (Ver Error! Reference source not found. Error! No se encuentra el origen de la referencia.)	Variables	Aire acondicionado
Temixco, Morelos	Cálido sub-húmedo (Aw)	Febrero, abril	Auditorio	Clase II	Ti, Te, HRe	No

Tabla IV-1. Características que conforman el caso de estudio, donde T_i es temperatura interior, T_e es temperatura exterior y HRe es humedad relativa exterior

La encuesta diseñada se basa en la ISO 10551 (ítems 4, 8, 11, 13 y 14), ANSI/ASHRAE 55 (ítems 3, 7, 8) y otros (ítems 1, 2, 5, 6, 9, 10, 12 y 14), como se explica en la Tabla IV-5. La muestra total está conformada por 140 encuestas aplicadas (61 en febrero y 80 en abril).

El diseño de la encuesta es sencillo (extensión corta y comprensible), práctico (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:

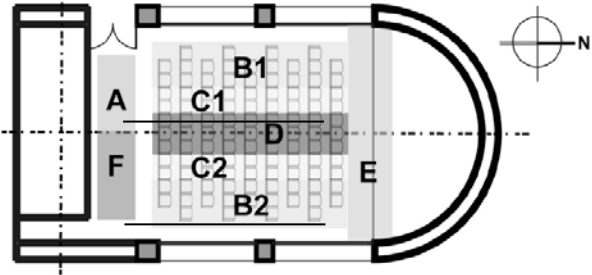
Grupo 1: datos personales, preguntas 1 a 7.

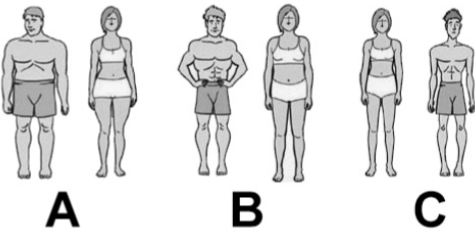
Grupo 2: sensación higrotérmica, preguntas 8 a 10.

Grupo 3: preferencia, preguntas 11 y 12.

Grupo 4: satisfacción, preguntas 13 y 14.

Las preguntas y posibles respuestas elegibles se describen en la Tabla IV-5, junto con la descripción y/o justificación de algunas de ellas y referencias.

Ítem	Descripción, justificación, opciones de posibles respuestas	Referencias												
1	<p>Tiempo en el lugar.</p> <p>Opciones: < media hora, media hora, > dos horas.</p>	Figuroa-Villamar, 2014												
2	<p>Posición dentro del auditorio. Los usuarios seleccionar su lugar, dado un plano esquemático de la planta del auditorio dividido en 6 secciones, de la A a la F (Figura IV-1). Las secciones A y B reciben mayor ventilación natural; mientras que los usuarios en la sección D están rodeados de ganancias internas de otras personas, sin recibir ventilación natural directa. Las secciones A y F son las más cercanas al techo, mientras que en los asientos de la sección E aumenta la altura, con lo que mejora la circulación del aire. Por otro lado, se hace la distinción entre B1-B2 y C1-C2 porque la velocidad con la que ingresa la ventilación por el oriente, con promedio de 2.4 m/s, es mayor que la que ingresa por el poniente, con promedio de 1.8 m/s (</p> <p>Opciones: A, B1, B2, C1, C2, D, E, F.</p>  <p><i>Figura IV-1. Planta esquemática del auditorio para ubicar posición del usuario</i></p> <p>Tabla IV-2).</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Hora</th> <th>Oriente</th> <th>Poniente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>12:00</td> <td>2.6 m/s</td> <td>2.6 m/s</td> </tr> <tr> <td>12:30</td> <td>0.5 m/s</td> <td>1.6 m/s</td> </tr> <tr> <td>13:00</td> <td>4.0 m/s</td> <td>1.1 m/s</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Tabla IV-2. Datos de la velocidad de viento por orientación, medidos a cada media hora con un medidor de confort y estrés térmico durante el seminario del 20 de abril de 2016</i></p>	Hora	Oriente	Poniente	12:00	2.6 m/s	2.6 m/s	12:30	0.5 m/s	1.6 m/s	13:00	4.0 m/s	1.1 m/s	Propuesta propia basada en observaciones del jurado
Hora	Oriente	Poniente												
12:00	2.6 m/s	2.6 m/s												
12:30	0.5 m/s	1.6 m/s												
13:00	4.0 m/s	1.1 m/s												

3	<p>Actividad dentro del sitio. La actividad general es sedentaria, sin embargo ANSI/ASHRAE 55-2010, <i>Addendum g</i> (2013) hace una distinción en la tasa metabólica de distintas actividades ligeras (Tabla IV-3).</p> <p>Opciones: muy ligera, sentado (1met), muy ligera, de pie (1.2met), ligera, paseándose y/o exponiendo (1.7met).</p> <table border="1" data-bbox="397 472 1120 1033"> <thead> <tr> <th>Actividad</th> <th>Me</th> <th>Tasa metabólica</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><i>Descanso</i></td> </tr> <tr> <td>Dormir</td> <td>0.7</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>Reclinarse</td> <td>0.8</td> <td>45</td> </tr> <tr> <td>Sentarse, en silencio</td> <td>1.0</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Estar de pie, relajado</td> <td>1.2</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><i>Caminar (nivel de piso)</i></td> </tr> <tr> <td>0.9 m/s, 3.2 km/h, 2.0</td> <td>2.0</td> <td>115</td> </tr> <tr> <td>1.2 m/s, 4.3 km/h, 2.7</td> <td>2.6</td> <td>150</td> </tr> <tr> <td>1.8 m/s, 6.8 km/h, 4.2</td> <td>3.8</td> <td>220</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: center;"><i>Actividades de oficina</i></td> </tr> <tr> <td>Leer, sentado</td> <td>1.0</td> <td>55</td> </tr> <tr> <td>Escribir</td> <td>1.0</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Pasearse</td> <td>1.7</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Cargando, empacando</td> <td>2.1</td> <td>120</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;"><i>Tabla IV-3. Tabla de tasas metabólicas para actividades típicas (ASHRAE 55-2010 Addendum g, 2013)</i></p>	Actividad	Me	Tasa metabólica	<i>Descanso</i>			Dormir	0.7	40	Reclinarse	0.8	45	Sentarse, en silencio	1.0	60	Estar de pie, relajado	1.2	70	<i>Caminar (nivel de piso)</i>			0.9 m/s, 3.2 km/h, 2.0	2.0	115	1.2 m/s, 4.3 km/h, 2.7	2.6	150	1.8 m/s, 6.8 km/h, 4.2	3.8	220	<i>Actividades de oficina</i>			Leer, sentado	1.0	55	Escribir	1.0	60	Pasearse	1.7	100	Cargando, empacando	2.1	120	ANSI/ASHRAE 55-2010, <i>Addendum g</i> , 2013(VerTabla IV-3)
Actividad	Me	Tasa metabólica																																													
<i>Descanso</i>																																															
Dormir	0.7	40																																													
Reclinarse	0.8	45																																													
Sentarse, en silencio	1.0	60																																													
Estar de pie, relajado	1.2	70																																													
<i>Caminar (nivel de piso)</i>																																															
0.9 m/s, 3.2 km/h, 2.0	2.0	115																																													
1.2 m/s, 4.3 km/h, 2.7	2.6	150																																													
1.8 m/s, 6.8 km/h, 4.2	3.8	220																																													
<i>Actividades de oficina</i>																																															
Leer, sentado	1.0	55																																													
Escribir	1.0	60																																													
Pasearse	1.7	100																																													
Cargando, empacando	2.1	120																																													
4	<p>Género.</p> <p>Opciones: masculino y femenino.</p>	ISO 10551, 1995																																													
5	<p>Constitución física. Después de notar en la prueba piloto que a los encuestados les es complicado definir su complexión física con descripción textual, se decide acompañar la respuesta de imágenes con las que puedan identificarse más fácilmente.</p> <p>Opciones gráficas: endomorfo (A), mesomorfo (B) y ectomorfo (C).</p> <div style="text-align: center;">  <p style="font-size: 2em; font-weight: bold; letter-spacing: 1em;">A B C</p> </div> <p style="text-align: center;"><i>Figura IV-2. Opciones de respuesta para constitución física</i></p>	Propuesta propia, basada en ISO 10551, 1995																																													

6	<p>Edad. Los rangos de edad se basan en las etapas de desarrollo humanos, dado que el metabolismo basal (BM) varía según las mismas. Macarulla y Goñi (1994), describen que "en niños de hasta 5 años, el valor medio es de hasta 52 kcal /m(h) y gradualmente disminuye a 33 kcal /m(h)".</p> <p>Opciones: 15 a 18 años «adolescencia, 36-43kcal /m(h)», 19 a 24 años «adulthood temprana, 35-40kcal /m(h)», 25 a 40 años «adulthood media, 35-38kcal /m(h)», 41 a 64 años «adulthood, 32-36 kcal /m(h)» y 65 años en adelante «adulthood tardía, 33-32 kcal /m(h)».</p>	Macarulla & Goñi, 1994; Papalia, 2010																														
7	<p>Arropamiento (clo). Se dan 12 opciones que describen los arreglos de prendas de vestir comunes (Tabla IV-4).</p> <p>Opciones: 1 «0.57 clo», 2 «0.61 clo», 3 «0.96 clo», 4 «0.97 clo», 5 «1.01 clo», 6 «0.54 clo», 7 «0.67 clo», 8 «1.04 clo», 9 «1.10 clo», 10 «1.10 clo», 11 «0.36 clo», 12 «0.40 clo».</p> <table border="1" data-bbox="367 774 1151 1824"> <thead> <tr> <th>Tipo de vestimenta</th> <th>Prendas incluidas</th> <th>Clo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="5">Pantalones</td> <td>1. Pantalones, playera o camisa de manga corta</td> <td>0.57</td> </tr> <tr> <td>2. Pantalones, playera o camisa de manga larga</td> <td>0.61</td> </tr> <tr> <td>3. Pantalones, playera o camisa de manga larga, saco</td> <td>0.96</td> </tr> <tr> <td>4. Pantalones, playera de manga corta, sweater de manga larga</td> <td>0.97</td> </tr> <tr> <td>5. Pantalones, playera de manga larga, sweater de manga larga</td> <td>1.01</td> </tr> <tr> <td rowspan="5">Faldas y vestidos</td> <td>6. Falda a la rodilla, playera de manga corta, sandalias</td> <td>0.54</td> </tr> <tr> <td>7. Falda a la rodilla, playera de manga larga, balerinas/mocasines</td> <td>0.67</td> </tr> <tr> <td>8. Falda a la rodilla, playera de manga larga, saco</td> <td>1.04</td> </tr> <tr> <td>9. Falda a la rodilla, playera de manga larga, sweater de manga larga</td> <td>1.10</td> </tr> <tr> <td>10. Falda al tobillo, playera o camisa de manga larga, saco</td> <td>1.10</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Shorts</td> <td>11. Shorts o bermudas, playera de manga corta</td> <td>0.36</td> </tr> <tr> <td>12. Shorts o bermudas, playera de manga larga</td> <td>0.40</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Tabla IV-4. Tabla de arreglos de vestimenta más comunes (ASHRAE 55-2010 Addendum h, 2013)</i></p>	Tipo de vestimenta	Prendas incluidas	Clo	Pantalones	1. Pantalones, playera o camisa de manga corta	0.57	2. Pantalones, playera o camisa de manga larga	0.61	3. Pantalones, playera o camisa de manga larga, saco	0.96	4. Pantalones, playera de manga corta, sweater de manga larga	0.97	5. Pantalones, playera de manga larga, sweater de manga larga	1.01	Faldas y vestidos	6. Falda a la rodilla, playera de manga corta, sandalias	0.54	7. Falda a la rodilla, playera de manga larga, balerinas/mocasines	0.67	8. Falda a la rodilla, playera de manga larga, saco	1.04	9. Falda a la rodilla, playera de manga larga, sweater de manga larga	1.10	10. Falda al tobillo, playera o camisa de manga larga, saco	1.10	Shorts	11. Shorts o bermudas, playera de manga corta	0.36	12. Shorts o bermudas, playera de manga larga	0.40	ANSI/ASHRAE 55-2010, Addendum h, 2013
Tipo de vestimenta	Prendas incluidas	Clo																														
Pantalones	1. Pantalones, playera o camisa de manga corta	0.57																														
	2. Pantalones, playera o camisa de manga larga	0.61																														
	3. Pantalones, playera o camisa de manga larga, saco	0.96																														
	4. Pantalones, playera de manga corta, sweater de manga larga	0.97																														
	5. Pantalones, playera de manga larga, sweater de manga larga	1.01																														
Faldas y vestidos	6. Falda a la rodilla, playera de manga corta, sandalias	0.54																														
	7. Falda a la rodilla, playera de manga larga, balerinas/mocasines	0.67																														
	8. Falda a la rodilla, playera de manga larga, saco	1.04																														
	9. Falda a la rodilla, playera de manga larga, sweater de manga larga	1.10																														
	10. Falda al tobillo, playera o camisa de manga larga, saco	1.10																														
Shorts	11. Shorts o bermudas, playera de manga corta	0.36																														
	12. Shorts o bermudas, playera de manga larga	0.40																														

8	Sensación térmica. Evaluada con una escala de 9 puntos. Opciones: van de <i>excesivamente fría</i> (-0.4) a <i>excesivamente caliente</i> (0.4), con <i>ni frío ni calor</i> (0) en el medio.	ISO 10551, 1995 ANSI/ASHRAE Standard 55 2010,2013
9	Humedad. Se pide clasificar la humedad en el medio ambiente dentro de una escala de 7 puntos. Opciones: van de <i>muy húmedo</i> a <i>muy seco</i> , con <i>normal</i> en el medio.	Figuroa-Villamar, 2014
10	Ventilación. Opciones: mucha, mediana, ligera, escasa.	Figuroa-Villamar, 2014
11	Preferencia térmica. Evaluada con una escala de 7 puntos. Opciones: van de <i>mucho más fresco</i> (-0.3) a <i>mucho más caliente</i> (0.3), con <i>sin cambios</i> (0) en el medio.	ISO 10551, 1995
12	Preferencia de ventilación. Evaluada con una escala de 3 puntos. Opciones: más ventilación, sin cambios, menos ventilación.	Figuroa-Villamar, 2014
13	Aceptación térmica. Opciones: aceptable, inaceptable.	ISO 10551, 1995
14	Tolerancia. <i>Confortable</i> significa que las condiciones son cómodas para los usuarios; <i>soportable</i> , que se puede aguantar aunque no sea del todo agradable; e <i>insoportable</i> , que las condiciones son insufribles. Opciones: confortable, soportable, insoportable.	Adaptación propia de la ISO 10551, 1995

Tabla IV-5. Descripción de las preguntas del cuestionario.

IV.2. Modelo de simulación del auditorio en DB, método de evaluación para el enfoque predictivo

El PMV, a través de *DesignBuilder*, utiliza el modelo de Fanger. 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.

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.

1. Modelado del edificio (Figura IV-3 y Figura IV-4) tal y como está construido, es decir, se consideran sus sistemas pasivos y constructivos (Ver Figura II-2).

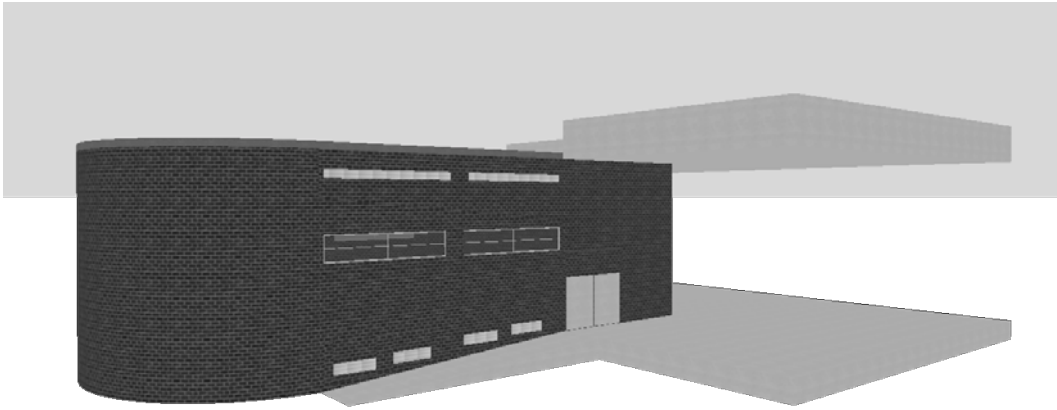


Figura IV-3. Vista exterior del edificio modelado en DesignBuilder por Zurita, M. (2016)

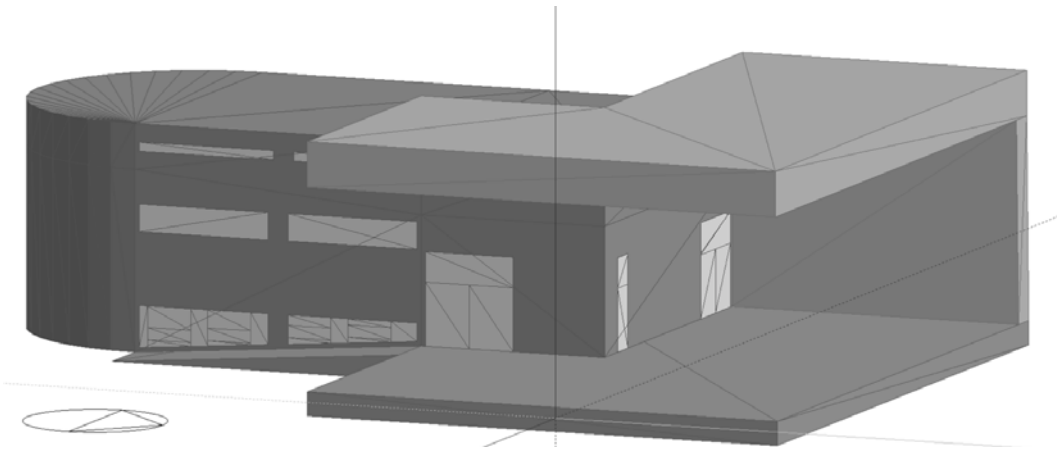


Figura IV-4. Vista volumétrica exterior del edificio modelado en DesignBuilder por Zurita, M. (2016)

2. Incorporación de datos climáticos. El IER conformó una base de datos climáticos, organizados de acuerdo a los archivos EPW (*EnergyPlus Weather Data*). Estos son los datos climáticos que se usan.
3. Incorporación de datos de entrada o *input*, que corresponden a lo recabado el día 5 de febrero de 2016 (número de ocupantes, clo promedio, considerando el aislamiento proporcionado por las sillas, y met promedio; ver apartados V.1.1 y 0);

así como los datos de actividad (cambios de aire, horario de ocupación, horario de ventilación nocturna).

4. 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 el contraste con los datos medidos. La Figura IV-5 muestra la temperatura interior medida y simulada (Ti) en relación con la temperatura exterior medida (Te). La Figura IV-5 valida la simulación con datos medidos.

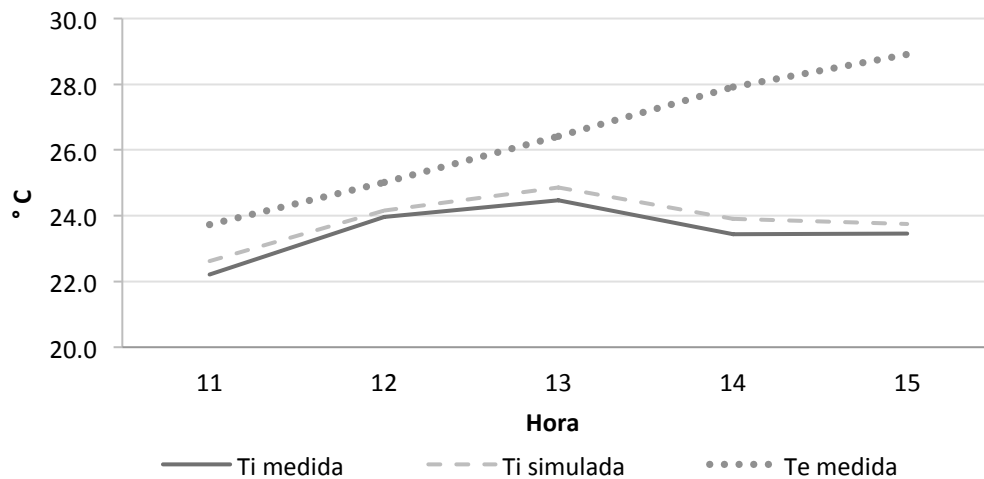


Figura IV-5. Datos simulados para temperaturas exteriores e interiores (Ti y To) de un día típico

5. Se valida el modelo dado que la diferencia de temperaturas simulada y medida es de 0.1 °C (Tabla IV-6) durante el lapso de ocupación. Posteriormente, las simulaciones para febrero y para abril se llevan a cabo y se discuten en la sección de resultados (V.1.2 y 0).

Temperatura media interior (Ti) Febrero 5			
Hora	Ti simulada	Ti medida	Δ
11:00-14:00	23.3 °C	23.2 °C	0.1 °C

Tabla IV-6. Diferencias entre datos simulados y medidos

A continuación se presenta un diagrama del proceso metodológico (Figura IV-6):

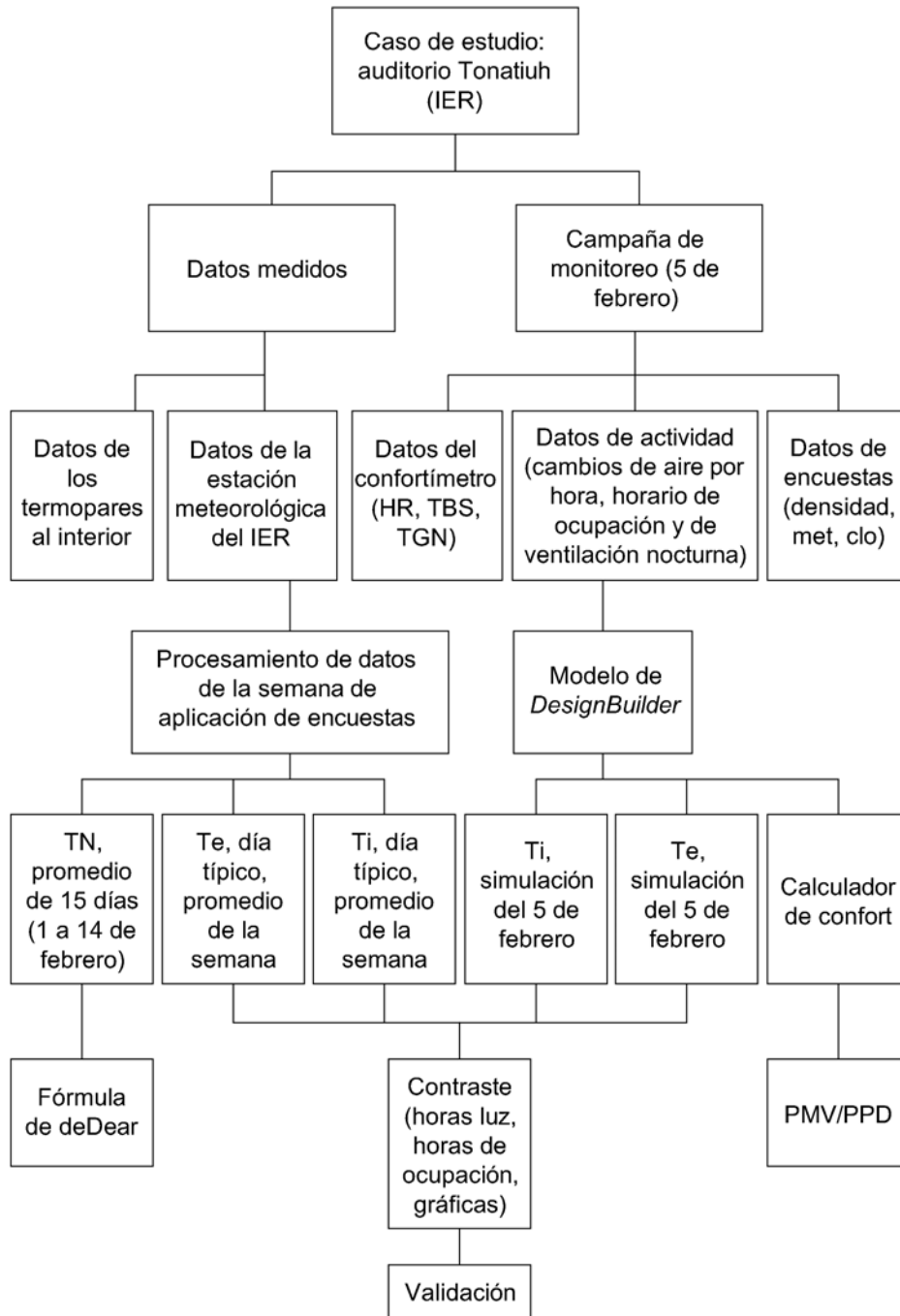


Figura IV-6. Diagrama de la metodología de validación del modelo de DesignBuilder, elaborado por Zurita, M. (2016); donde TN es temperatura neutra; Te, temperatura exterior y Ti, temperatura interior

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-EIM⁹. 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.

IV.3. Fórmula de De Dear adaptada al caso de estudio, método de evaluación para el enfoque adaptativo

El enfoque adaptativo es también parte de la discusión, porque a diferencia del predictivo, considera el efecto de la aclimatación. Además, permite al 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), misma que, como ya se dijo anteriormente, se incorpora al estándar de confort adaptativo (ACS) de ASHRAE 55 desde entonces:

$$TN = 18.9 + 0.225 Tm \quad (10)$$

Donde TN es la temperatura neutra anual y Tm es la temperatura exterior media mensual.

⁹ Diseño-edificio-operación Modelo de información energética (Design-build-operation Energy Information Modelling)

La Tabla IV-7 muestra la amplitud de la zona de confort (ΔT_c), que es dependiente de la amplitud de la oscilación promedio de la temperatura del aire (ΔT_a). La Tabla II-1, con datos climáticos normalizado de Temixco, zona del caso de estudio, indica que la ΔT_a es de 15.1 °C; por lo tanto, el rango de confort adaptativo que se toma para este trabajo es el segundo, ± 3.0 °C, que comprende amplitudes de 13 a 16 °C.

Amplitud de la oscilación promedio de la temperatura del aire ΔT_a (°C)	Amplitud de la zona de confort ΔT_c (°C)
$\Delta T_a < 13$	2.5
$13 \leq \Delta T_a < 16$	3.0
$16 \leq \Delta T_a < 19$	3.5
$19 \leq \Delta T_a < 24$	4.0
$24 \leq \Delta T_a < 28$	4.5
$28 \leq \Delta T_a < 33$	5.0
$33 \leq \Delta T_a < 38$	5.5
$38 \leq \Delta T_a < 45$	6.0
$45 \leq \Delta T_a < 52$	6.5
$52 \leq \Delta T_a$	7.0

Tabla IV-7. Amplitud de la zona de confort para diferentes amplitudes de la oscilación promedio de la temperatura. Fuente: Barrios, et al., 2010; modificada de Morillón, et al., 2004

CAPÍTULO V. RESULTADOS

El auditorio Tonatiuh nace como un edificio completamente pasivo y bioclimático. Los resultados de las tres metodologías de validación del planteamiento bioclimático se presentan individual y colectivamente; es decir, primero se reportan de forma separada y luego, se reportan los contrastes entre sí. El primer reporte corresponde a febrero, y el segundo, a abril.

El capítulo se conforma de la siguiente manera:

IV.1. Febrero

IV.1.1. Resultados de los estudios de campo

IV.1.2. Resultados del enfoque predictivo

IV.1.3. Resultados del enfoque adaptativo

IV.1.4. Comparación de los tres modelos de evaluación del confort térmico

IV.2. Abril

IV.2.1. Resultados de los estudios de campo

IV.2.2. Resultados del enfoque predictivo

IV.2.3. Resultados del enfoque adaptativo

IV.2.4. Comparación de los tres modelos de evaluación del confort térmico

V.1. Febrero

La campaña de monitoreo para este mes se lleva a cabo los días 5 y 12 de febrero de 2016; durante el Seminario del Departamento de Termociencias (miércoles, de 12 a 13:30 horas). Durante dichas fechas de análisis el auditorio operó con ventilación nocturna, apertura de las rejillas de ventilación a lo largo del seminario, con ventiladores apagados y sin enfriamiento evaporativo (aspersores apagados).

V.1.1. Resultados de los estudios de campo

Se cuenta con encuestas respondidas por 61 usuarios, 20 a través de Internet y 41 en la versión impresa. Todos los encuestados respondieron el cuestionario correctamente. Los resultados se presentan a continuación:

1. Tiempo dentro del lugar				
	< media hora	> media hora	> dos horas	Sin respuesta
n	27	29	3	2

2. Posición dentro del auditorio (ver Figura IV-1)							
	A	B	C	D	E	F	Sin respuesta
n	8	21	13	12	3	4	0

3. Actividad					
	Muy sentado	ligera, de pie	Muy ligera, de pie	Ligera, de pie	Sin respuesta
me	1	1.2	1.7		
n	53	7	1		0

4. Género			
	Masculino	Femenino	Sin respuesta
n	47	14	0

5. Constitución física				
	Endomorfo	Mesomorfo	Ectomorfo	Sin respuesta
n	6	23	32	0

6. Rangos de edad						
	15-18	19-24	25-40	41-64	65+	Sin respuesta

n	0	23	24	11	3	0
----------	---	----	----	----	---	---

7. Arropamiento										
clo	0.25	0.36	0.57	0.61	0.74	0.82	0.86	0.96	1.01	Promedio
n	1	2	28	9	2	12	1	4	1	1.02

8. Sensación térmica									
	Frío excesivo	Mucho frío	Frío	Algo de frío	Ni frío ni calor	Algo de calor	Calor	Much o calor	Calor excesivo
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
n	0	0	2	21	34	4	0	0	0

9. Sensación de humedad							
	Muy húmedo	Húmedo	Algo húmedo	Normal	Algo seco	Seco	Muy seco
	-3	-2	-1	0	1	2	3
n	0	1	4	47	8	1	0

10. Sensación de ventilación								
	Escasa	Muy ligera	Ligera	Mediana	Fuerte	Muy fuerte	Excesiva	Sin respuesta
	-3	-2	-1	0	1	2	3	
n	6	1	31	17	5	0	0	1

11. Preferencia térmica								
	Mucho más cálido	Más cálido	Poco más cálido	Sin cambios	Poco más fresco	Más fresco	Mucho más fresco	
	-3	-2	-1	0	1	2	3	
n	0	0	14	22	24	1	0	

12. Preferencia de ventilación				
	Más ventilación	Menos ventilación	Sin cambios	Sin respuesta
n	20	5	36	0

13. Aceptación			
	Aceptable	Inaceptable	Sin respuesta
n	61	0	1

14. Tolerancia				
	Confortable	Soportable	Intolerable	Sin respuesta
n	54	7	0	0

Los resultados de los estudios de campo muestran que el 56% de los usuarios del auditorio se sienten en confort; sin embargo, 34% sienten el ambiente térmico *un poco frío*, 6.6%, *ligeramente caliente*, y 3.3%, *frío* (Figura V-5, inciso a); a pesar de que la temperatura interior media es de 20.8 °C (dato correspondiente a los días 1 al 7 de febrero de 2016; ver Figura V-1).

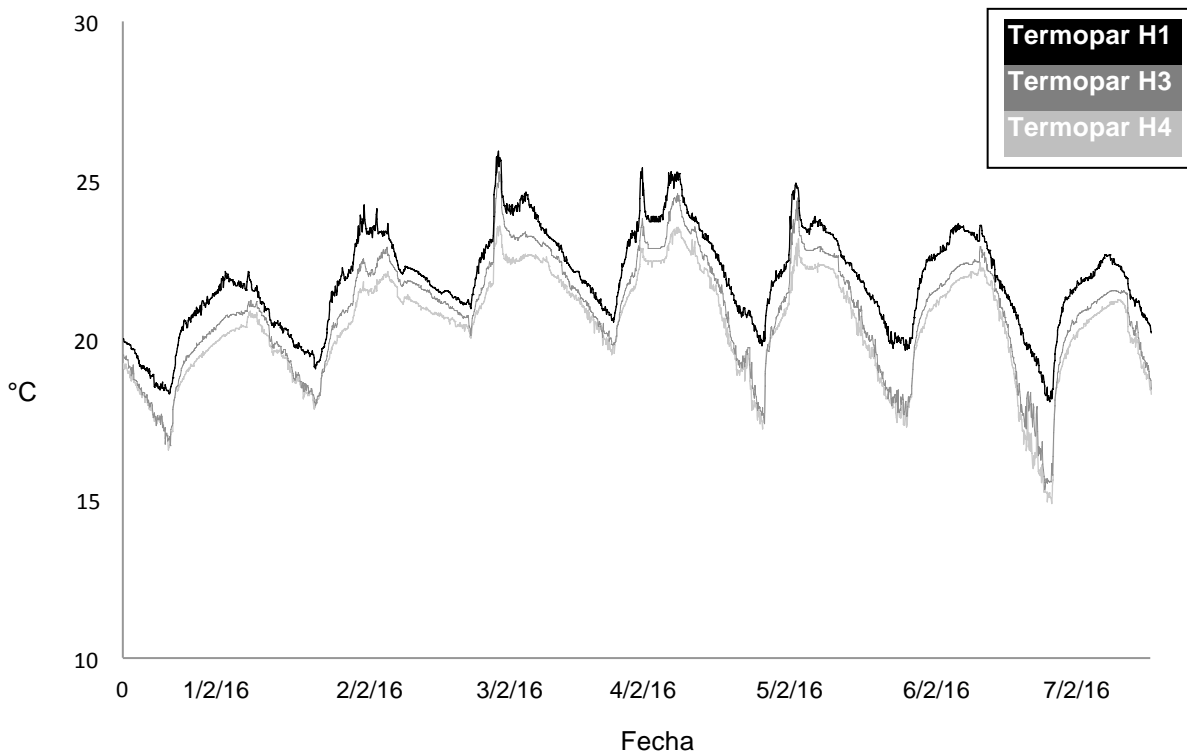


Figura V-1. Semana típica de febrero de 2016. Elaborada con datos medidos de temperatura interior del 1 al 7 de febrero de 2016. Cada tipo de línea representa un termopar distinto dentro del área.

La Figura V-2, inciso a, aislamiento de la ropa, muestra que la mayoría de las personas, 46%, tienen un nivel de arropamiento de 0.57 clo (ASHRAE 55, *Addendum h*, 2010), pero el promedio es 0.65 clo (pregunta número 7 de la encuesta). El efecto del aislamiento de la silla¹⁰ se añade a las personas sentadas, por lo que el clo medio resultante final es 1.2 (Figura V-2, inciso a).

La tasa metabólica media resultante (pregunta número 4 de la encuesta) es de 1.03 met; con 87% de los usuarios en reposo, sentados, y 11% de pie, relajados (Figura V-2, inciso b).

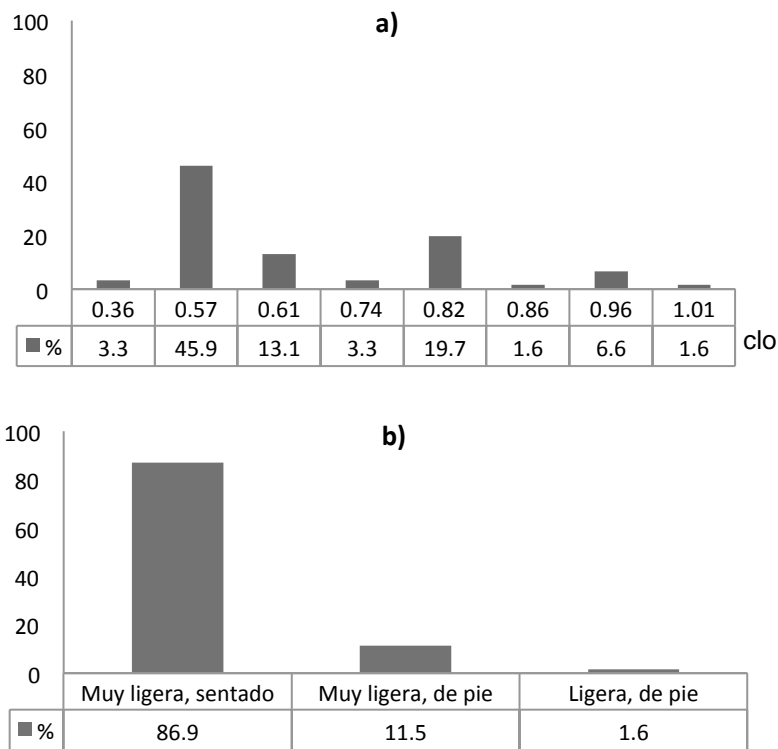


Figura V-2. Respuestas de datos personales. a) Aislamiento de la ropa (clo); b) Tasa metabólica (met)

La sensación térmica predominante (pregunta número 8 de la encuesta) es neutral, *ni frío ni calor*, seguida de algo de frío (Figura V-3, inciso a). La sensación de ventilación

¹⁰ El valor de cloque proporciona la silla es el promedio entre las propuestas de Brager, *et al.* (1993), 0.15 clo, y McCullough, *et al.* (1994), 0.27 clo; es decir, 0.21 clo.

(pregunta número 10 de la encuesta) es *ligera*, seguida de *mediana* (Figura V-3, inciso b).

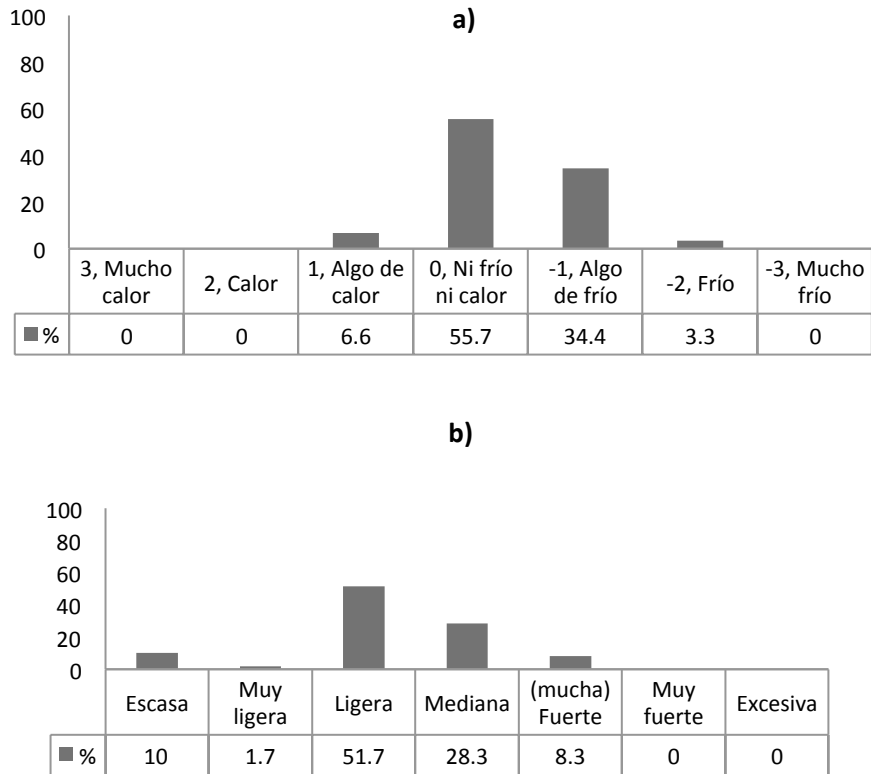


Figura V-3. Respuestas de sensación. a) Sensación térmica; b) Sensación de ventilación

Dada la ligera vestimenta de la mayoría de las personas, se puede asumir que si los usuarios que indican sentir *algo de frío* tuvieran más prendas, mejorarían su sensación térmica.

La preferencia térmica (pregunta número 11 de la encuesta) fluctúa entre *un poco más cálido*, 39%, *sin cambios*, 36%, y *un poco más fresco*, 23% (Figura V-4, inciso a). La mayoría, el 59%, prefiere la ventilación (pregunta número 12 de la encuesta) *sin cambios*, el 33% preferiría *más ventilación* y sólo el 8.2%, *menos ventilación* (Figura V-4, inciso b).

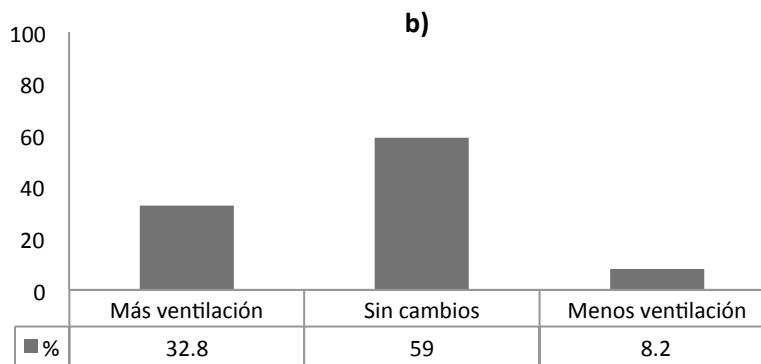
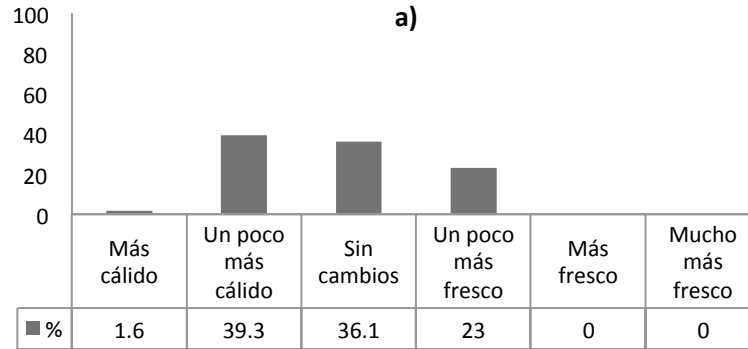


Figura V-4. Respuestas de preferencia. a) Preferencia térmica; b) Preferencia de ventilación

Mediante la comparación de estos datos con los de satisfacción, se detecta que existe coherencia. Para todos los usuarios, sin excepción, el medio ambiente es *acceptable* (pregunta número 13 de la encuesta) (Figura V-5, inciso a) y el 89% se siente térmicamente (pregunta número 14 de la encuesta) *confortable*, el resto, 11.5%, piensa que las condiciones son *soportables* (Figura V-5, inciso b).

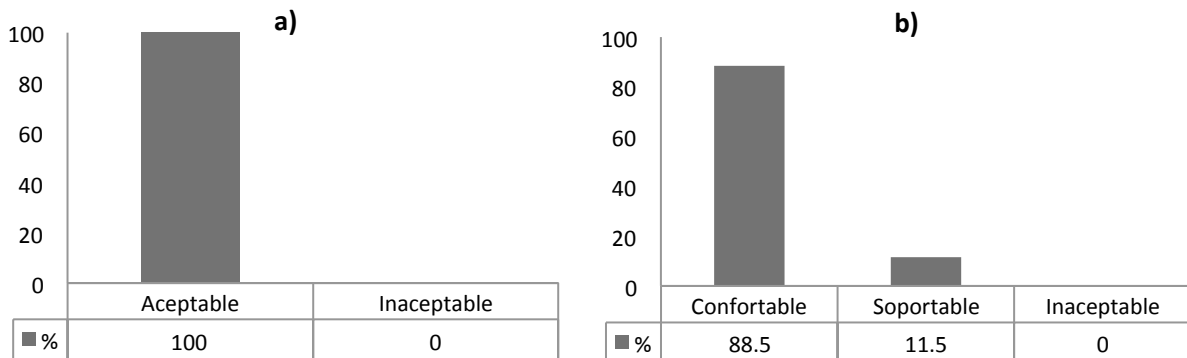


Figura V-5. Satisfacción. a) Aceptación térmica; b) Tolerancia

Hay muchas variables que intervienen en la preferencia de ventilación, desde arropamiento personal y sensación térmica, a la posición dentro del auditorio (pregunta 14, Figura IV-1). Los asientos de columnas adyacentes a los pasillos (B, Figura IV-1) reciben ventilación más directa de las rejillas abiertas, que los del centro (D, Figura IV-1). A pesar de asegurar condiciones aceptables y en general, sin deseos de cambios, los usuarios preferirían más o menos ventilación, indistintamente de su ubicación y grado de arropamiento. Muchos de los encuestados que desean una mayor ventilación, tienen un clo ligero y viceversa.

V.1.2. Resultados del enfoque predictivo

La Tabla V-1 contiene datos medidos y simulados para obtener los datos de PMV y PPD. Las mediciones corresponden al promedio de la semana del 1 al 15 de febrero con la instrumentación descrita en el apartado II.1.3. Los datos corresponden a los datos promediados de los días 5 y 12 de febrero. El horario de ocupación se considera de 11 a 14 horas para este análisis.

Hora	Medidos (°C)		Simulados (°C)	
	Te	Ti	Te	Ti
11	21.6	21.4	21.6	22.4
12	23.2	22.6	23.2	23.0
13	24.5	22.9	24.5	23.6
14	26.0	22.4	26.0	24.0
Promedio	23.8	23.2	23.8	23.3
Promedio diario	20.6	21.1	20.6	22.7

Tabla V-1. Datos térmicos de Te y Ti medidos y simulados, promedio del 5 y 12 de febrero

Con *DesignBuilder (DB)* se obtiene la curva de confort de acuerdo al modelo de Fanger (Figura V-6) y el PMV/PPD (Tabla V-3). Los datos de entrada o *input* capturados en el software, son los siguientes (Tabla V-2):

5 y 12 de febrero de 2016		
Concepto	Valor	Fuente
Coef. de ocupación (usuarios/m ²)	0.32	Encuestas ¹¹
Vestimenta (clo)	1.2	Encuestas
Temperatura del aire (°C)	23.2	Mediciones en sitio ¹²
Temperatura radiante media (°C)	25.5	Calculado con <i>DB</i>
Actividad (met)	1	Encuestas ¹³
Velocidad del aire (m/s)	0.15	Calculado con <i>DB</i>
Humedad relativa interior (%)	30	Estimación ¹⁴

Tabla V-2. Datos de entrada para el modelo de DB

¹¹ Número de usuarios: 80. Área: 252 m² (obtenida de levantamiento en sitio realizado por Manuel Zurita).

¹² Dato promedio *T_i* medida en horas de ocupación.

¹³ El valor medio resultante de met en el estudio de campo es de 1.03, sin embargo *DB* no permite la incorporación de decimales para este campo, por lo que se selecciona 1.

¹⁴ Se toma el dato de la estación meteorológica del IER.

En la Figura V-6, la curva señala la correlación establecida por Fanger entre la sensación térmica de los usuarios (PMV) y el porcentaje de insatisfacción de los mismos (PPD). Los estudios determinan que aun con una sensación térmica neutra siempre existe un porcentaje de personas insatisfechas (5%).

Para las fecha de análisis, 5 y 12 de febrero, la línea horizontal inferior muestra la insatisfacción del 6.49% de las personas, con una sensación térmica cercana a la neutra o cero, 0.27 (ver Tabla V-3).

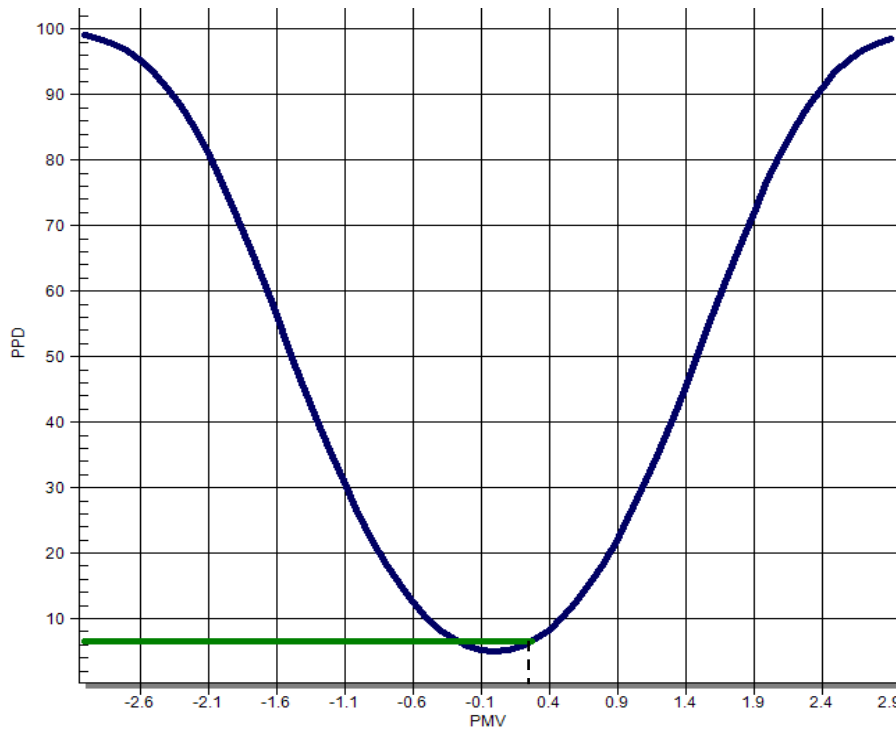


Figura V-6. Gráfica de confort térmico. Fechas de análisis: 5 y 12 de febrero

FEBRERO	
Temperatura operativa (°C) ¹⁵	24.4
PMV	0.27
PPD	6.49

Tabla V-3. PMV y PPD simulados para el 5 y 12 de febrero

¹⁵ Dato calculado por el software.

V.1.3. Resultados del enfoque adaptativo

Como se describe en el punto 0, IV.3. Fórmula de De Dear adaptada al caso de estudio, método de evaluación para el enfoque adaptativo, la ecuación que se utiliza es la del ACS de ASHRAE 55 (De Dear, *et al.* 1997). Para este caso en particular, TN es la temperatura neutra mensual y Tm es la Te media diaria medida para el horario de ocupación (ver Tabla V-1).

$$TN = 18.9 + 0.225(20.6) \quad (11)$$

$$TN = 23.5 \text{ °C} \pm 3 \text{ °C} \quad (12)$$

El rango de confort resultante es de **20.5 a 26.5 °C**. Como se puede observar en la Tabla IV-6, la Ti medida está siempre dentro de este rango de confort, lo que indica que todos los usuarios deberían sentirse cómodos y sin deseo de cambios.

Dichos resultados son similares a los que se obtienen con la gráfica de Temperatura Efectiva Corregida (TEC), que marca una zona de confort comprendida entre los 22.5 y 27.5 °C, con una Temperatura Neutra (TN) de 24.5 °C (Figura V-7). La fórmula del enfoque adaptativo acoplada al caso de estudio permite una temperatura ligeramente más baja. La amplitud térmica entre ambas temperaturas de neutralidad (fórmula de TN y TEC) es de 1 °C. De 12 a 13 horas (horario del seminario), el auditorio tiene una Ti de 22.6 a 22.9 °C, por lo que se encuentra dentro del rango tanto de la fórmula adaptativa, TN, como de la TEC.

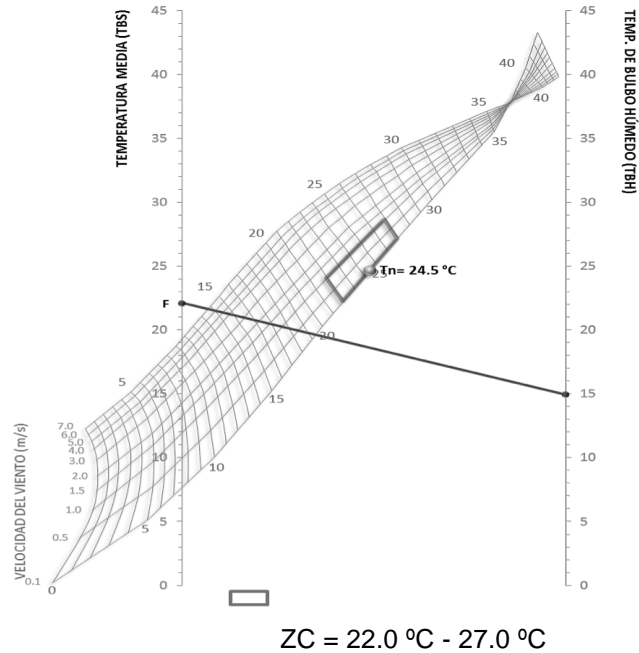
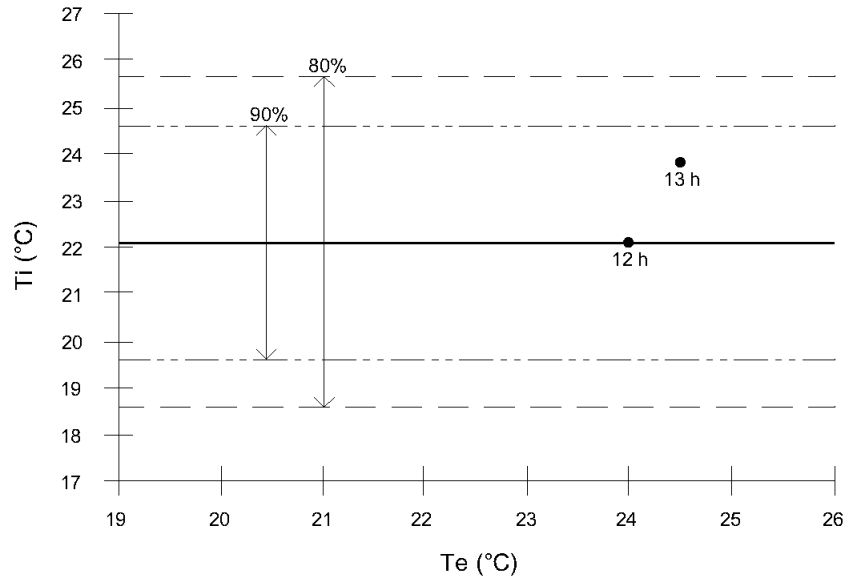


Figura V-7. TEC para febrero, realizada con la herramienta BAT (Fuentes, 2010), usando datos normalizados del período 1980- 2010 (SMN, Conagua, 2016)

La gráfica del confort adaptativo (Figura V-8) es el resultado de estudios multinacionales y multiclimáticos con un total de 22,346 encuestas para derivar una temperatura neutra, TN, y rangos de aceptación para el 80 y 90% de la población, y se retoma para el caso de estudio. La temperatura media exterior que se considera es la medida diaria promedio de las 2 semanas de evaluación, **22.1 °C**, con un rango de 5 °C (± 2.5) para el 90% de aceptación, y de 7 °C (± 3.5) para el 80% (Brager & De Dear, 2001).

Se grafica la temperatura al inicio y al final del seminario; es decir, a las 12 y 13 horas. Al final del seminario la temperatura incrementa, sin embargo, se mantiene dentro de la zona de confort. A las 12 horas el confort es absoluto, pues el punto está sobre la TN (línea gruesa) que representa el cero o neutral en la tabla de 7 puntos. Al final del seminario la temperatura aumenta, pero el punto permanece dentro del confort del 90%, que puede equivaler a 1 en la escala de 7 puntos (confort 'ligeramente cálido'). Esta gráfica muestra una zona de confort con temperaturas más bajas, 18.6 °C a 23.6 °C, que la que se presenta en la gráfica de la TEC (Figura V-7), 22.0 °C - 27.0 °C.



Hora	Datos medidos	
	Te	Ti
12	24.0	22.1
13	24.5	23.8

Figura V-8. Gráfica del confort adaptativo (ACS) para ASHRAE 55 (Brager & De Dear, 2001).
 Elaboración propia con datos medidos para los días 5 y 12 de febrero (promedio)

V.1.4. Comparación de las tres metodologías de evaluación del confort térmico

La Tabla V-4 resume los resultados encontrados a través de los 3 métodos de evaluación diferentes. Los enfoques predictivo y adaptativo sugieren que el confort está garantizado, mientras que los usuarios opinan distinto a través de las encuestas. Sin embargo, hay una coincidencia entre la pregunta 12 (¿Cómo califica el ambiente térmico dentro del espacio?), donde el 100% de los encuestados responde *aceptable*, y el resultado del enfoque adaptativo. Cabe señalar que estudios previos (Brager, *et al.*, 1993) afirman que un "0" (neutral) en la escala no es sinónimo de confort térmico, sino que existen personas que prefieren sentir frío o calor ligeros para estar en confort.

La Tabla V-4 busca una comparación equivalente entre las tres metodologías de evaluación. Por ejemplo, se entiende que el enfoque adaptativo se cumple si se está dentro del rango de confort señalado o no se cumple si se está afuera. Por ello resulta tan drástico en esta tabla (100% o 0%); en este caso, el rango de confort se cumple, por lo que existe confort térmico. El enfoque predictivo indica que todos los usuarios están en confort: 93.5% con sensación neutral (0) y 6.49% con sensación 'ligeramente cálida' (1).

	Encuestas,%	Enfoque predictivo, %	Enfoque adaptativo, %
3	0	0	0
2	0	0	0
1	6.6	6.49 (PPD)	0
0	55.7	93.5	100
-1	34.4	0	0
-2	3.3	0	0
-3	0	0	0

Tabla V-4. Comparación de los tres métodos de evaluación del confort térmico para febrero

V.2. Abril

La campaña de monitoreo para este mes se lleva a cabo los días 20 y 27 de abril de 2016, durante el Seminario de Posgrado (días viernes, de 12 a 13:30 horas), con un promedio de 40 usuarios por día. Durante dichas fechas de análisis el auditorio operó con ventilación nocturna, apertura de las rejillas de ventilación a lo largo del seminario, ventiladores encendidos y enfriamiento evaporativo (los aspersores se prendieron a las 12:10 horas y permanecieron de esta forma hasta la conclusión del seminario).

V.2.1. Resultados de los estudios de campo

Se cuenta con 80 encuestas respondidas, 15 a través de Internet y el 65 en la versión impresa. Todos los encuestados respondieron el cuestionario correctamente; los resultados globales se presentan en el resumen a continuación:

1. Tiempo dentro del lugar				
	< media hora	> media hora	> dos horas	Sin respuesta
n	40	39	1	0

2. Posición dentro del auditorio (ver Figura IV-1)									
	A	B1	B2	C1	C2	D	E	F	Sin respuesta
n	11	9	16	6	11	16	0	11	0

3. Actividad					
	Muy sentado	ligera,	Muy ligera, de pie	Ligera, de pie	Sin respuesta
met	1		1.2	1.7	
n	60		20	0	0

4. Género			
	Masculino	Femenino	Sin respuesta

n	18	62	0
----------	----	----	---

5. Constitución física				
	Endomorfo	Mesomorfo	Ectomorfo	Sin respuesta
n	17	31	32	0

6. Rango de edad						
	15-18	19-24	25-40	41-64	65+	Sin respuesta
n	1	32	37	10	0	0

7. Arropamiento									
clo	0.36	0.54	0.57	0.61	0.67	0.96	0.97	1.01	Promedio
n	4	1	52	9	3	5	5	1	0.62

8. Sensación térmica									
	Frío excesivo	Mucho frío	Frío	Algo de frío	Ni frío ni calor	Algo de calor	Calor	Mucho calor	Calor excesivo
	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
n	0	0	0	3	40	32	5	0	0

9. Sensación de humedad							
	Muy húmedo	Húmedo	Algo húmedo	Normal	Algo seco	Seco	Muy seco
	-3	-2	-1	0	1	2	3
n	1	7	2	67	3	0	0

10. Sensación de ventilación								
	Escasa	Muy ligera	Ligera	Mediana	Fuerte	Muy fuerte	Excesiva	Sin respuesta
	-3	-2	-1	0	1	2	3	
n	11	21	32	12	4	0	0	0

11. Preferencia térmica									
	Mucho cálido	más	Más cálido	Poco más cálido	Sin cambio s	Poco más fresco	Más fresc o	Mucho más fresco	Sin respuesta
	-3		-2	-1	0	1	2	3	
n	0		0	2	28	30	15	5	0

12. Preferencia de ventilación				
	Más ventilación	Menos ventilación	Sin cambios	Sin respuesta
n	24	1	55	0

13. Aceptación			
	Aceptable	Inaceptable	Sin respuesta
n	74	6	1

14. Tolerancia				
	Confortable	Soportable	Intolerable	Sin respuesta
n	44	36	0	0

De acuerdo a los datos personales colectados, el clo promedio para abril (pregunta número 7 de la encuesta) es de 0.62 y **0.78** al sumar el aislamiento de la silla (Figura V-9, inciso a). El nivel de actividad promedio resultante (pregunta número 3 de la encuesta) es **1.05** (Figura V-9, inciso b).

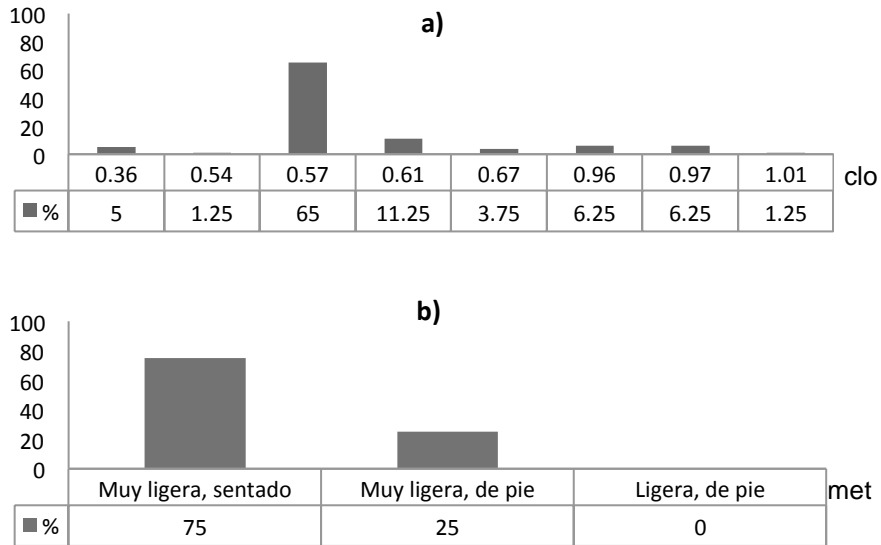


Figura V-9. Respuestas de datos personales. a) Aislamiento de la ropa (clo); b) Tasa metabólica (met)

En cuanto a sensación térmica (pregunta número 8 de la encuesta), el voto medio de confort predominante (50%) es 0 o neutro, es decir, *ni frío ni calor*, seguido de 1 (40%), *algo de calor* (Figura V-10, inciso a). Para la sensación de ventilación (pregunta número 10 de la encuesta), predominan *ligera* (32%) y *muy ligera* (21%) (Figura V-10, inciso b).

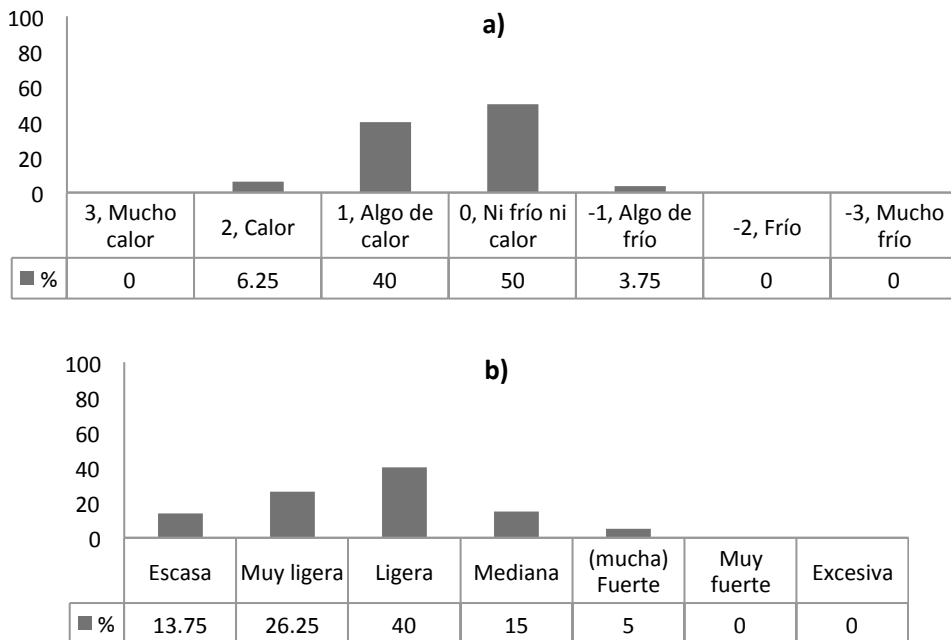


Figura V-10. Respuestas de sensación. a) Sensación térmica; b) Sensación de ventilación

Las respuestas de preferencia térmica (pregunta número 11 de la encuesta) para abril se inclinan hacia un voto de discomfort cálido; sin embargo, un considerable 6% quisiera *un ambiente un poco más cálido*. La mayoría, 49%, se siente suficientemente bien y no desea cambios. El 31% *preferiría un poco más fresco*; 11%, *más fresco*; y 3%, *mucho más fresco* (Figura V-11, inciso a). En cuanto a la preferencia de ventilación (pregunta número 12 de la encuesta), seguramente el ambiente podría refrescarse si se aumentara la ventilación, pues a pesar de que el 60% la considera adecuada, para el 30% es insuficiente y desearían más (Figura V-11, inciso b).

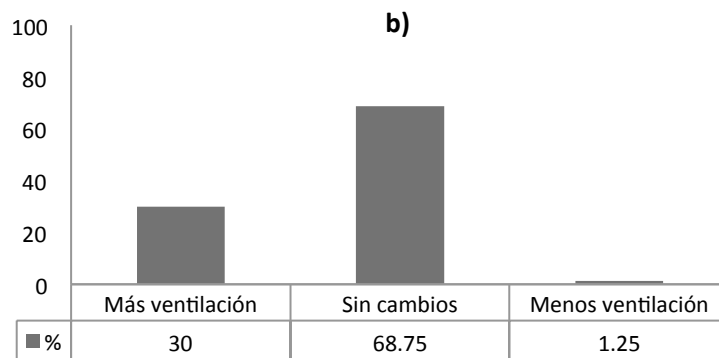
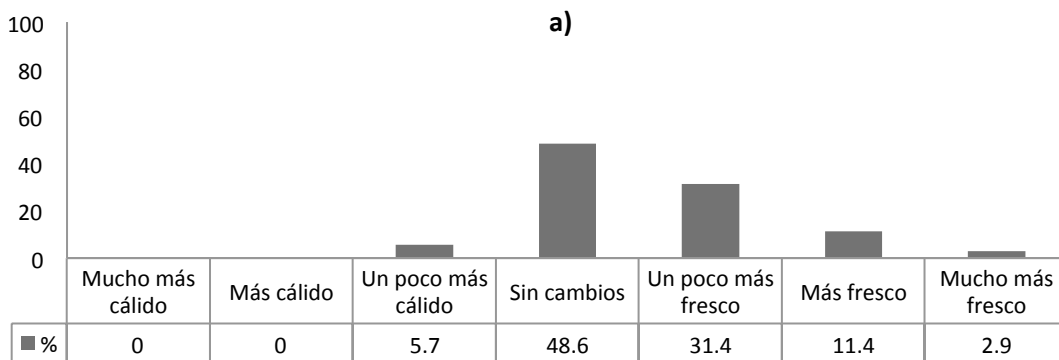


Figura V-11. Respuestas de preferencia. a) Preferencia térmica; b) Preferencia de ventilación

La aceptación (pregunta número 13 de la encuesta) es alta, el ambiente térmico interior es inaceptable tan sólo para el 7.5% (Figura V-12, inciso a); en general, el ambiente es confortable para el 55% y soportable para el 45% (pregunta número 14 de la encuesta) (Figura V-12, inciso b).

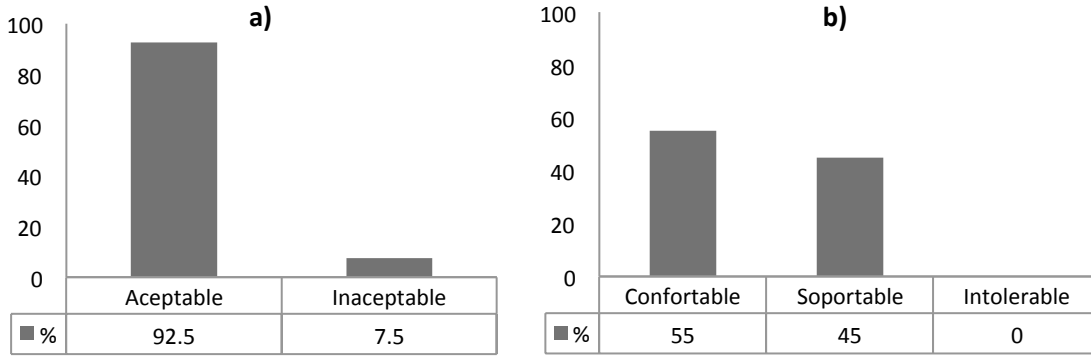


Figura V-12. Satisfacción. a) Aceptación térmica; b) Tolerancia

V.2.2. Resultados del enfoque predictivo

La tabla Tabla V-5 se elabora con datos medidos de los estudios de campo y con simulaciones en *DesignBuilder* para obtener los datos de PMV y PPD. Las mediciones corresponden a las semanas de evaluación, del 13 al 20 de abril y del 20 al 27, con la instrumentación descrita en el apartado II.1.3, *Caracterización del ambiente térmico interior del caso de estudio*. Para las simulaciones, se usan los días de evaluación, 20 y 27 de abril. El horario de ocupación del auditorio, considerado de 11 a 14 horas para este análisis, se muestra en la Tabla V-5.

Hora	Medidos		Simulados	
	Te	Ti	Te	Ti
11	26.8	26.4	26.8	24.5
12	28.1	26.9	28.1	24.7
13	29.4	27.3	29.4	25.0
14	29.8	27.5	29.8	25.2
Promedio	28.5	27.1	28.5	24.9
Promedio diario	24.3	26.4	24.3	24.3

Tabla V-5. Datos térmicos medidos y simulados del 13 al 27 de abril (semanas correspondientes a los dos días de evaluación: 20 y 27 de abril)

Con *DesignBuilder* también se obtiene la curva de confort de acuerdo al modelo de Fanger (Figura V-13), con los siguientes datos de entrada (Tabla V-6):

20 y 27 de abril de 2016		
Concepto	Valor	Fuente
Coef. de ocupación (usuarios/m ²)	0.32	Encuestas ¹⁶
Vestimenta (clo)	0.78	Encuestas
Temperatura del aire (°C)	27.1	Mediciones en sitio
Temperatura radiante media (°C)	27.3	Mediciones en sitio
Actividad (met)	1.1	Encuestas ¹⁷
Velocidad del aire (m/s)	0.15	Mediciones en sitio
Humedad relativa (%)	55.00	Mediciones en sitio

Tabla V-6. Datos de entrada para el modelo de DesignBuilder

El promedio de los dos días evaluados, 20 y 27 de abril (ver Figura V-13 y Tabla V-7) señala una insatisfacción del 23.98% de las personas, con una sensación térmica ligeramente cálida, es decir, por arriba de la neutra: 0.95.

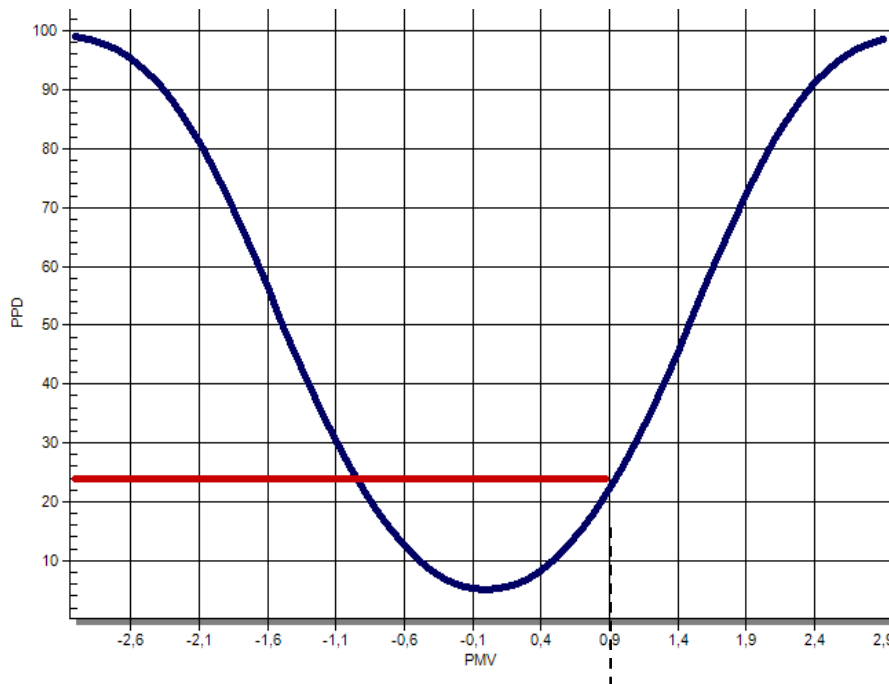


Figura V-13. Gráfica de confort térmico, para el 20 y 27 de abril

¹⁶ Se toma el promedio del número de usuarios que asistieron al seminario los días 20 y 27 de abril, 81.5.

¹⁷ El valor medio resultante de met en el estudio de campo es de 1.05, sin embargo DB no permite la incorporación de decimales para este campo, por lo que se selecciona 1.1.

ABRIL	
Temperatura operativa (°C)	27.20
PMV	0.95
PPD	23.98

Tabla V-7. PMV y PPD simulados para abril

V.2.3. Resultados del enfoque adaptativo

De acuerdo a la fórmula de De Dear, el rango de confort es de **21.6 y 27.6 °C**:

$$TN = 18.9 + 0.225(25.4) \quad (13)$$

$$TN = 24.6 \text{ °C} \pm 3 \text{ °C} \quad (14)$$

Dichos resultados, son similares a los que se obtienen con la gráfica de TEC, que marca una zona de confort comprendida entre los **22.6 y 28.6 °C**, con una TN de **25.6 °C** (Figura V-14). La amplitud entre ambas TN, la obtenida por medio de la fórmula de De Dear y la obtenida con la gráfica de TEC, es de 1 °C. De 12 a 13 horas, horario de ocupación del auditorio, la T_i es de 26.9 a 27.3 °C, por lo que está en confort de acuerdo a ambos modelos adaptativos.

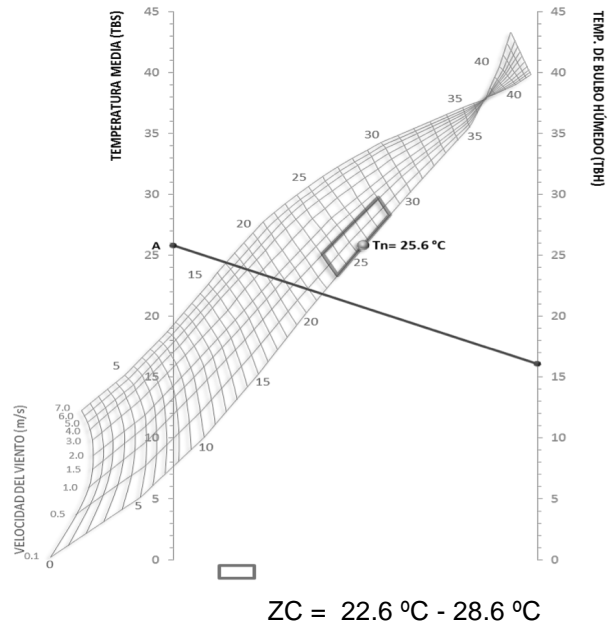
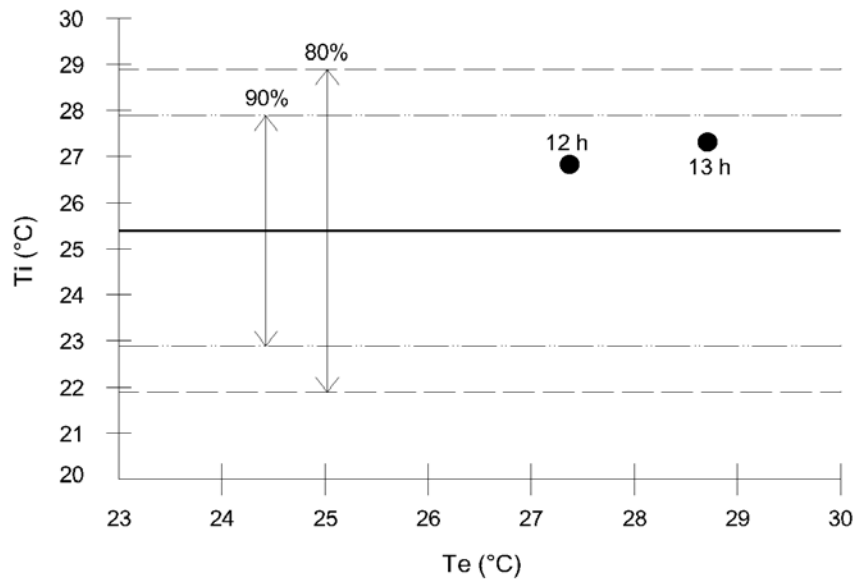


Figura V-14. TEC para abril, realizada con la herramienta BAT (Fuentes, 2010), usando datos normalizados del periodo 1980- 2010 (SMN, Conagua)

Para la gráfica del confort adaptativo (Figura V-15), la temperatura media exterior considerada es la medida diaria en un día típico de abril (promedio de las 2 semanas de evaluación), **25.4 °C**, con un rango de ± 2.5 °C para el 90% de aceptación, y de ± 3.5 °C para el 80%.

Como se puede apreciar en la gráfica (Figura V-15), los horarios de inicio y final del seminario están dentro de la zona de confort para el 90%, y muy cercanos a la TN. Al final del seminario la temperatura incrementa, sin embargo, se mantiene dentro de la zona de confort. Dado que los puntos (12 y 13 horas) no están sobre la TN (línea gruesa), no representan el cero o neutral en la tabla de 7 puntos pero dentro del rango de confort del 90%, lo que puede equivaler a 1 (confort 'ligeramente cálido'). Esta gráfica muestra una zona de confort más flexible que la mostrada en la gráfica de la TEC (Figura V-14), sin embargo, ambas son cercanas.



Hora	Datos medidos	
	T_e	T_i
12	27.3	26.9
13	28.7	27.3

Figura V-15. Gráfica del confort adaptativo (ACS) para ASHRAE 55 (Brager & De Dear, 2001).
Elaboración propia con datos medidos para los días 20 y 27 de abril (promedio)

V.2.4. Comparación de los tres modelos de evaluación del confort térmico

La Tabla V-8 resume que, de acuerdo al enfoque adaptativo, todo el auditorio se encuentra en confort, pues durante las horas de ocupación (11 a 14 horas), la temperatura no rebasa el límite de confort superior.

La mayoría de los usuarios, 93.75 %, responden a través de las encuestas que el auditorio les parece confortable; esto es, entre 1 y -1 en la escala de 7 puntos. Sólo 6.25% sienten disconfort cálido (2 en la escala de 7 puntos). Esto es congruente con la aceptación térmica y la tolerancia, donde sólo 7.5% consideran el ambiente térmico interior *insoportable* y 0%, *intolerable* (Ver Figura V-12).

El enfoque predictivo dice que todos están en confort. 23.98% tienden a sentir un poco de calor, pero siguen en el 1, dentro de la escala de 7 puntos, lo cual sigue siendo confortable. Ninguna persona tiende al disconfort.

Escala de 7 puntos	Encuestas,%	Enfoque predictivo, %	Enfoque adaptativo, %
3	0	0	0
2	6.25	0	0
1	40	23.98	0
0	50	76.02	100
-1	3.75	0	0
-2	0	0	0
-3	0	0	0

Tabla V-8. Comparación de los tres métodos de evaluación del confort térmico para abril

CAPÍTULO VI. DISCUSIONES

Una discusión es un discurso o una conversación en la que se intercambian puntos de vista sobre un tema propuesto a debatir, por lo que en este capítulo se expone lo más relevante del proyecto de investigación.

Los puntos a tratar son los siguientes:

VII.I Contrastes cuali-cuantitativos

VII.II Evaluación de post-ocupación a lo largo del tiempo

VII.III Relevancia de las mediciones

VII.IV Estudios de campo, alternativas y propuestas

VII.V Aportaciones de las evaluaciones de post-ocupación

VI.1. Contrastes cuali-cuantitativos

Esta sección se llama *Contrastes cuali-cuantitativos* porque el fenómeno tratado no se explica por completo con la parte cuantitativa, sino que se complementa con la cualitativa. De acuerdo a Hernández-Sampieri, *et al.* (2006), la conjunción de los métodos cualitativo y cuantitativo (o métodos mixtos, como el autor los llama), “son la mejor alternativa para indagar científicamente cualquier problema de investigación” de tipo humanista o social, pues conjuntan información cuantitativa y cualitativa “y la convierten en conocimiento sustantivo y profundo”. Para Creswell & Plano-Clark (2011) un estudio de métodos mixtos es diseñado con suposiciones filosóficas e indagatorias o de investigación, donde se integran datos cualitativos y cuantitativos en un único estudio a fin de entender mejor el problema de la investigación.

En este sentido, el capítulo explora los contrastes hallados entre los tres modelos de evaluación y los discute de ambas formas, cuantitativa (experimental) y cualitativa (indagatoria), para sacar provecho de las fortalezas de cada una; así como de la certidumbre y discrepancias entre ellas.

Los datos de PMV (enfoque predictivo) y la ecuación de ACS (enfoque adaptativo) fueron muy cercanas entre sí y son representativas de lo hallado en las encuestas. La equivalencia entre las tres metodologías de evaluación se puede ver en la Tabla V-4 y la Tabla V-8. Por otro lado, la temperatura interior simulada y la medida son semejantes, por lo que el modelo de simulación es válido. La ligera 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; es decir, con actitudes como el cambio en el arropamiento, cambio de posición dentro del lugar, operación de las ventanas para mayor o menor ventilación. Tal y 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. Los autores (*ibíd.*) concluyen que enseñar a los usuarios a operar su entorno pasivo ayuda a regular el ambiente térmico sin necesidad de recurrir a sistemas mecánicos.

De acuerdo a la opinión de los usuarios, el mes de febrero es 100% aceptable térmicamente, 7.5% más que abril. Sin embargo, la brecha entre las dos estaciones es mayor en términos de confort (Figura VI-1, 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 el mismo mes (para ambos casos), la aceptabilidad es mayor que la tolerancia (37.5% en abril y 11.5% en febrero). Por otra parte, *inaceptable* (pregunta 13) es más estricta que *soportable* (pregunta 14). Nadie, en la estación fría, elige esta opción (Figura VI-1, b). En la encuesta, las alternativas para *soportable* son *confortable* e *insoportable* (pregunta 14); 0% considera el ambiente térmico interior *insoportable* en ninguno de los dos meses.

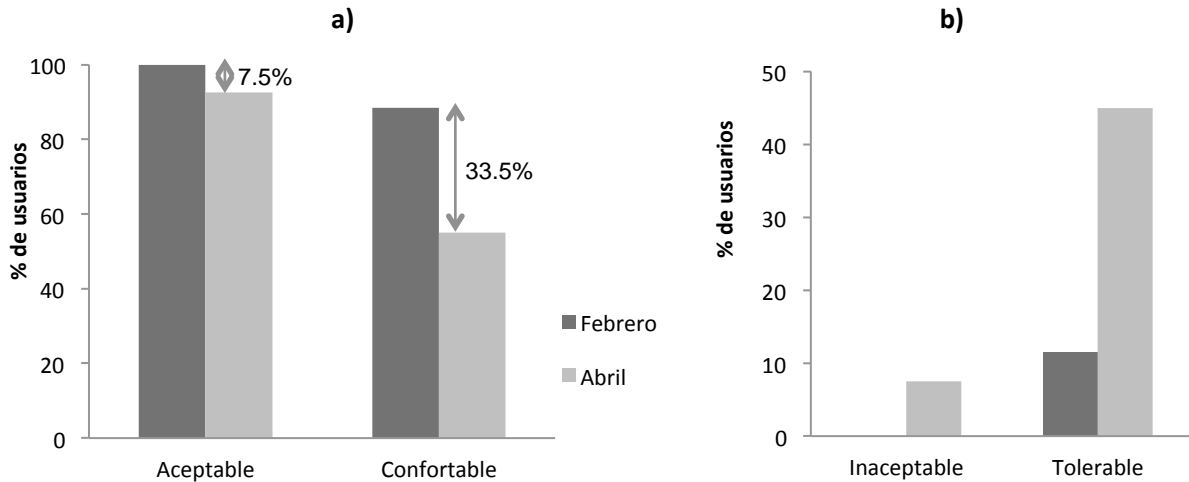


Figura VI-1. Tolerancia térmica. a) Aceptable/confortable; b) Inaceptable/soportable

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 enfoque bioclimático (es decir, los dobles muros de tabique con aire intermedio y cámara plena). Un estudio en curso que toma como caso de estudio al mismo edificio (auditorio Tonatiuh), servirá como complemento al presente proyecto de investigación y apoyará la validez del diseño, pues en él, el edificio se modela sin las características bioclimáticas para hacer una comparativa de la aportación de este enfoque de diseño.

El auditorio tiene un menor porcentaje de insatisfacción (PPD) durante febrero (invierno) por lo que es conveniente prestar más atención a abril (y a la temporada de calor en general), cuando según los usuarios, la ventilación no es suficiente, a pesar de que los cambios de aire requeridos se cumplen. Las respuestas a la pregunta 2 de la encuesta (posición dentro del auditorio) dejan ver que el calor se concentra más en la parte central del auditorio (D, en la Figura IV-1); esos asientos son los más evitados. Por lo tanto, una buena medida correctiva sería el uso de un intercambiador de viento como extractor (Castillo, 2015) 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 disconfort cálido, pues el incremento de la velocidad

del aire aumenta la tasa de evaporación del sudor, lo que repercute en una sensación de enfriamiento en la piel. 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, pues las ganancias internas que generan afectan a las personas a su alrededor (secciones *A* y *F*, en la Figura IV-1). Afortunadamente el IER brinda la posibilidad de asistir con ropa adecuada a las condiciones climáticas, lo que permite a los usuarios vestirse de acuerdo a la temporada, y así, ajustar su propia comodidad.

Este proyecto de investigación demuestra que un modelo hecho en *software*, correctamente validado, es una excelente herramienta de diseño, pero el verdadero entendimiento sobre el funcionamiento y desempeño de un edificio va más allá de la etapa de diseño. Los estudios de post-ocupación hacen posible comprobar si un edificio puede ser considerado *comfortable* porque permiten conocer si los ocupantes se sienten de esa manera. Más aún, 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. Además, toda la información que pueda obtenerse posterior a la etapa de diseño, brinda directrices para futuros diseños, con mejores sistemas, acordes a su entorno y condiciones climáticas locales, usuarios, nivel de ocupación, etcétera. Mejores edificios resultan en ahorros energéticos, usuarios más felices y productivos, y por tanto, beneficios ambientales, sociales y económicos.

VI.2. Evaluación de post-ocupación a lo largo del tiempo

El proyecto de investigación que aquí se presenta, realiza una evaluación de post-ocupación del edificio después de 30 años de diseñado y construido; esto bajo el entendido de que con el tiempo cambian las circunstancias bajo las que el edificio opera, los horarios de uso, las actividades desarrolladas en el espacio, los usuarios y las condiciones climáticas, entre otros. Así mismo, el edificio también ha sufrido modificaciones; para el caso, la implementación de sistemas pasivos que ya se han discutido previamente en el CAPÍTULO II, II.1.2, Caracterización arquitectónica del caso

de estudio: enfoque bioclimático y sistemas de acondicionamiento pasivo implementados.

Esta serie de motivos explican por qué es recomendable hacer estudios de post-ocupación periódicamente. En pocas palabras, el comportamiento térmico del edificio y su impacto en el confort humano está directamente relacionado con el desempeño y operación. Olivier, *et al.* (2016), hacen hincapié en que los usuarios deben adaptar su comportamiento hacia el modo en que operan sus espacios, y que esto sucede con más frecuencia cuando se hacen conscientes del gasto energético.

VI.3. Relevancia de las mediciones

En los estudios de post-ocupación se realizan diversas mediciones. Para el proyecto de investigación, las mediciones en relación con el confort térmico necesitan complementarse con una interpretación cuali-cuantitativa para tener un mejor entendimiento de los fenómenos: lo interesante es contrastar las cifras con el voto de confort de los usuarios, pues más allá de que una tabla o fórmula diga que se está dentro del rango de confort, es finalmente el usuario quien dirá si efectivamente está en confort o no.

Si los datos no concuerdan, es decir, si en teoría se está dentro del rango de confort pero el usuario reporta lo contrario, entonces deben analizarse los rangos de confort para el caso en específico y determinar nuevos límites para ese edificio y esa población.

Aunque la mayoría de los estándares comerciales y fórmulas globales tienen buenas aproximaciones, no hay tal cosa como “una misma talla para todos”. Esto quiere decir que cada proyecto es único e irrepetible, así como sus usuarios, sin importar que sea algo en serie, las condiciones son cambiantes, y como tal, se tiene que responder.

Por ejemplo, en un estudio reciente, Vi Le, *et al.* (2016), realizaron una evaluación de post-ocupación en salones de clases en Vietnam. Los resultados de las mediciones de confort térmico intramuros mostraron que la mayoría de los niños se sentían "neutral" o "fresco" en un rango de temperaturas de 27.8 °C a 32.3 °C y una humedad relativa de

65.7% a 85.3%. El Voto Medio (MV) de sensación térmica es -0.43, que implica que la tendencia de los niños es confortable, con una tendencia a 'ligeramente frío'. Sin embargo, de acuerdo a los criterios recomendados para la calidad ambiental interior en aulas de clases del estándar *EN 15251: Indoor Environmental Criteria*, todos los salones fueron clasificados como "fuera de la buena calidad del medio ambiente". Los autores concluyen que el estándar EN 15251 no es aplicable para los niños vietnamitas, y más importante aún, que ellos pueden adaptarse mucho mejor al clima cálido con el que están familiarizados. El trabajo de Vi Le, *et al.* (*ibíd.*) corrobora lo dicho en los párrafos anteriores: las mediciones numéricas y los estándares pueden ser de ayuda, pero no son útiles si los usuarios no están a gusto. Cada edificio tiene distintos planteamientos de diseño, usuarios y metas, por lo que asumir que el enfoque predictivo por sí solo garantiza el confort, es dudoso.

VI.4. Estudios de campo, alternativas y propuestas

Los estudios de campo para la evaluación post-ocupacional de edificaciones, en general, son encuestas contestadas por los usuarios que se respaldan por mediciones físicas en el sitio, tanto interiores como exteriores.

No se ignora que efectivamente están involucrados factores personales como el humor o estado de ánimo de la persona al contestar, el contexto en el que se encuentra, si es crítico o condescendiente, si contesta de forma voluntaria o forzada, etcétera. Aún así, es la forma más viable de conocer la opinión directa del usuario, más si su aplicación es sistemática y complementada con mediciones en sitio.

Otra forma de conocer el sentir y pensar de los usuarios es por medio de grupos focales, donde la muestra es pequeña, pero se tiene la ventaja de que las pláticas pueden ser más profundas, con aclaración de dudas al momento y formulación de propuestas para mejorar el ambiente interior. Dado que se tocan temas, no sólo de confort, sino también de operación y de economía, en los grupos focales se suele pedir la participación de tomadores de decisiones, como los dueños del inmueble, directores, contralores, y desde luego, los arquitectos (Dromgoole, *et al.*, 2006).

VI.5. Aportaciones de la evaluación de post-ocupación

La evaluación de post-ocupación realizada en este proyecto de investigación, rebasa al beneficio del caso de estudio. Se dirige a la construcción del conocimiento. Con la metodología que se sigue, es posible proponer una metodología de evaluación de post-ocupación con aplicación para los climas y situaciones de México.

Las metodologías existentes derivan principalmente de Estados Unidos y Reino Unido, cuyos contextos climáticos y económicos son completamente distintos de los nuestros, así como las expectativas poblacionales en términos de confort. Además, las normas mexicanas no consideran la evaluación de post-ocupación, sin embargo es necesario dar seguimiento a los edificios construidos para lograr consolidarlos dentro del diseño bioclimático.

Una metodología mexicana de evaluación de postocupación tendría que contemplar los siguientes puntos para considerarse completa:

- Mejores índices de confort.
- Encuestas predeterminadas, ajustables para casos particulares.
- Especificaciones de los instrumentos de medición (requerimientos básicos de instrumentación y calibración del sistema de monitoreo interior y exterior).
- Propuesta de programa.
- Antecedentes de investigaciones en instituciones que aborden el fenómeno de manera integral.
- Considerar vestimenta de acuerdo a la estación del año¹⁸.
- Partiendo de la retroalimentación de otros casos de postocupación, podrían darse guías de diseño acordes al entorno y condiciones climáticas locales, usuarios, nivel de ocupación, etcétera.

¹⁸ En un estudio de post-ocupación en un edificio de oficinas en Australia, Morgan & De Dear (2003) encontraron que los códigos de vestimenta corporativos anulan las consideraciones de confort térmico.

CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES

Con la intención de dar cierre a toda la información recabada a lo largo de los capítulos anteriores, en esta sección se presentan conclusiones generales, mismas que responden a los objetivos y a las preguntas de investigación, tal y como se plantean en el CAPÍTULO III, PROCESO METODOLÓGICO.

Las conclusiones se agrupan con el fin de informar en términos particulares para cada punto, de modo que el lector prescinda de la necesidad de brincar a capítulos anteriores en busca de la relación entre las conclusiones y lo enunciado en el Planteamiento de la investigación (0).

El capítulo se conforma de la siguiente manera:

VIII.1 Conclusiones de las preguntas de investigación

VIII.2 Conclusiones del objetivo general

VIII.3 Conclusiones de los objetivos específicos

VII.1. Conclusiones de las preguntas de investigación

A continuación, las 6 preguntas de investigación, mencionadas con anterioridad en el apartado III.1.1.

1) ¿Un planteamiento bioclimático es suficiente para que el edificio sea considerado como tal, o se requiere consultar a los usuarios sobre su satisfacción térmica?

Esta pregunta tuvo como preludeo la sección 0, VI.3. Relevancia de las mediciones, donde se adelanta un poco del tema. El presente estudio demuestra que un planteamiento bioclimático es un excelente punto de partida, pero no garantiza resultados en términos de confort de los usuarios. El auditorio Tonatiuh, caso de estudio, se concibe desde un inicio como bioclimático, pero con el tiempo, se van identificando áreas de oportunidad.

Es por eso que se implementan el enfriamiento evaporativo y la ventilación forzada como sistemas pasivos adicionales.

Si la evaluación se apega por completo a los enfoques predictivo y adaptativo, se asume que el edificio funciona bien en ambos meses.

Los cambios de aire requeridos en términos de renovación y calidad del aire son los adecuados, pero posiblemente no en función de requerimientos de confort. Los usuarios expresan a través de las encuestas que es necesario incrementar la ventilación, acción que a su vez reduciría la sensación de disconfort cálido.

De cualquier modo, la temperatura no es un problema mayor, como se expone en el Capítulo V, *Resultados*. La Figura VII-1 muestra que en ambos meses la neutralidad es predominante, seguida de 1 (abril) y -1 (febrero), que aún se consideran confortables.

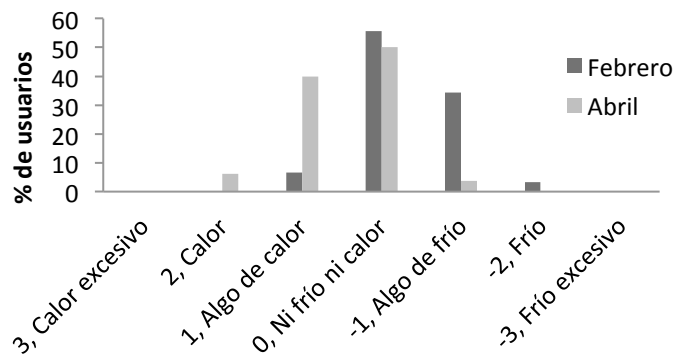


Figura VII-1. Sensación térmica de los dos meses evaluados

A pesar de que la aceptación y el voto de confort son muy altos, el ambiente térmico interior es mejorable (Ver Figura VII-2 & Figura VII-3), pues de acuerdo al PPD puede aspirarse a que el 95% de la población encuestada esté satisfecha.

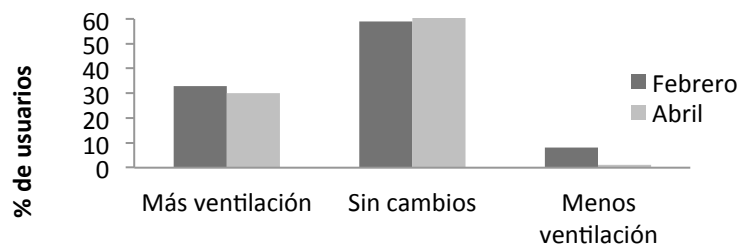


Figura VII-2. Preferencia de ventilación

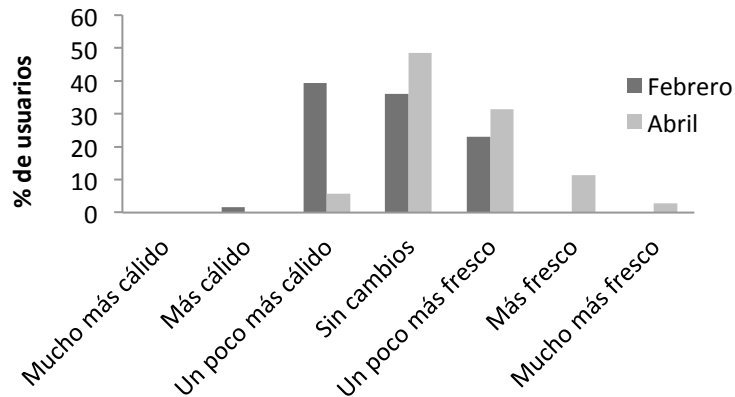


Figura VII-3. Preferencia térmica

De este modo, se puede responder a esta pregunta diciendo que la aceptación de los usuarios es lo que determina si un edificio es bioclimático o no. Las estrategias por sí mismas pueden no significar nada, menos aún en países en vías de desarrollo donde muchos proyectos ‘copian’ los sistemas de otros países, generalmente más avanzados y con diferentes contextos, sin entender por completo las implicaciones de dichas estrategias.

Ejemplo de lo anterior, es el estudio de Altamonte, *et al.* (2016), que evalúa en etapa post-ocupacional distintos edificios con certificaciones LEED y BREEAM. Curiosamente, los autores concluyen que la ‘calificación’ de LEED no influye en la satisfacción de los usuarios al interior de una edificación y que otorgan satisfacción en espacios abiertos pero no en oficinas cerradas, y en edificios pequeños en lugar de grandes. Para BREEAM, se encuentra que los ocupantes de los edificios sin la certificación son más satisfactorios en varios aspectos, y que los ocupantes de edificios BREEAM tienen menor satisfacción conforme pasa el tiempo (después de 2 años).

Esto sólo corrobora que el cumplimiento con las ‘certificaciones verdes’ por sí solas no es suficiente para garantizar el confort intramuros y que es necesario dar seguimiento a lo largo del tiempo.

2) ¿Se puede validar el planteamiento bioclimático a partir de los resultados de estudios de campo (encuestas)?

Como se explica en capítulos anteriores, por ‘realidad’ se entiende ‘la percepción de los usuarios’. Los datos de percepción se recaban por medio de las encuestas, sin embargo, las respuestas de los usuarios difícilmente pueden mostrar el cuadro completo. En el apartado 0, III.3. Discusión del diagrama metodológico, se dice que la percepción humana es compleja y multifactorial, de modo que, las encuestas siguen siendo una herramienta sumamente subjetiva. Factores como el tema del seminario que se lleva a cabo al momento de responder, puede ponderar la respuesta como más favorable, en caso de que el seminario sea disfrutable; y vice-versa. Al analizar los reportes, se observó que los jóvenes menores de 25 años son más condescendientes que los adultos medios y mayores (40 a más de 65 años), quienes tienden a ser más estrictos en sus juicios.

No existe como tal “una realidad genérica”. Cada persona tiene su propia percepción y por tanto, su propia realidad. Sin embargo, al reunir los datos estadísticos, es posible determinar tendencias y obtener una idea de cómo se percibe el ambiente térmico para la mayoría de las personas. El sesgo es que se desestiman las respuestas minoritarias o individuales. Por ejemplo, en la abril la preferencia de ventilación predominante es ‘sin cambios’ (68.8%), seguida de ‘más ventilación’ (30%); sin embargo, 1.3% prefiere ‘menos ventilación’. Esta cifra es desestimable, no-representativa estadísticamente, pero es la realidad de 4 personas de una muestra de 80.

En pocas palabras, sí se puede interpretar la realidad a partir de los resultados de las encuestas, pero bajo el entendido de que es tan sólo un esbozo de la misma, mas no una ‘interpretación literal’ o determinista.

3) ¿Se puede validar el planteamiento bioclimático a partir del enfoque predictivo?

En la Figura IV-5 se muestra que el modelo de simulación es válido. La diferencia es de tan solo 0.7 °C entre las temperaturas medidas y las simuladas. Sin embargo, el PMV y el PPD no son equivalentes con los datos recabados en las encuestas.

Para febrero, el PPD obtenido con *DesignBuilder (DB)* es 6.49%, mientras que las encuestas señalan que es 7%. Para abril, el PPD obtenido con *DB* es 23.98%, mientras que en las encuestas es 10%. La Figura VII-4 muestra cómo se obtiene el PPD a partir de las encuestas.

El PMV obtenido con *DB* es 0.27 y 0.95, para febrero y abril, respectivamente. Estos resultados son cercanos a los resultados de las encuestas, donde el voto medio (MV)¹⁹ es -0.34 en febrero, y 0.48 en abril. La comparación del PPD y PMV o MV a partir de las dos distintas metodologías se resume en la Tabla VII-1:

	PPD <i>DB</i> , %	PPD Encuestas, %	PMV <i>DB</i>	MV Encuestas
Febrero	6.49	7	0.27	-0.34
Abril	23.98	10	0.95	0.48

Tabla VII-1. Comparación de resultados predichos con los reales (precepción de los usuarios), donde MV es el voto medio de confort medido

¹⁹ El MV (*mean vote* o voto medio) se obtiene de la pregunta 8 de la encuesta, donde se usa la escala de Likert para ponderar las respuestas medidas en escala de 7 puntos (-3 a 3) y se calcula con la suma de los votos multiplicados por la ponderación, dividida entre el número total de votos (Hernández, *et. al*, 2006: 340-355). Esto es:

FEBRERO: -2: 2 votos; -1: 21 votos; 0: 34 votos; 1: 4 votos. Total de votos: 61

$$\frac{(-2*2)+(-1*21)+(34*0)+(1*4)}{61}; \frac{-4-21+4}{61} = -0.34$$

ABRIL: -1: 3 votos; 0: 40 votos; 1: 32 votos; 2: 5 votos. Total de votos: 80

$$\frac{(-1*3)+(0*40)+(1*32)+(2*5)}{61}; \frac{-3+32+10}{61} = 0.48$$

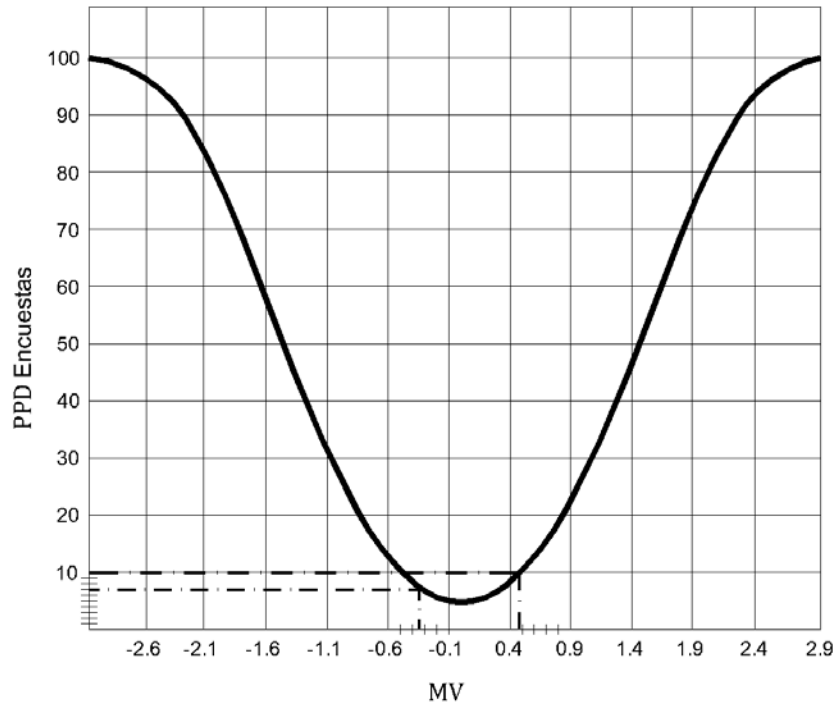


Figura VII-4. Obtención de 'PPD Encuestas' con la gráfica de PMV/PPD de Fanger. Se usa el MV obtenido de las encuestas (-0.34 para febrero y 0.48 para abril).

En ambos casos (PMV y PPD) es posible obtener una idea del comportamiento térmico del interior de una edificación con simulaciones.

4) ¿Se puede validar el planteamiento bioclimático a partir del enfoque adaptativo?

De las tres metodologías de simulación empleadas, la del enfoque adaptativo es la menos precisa. Dado que utiliza un rango de confort sólo hay dos alternativas: la temperatura interior está o no está dentro de la zona. Se puede aseverar que el factor de la adaptación humana tiene más peso que el enfoque adaptativo, pues este estudio demuestra que, dada la aclimatación de los usuarios (que como se dijo en el apartado *II.1.4, Caracterización los usuario*, son mayoritariamente nativos de la zona), el rango de confort crece de un mes de análisis a otro, así como la tolerancia.

5) *¿Se puede validar el planteamiento bioclimático a partir de un análisis de las tres metodologías juntas?*

Las tres preguntas anteriores señalan los pros y contras de cada metodología de evaluación. Al comparar y contrastar los resultados de las tres, se obtiene un panorama mucho más complejo y representativo del desempeño térmico del edificio y de la aceptación de los usuarios ante el mismo (esto se ve a detalle en la Tabla V-4 y la Tabla V-8).

De acuerdo a lo discutido en capítulos anteriores, el uso de una sola metodología de evaluación no es confiable, dada la complementariedad entre unas y otras.

6) *¿Qué enfoque se asemeja más a la opinión de los usuarios, el predictivo o el adaptativo?*

De acuerdo a los resultados obtenidos para este caso de estudio, el enfoque predictivo se ajusta más a lo encontrado en los estudios de campo. También proporciona información más completa (T_i , T_o , PMV y PPD) que ayuda a relacionar la información con la de las otras dos metodologías de evaluación.

VII.2. Conclusiones del objetivo general

1) *Validar el planteamiento bioclimático del caso-estudio por medio de tres modelos de evaluación del confort térmico.*

La aceptación de los ocupantes es alta, sin necesidad de utilizar sistemas activos de enfriamiento (aire acondicionado), que repercute en la sensación de confort positiva y en la eficiencia energética del edificio. Esto, resultado del enfoque bioclimático original.

En este proyecto de investigación se demuestra que para el caso de estudio, el planteamiento bioclimático actual del edificio es válido. No puede asegurarse que lo fuera originalmente, antes de la inclusión del enfriamiento evaporativo y la ventilación forzada.

Gracias a las tres metodologías de evaluación, se identifican las debilidades del auditorio y se proponen medidas regenerativas en consecuencia. Estas son:

- Colocar intercambiador de viento en la parte trasera para permitir la salida del aire caliente en esta zona.
- Evitar las ganancias térmicas al interior (provenientes de máquinas, etcétera).
- Tener cuidado con la operación, pues las estrategias tales como el enfriamiento nocturno se sabotean debido a descuidos del personal (como dejar la puerta abierta por la mañana, cuando pasan a limpiar).
- Mejorar las estrategias de sombreado.
- Usar arropamiento adecuado para cada temporada.
- Promover el uso del auditorio en horas menos calurosas.

VII.3. Objetivos específicos

1) *Contrastar los resultados del voto de confort térmico obtenidos a partir de tres metodologías de evaluación: cualitativa, predictiva y adaptativa.*

Las tres metodologías de evaluación apuntan a resultados similares, lo que indica que la congruencia es bastante buena.

Por el momento se encuentra que el modelo adaptativo es más preciso si se evalúa en lapsos de tiempo más cortos, como cada 10 minutos, pero necesario realizar estudios subsecuentes para afirmarlo de forma determinante.

La disminución de clo de febrero a abril es considerable. La parte central de la sala, que es la menos ventilada, es la más evitada por los usuarios. Ambas cosas son conceptos de adaptación. Los usuarios claramente están tomando acciones para mejorar su propia comodidad. Dichas medidas de adaptación muestran que no existe un "edificio bioclimático *per se*, no sólo se requieren "sistemas pasivos", sino también "usuarios activos" (Los, 2013).

2) Discutir la relación entre las variables endógenas y exógenas del caso-estudio con la satisfacción térmica de los ocupantes.

Hay que considerar que el caso de estudio es un auditorio en una zona poco accesible y con la mayoría de la población aclimatada, cuyas expectativas térmicas no son muy distintas al ambiente térmico existente. Si el caso de estudio se encontrara en una ciudad con mayor densidad poblacional, quizás dentro de un país primermundista o simplemente, con usuarios provenientes de climas más frescos, el diseño del auditorio Tonatiuh seguramente no sería el adecuado. Bajo estas supuestas condiciones, lo más probable es que hubiera que recurrir a sistemas de acondicionamiento activos (aire acondicionado) para disminuir la temperatura, y en casos más exigentes, mantenerla en el mismo estado permanentemente.

3) Establecer los rangos de confort térmico específicos para el caso-estudio.

Las distintas metodologías de evaluación sugieren distintos rangos de confort, como se muestra en la Tabla VII-2.

	Enfoque predictivo (<i>DesignBuilder</i>) ²⁰	Enfoque adaptativo (Ecuación de ACS)
Febrero	21.4 – 27.4 °C	21.2 – 27.2 °C
Abril	24.2 – 30.2 °C	23.1 – 28.1 °C

Tabla VII-2. Rangos de confort según los enfoques predictivo y adaptativo (resumen de las secciones 59V.1.3 y 0)

A pesar de que ambos enfoques usan datos específicos para el caso de estudio, ninguno considera los factores endógenos de los usuarios (antecedentes, expectativas,

²⁰ El rango de confort del enfoque predictivo se obtiene de la suma y resta de 3 °C a la temperatura operativa en las gráficas de confort térmico de cada temporada: 24.5 °C en febrero y 27.4 °C en abril (ver Tabla V-3 y Tabla V-7).

personalidad, actividad previa, indumentaria, etcétera), mismos que repercuten en su voto de confort al momento y su preferencia térmica (al momento y en general).

Es por ello que establecer rangos de confort es limitante, como se dice en los resultados del enfoque adaptativo, pues no da cabida a un rango amplio de opciones; únicamente que si se está dentro del rango, hay confort térmico, y si no, no. Sin embargo, los rangos de confort del enfoque predictivo son más certeros para este caso en particular, seguramente por la semejanza con la 'realidad' en los datos de entrada, que corresponden a los de los días de evaluación recabados en los estudios de campo. Estos incluyen el número ocupantes dentro del auditorio, clo y met. Mientras más datos tiene una metodología, más certeros son los resultados.

4) Determinar si la propuesta original del edificio sigue siendo vigente.

Los edificios deben ser analizados constantemente, dados los cambios del medio ambiente (estacionales, cambio climático), de la dinámica de uso (distintos horarios de ocupación, niveles de actividad, porcentaje de ocupación) y de los usuarios (rotación de los ocupantes, envejecimiento, cambios en el modo de vestir, etcétera).

Hoy en día, la propuesta como se conoce actualmente (con los sistemas pasivos agregados) es vigente. Esto tiene que ver con el sitio y el usuario.

CAPÍTULO VIII. REFERENCIAS

ANSI/ASHRAE Standard 55-2010. 2010. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. ISSN 1041-2336.

Altamonte, S.; Saadouni, S.; Schiavon, S. 2016. *Occupant Satisfaction in LEED and BREEAM-Certified Office Buildings*. PLEA 2016 - 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Los Angeles, CA.

Auliciems, A. 1981. *Towards a psychophysiological model of thermal perception*. Int J Biometeorology 25:109–122. DOI: 10.1007/BF02184458[13 junio 2016].

Auliciems, A.; De Dear, R.J. 1986. *Air conditioning in Australia I—Human Thermal Factors*. Architectural Science Review Vol. 31, Iss. 1. DOI: 10.1080/00038628.1988.9696621.

Auliciems, A.; De Dear, R.J. 1988. *Air conditioning in Australia I—User Attitudes*. Architectural Science Review Vol. 29, Iss. 3. DOI: 10.1080/00038628.1988.9697267.

Auliciems, A.; De Dear, R.J. 1998. *Advances in bioclimatology, 5: Human Bioclimatology*. Springer, N.Y., E.U.

Barrios, G; Elías-López, P.D.; Huelsz, G; Rojas, J.R. .2010. Selección de los materiales de muros y techos para mejorar el confort térmico en edificaciones no climatizadas. Estudios Sobre Arquitectura y Urbanismo del Desierto Vol. 3, No. 3, 69-84. Recuperado de: <http://www.arq.uson.mx/esaud/PDF/ESAUD3-Cap4.pdf> [24 octubre 2016].

Barrios, G; Huelsz, G; Rojas, J.R. 2012. *Thermal performance of envelope wall/roofs of intermittent air-conditioned rooms*. CIE, UNAM. Recuperado de: http://www.enerhabitat.unam.mx/Cie2/pdfs/Barrios_2012_Intermittent_ATE.pdf Consultado el 13/09/2015[8 septiembre 2015].

Bojórquez, G. 2010. *Confort Térmico en Exteriores: actividades en espacios recreativos, en clima cálido seco extremo*. Tesis (Doctorado) –Universidad de Colima, Colima, México.

Botanical-online. 2015. *Metabolismo basal*. Recuperado de: <http://www.botanical-online.com/metabolismobasal.htm> [18 noviembre 2015].

Brager, G.; De Dear, R. 1998. *Thermal adaptation in the built environment: a literature review*. Energy and buildings 27(1), 83-96. Recuperado de: <http://escholarship.org/uc/item/5ts1r442> [28 Mayo 2015].

Brager, G.; Fountain, M.; Benton, C.; Arens, E.; Bauman, F. 1993. *A Comparison of Methods for Assessing Thermal Sensation and Acceptability in the Field*. Proceedings of Thermal Comfort: Past, Present and Future, ed. Nigel Oseland. British Research Establishment, Reino Unido, 9-10 Junio. Recuperado de: <http://escholarship.org/uc/item/5n94s9hz> [14 Mayo 2015].

Brager, G.S.; De Dear, R.J. 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. April. <http://www.escholarship.org/uc/item/2048t8nn> [24 Mayo 2015].

Burkhar, K.; Konis, K. 2016. *Daylighting Evaluation of a LEED Platinum Laboratory*, PLEA 2016 - 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Los Ángeles, CA.

Castillo, J.A.; Lira, A.; Muñoz, J.J.; Ramírez, C.A.; Juárez, S.N.; Rojas, J.R.; Huelsz, G. 2011. *Uso de sistemas pasivos de climatización en la zona de Temixco, Morelos, con clima cálido semihúmedo*. Memorias del XXXV Congreso Nacional de Energía Solar, p. 184. ANES. Chihuahua, Ch. 5-7 Octubre 2011. Recuperado de: http://www.enerhabitat.unam.mx/Cie2/pdfs/artprodproy/E2-Anexo_10-3_SNES-Uso_sistemas_Temixco.pdf [29 septiembre 2015].

Chowdhury, A.A.; Rasul, M.G.; Kahn, M.M.K. 2007. *Simulation of building thermal performance in an institutional building in subtropical climate*. 5th International Congress on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics. Sun City, Sudáfrica. Recuperado de: http://www.repository.up.ac.za/dspace/bitstream/handle/2263/40990/Chowdhury_Simulation_2014.pdf?sequence=1 [24 Mayo 2015].

Coakley, D.; Corry, E.; Keane, M. 2014. *Validation of Simulated Thermal Comfort using a Calibrated Building Energy Simulation (BES) model in the context of Building Performance Evaluation & Optimisation*. Informatics Research Unit for Sustainable Engineering (IRUSE). National University of Ireland, Galway. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/259234397>[19 mayo 2016]

Cooper, I. 2001. *Post-occupancy evaluation -where are you?* Building Research & Information, Vol. 29, No. 2, 158-163.

Cordero, X.; Guillén, V. 2013. Design and validation of bioclimatic housing for the city of Cuenca. *Estoa* No. 2 / 2013 / ISSN: 1390-9274. Recuperado de: <http://www.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/estoa/article/view/303/256>[19 Septiembre 2015].

Creswell, J.W.; Plano-Clark, V.L. 2011. *Designing and Conducting Mixed Methods Research: A practical, how-to guide to designing mixed methods studies*. 1a Ed. Sage. 2007, p. 5.

De Dear, R.J.; Brager, G.S.; Cooper, D.1997. *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference / Discussion*. ASHRAE transactions research. Recuperado de: <http://tiny.cc/DeDearbragercooper> [19 mayo 2016].

De Dear, R.J., Barger, G.S. 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> [18 Septiembre 2015].

DesignBuilder UK. *EnergyPlus Thermal Comfort: Background on Thermal Comfort*. Recuperado de: http://www.designbuilder.co.uk/helpv3/Content/Thermal_Comfort.htm [25 mayo 2016].

Dromgoole, B.; Maggenis, E.; Hawkins, R.; Caldwell, I. 2006. *Guide to Post Occupancy Evaluation*. Higher Education Funding Council for England (HEFCE), Inglaterra. Recuperado de: <http://www.smg.ac.uk/documents/POEBrochureFinal06.pdf> [11 Agosto 2015].

Duffie, J.; Beckman, W. 1991. *Solar Engineering of Thermal Process*, capítulos 1-3, John Wiley & Sons, Inc. Recuperado de: http://www.cie.unam.mx/~rbb/ERyS2013-1/FT/radiacion_solar.pdf [14 abril 2016].

Elías-López, P.; Rojas, J.R.; Huelsz, G.; Lira, A. 2011. Evaporative cooling for an auditorium during the dry season in a hot semi-humid weather. ISES, Solar World Congress 2011.

Fanger, P.O. 1967. Calculation of Thermal Comfort: Introduction of a Basic Comfort Equation, ASHRE Trans., Vol.73, Pt 2.

Fanger, P.O. 1970. *Thermal Comfort-Analysis and Applications in Environmental Engineering*. Danish Technical Press, Copenhagen.

Fanger, P.O., Wyon, D. 1990. *Discussion section at the end of Schiller's paper*, ASHRAE Transactions, Vol, 96, No. 1, pp. 621-622.

Fernández García, F. 1994. *Clima y confortabilidad humana. Aspectos metodológicos*. Serie Geográfica, 1994, vol. 4, pp. 109-125. Recuperado de: <http://dspace.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/1030/Clima%20y%20Confortabilidad%20Humana.%20Aspectos%20Metodol%C3%B3gicos.pdf?sequence=1> [23 octubre 2016].

Figueroa-Villamar, C.; Figueroa, A.; Bojórquez, G. 2014. *Thermal comfort in housing of the metropolitan area of the valley of Mexico*. 30th International PLEA Conference, 16-18 December 2014, CEPT University, Ahmedabad. Recuperado de: http://www.plea2014.in/wp-content/uploads/2014/12/Paper_5C_2699_PR.pdf [29 noviembre 2016].

Fuentes, V.A. 2010. BAT, *Bioclimatic Analysis Tool* (Versión 1) [software]. UAM-Azcapotzalco, México.

Fuentes, V.A. 2004. *Clima y arquitectura*. UAM-A, México.

García, J.R.; Fuentes, V.A. 2000. *Arquitectura y medio ambiente en la Ciudad de México*. UAM-A, México.

Givoni, B. 1981. *Man, climate and architecture*. Applied Science Publishers. Londres.

Gómez-Azpeitia, G.; Gómez, A.; Elías-López, P.E.; Moreno, R. 2006. *Adaptación del índice Humidex para el clima de la ciudad de Colima, México, de acuerdo al enfoque adaptativo*. Estudios de arquitectura bioclimática. Anuario 2006 Vol. VIII, pp. 78-91. Universidad de Colima, México.

Gómez-Azpeitia, G.; Bojórquez, G.; Ruiz, R.P. 2007. *El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados*. Palapa, 2 (001), pp. 45-57. ISSN 1870-7483. Universidad de Colima, México.

Gómez-Vargas, M.; Galeano, C.; Jaramillo, D.A. 2015. *El estado del arte: una metodología de investigación*. Revista Colombiana de Ciencias Sociales, 6(2), 423-442. Recuperado de: http://www.funlam.edu.co/revistas/index.php/RCCS/article/view/1469/pdf_26 [21 marzo 2016].

Gutiérrez, R.; Trejo, O.; Camacho, S.; Castillo, R.; Cruz, S.; Castañeda, J. 1987. *Glosario de recursos naturales*. Limusa. D.F., México.

Hanna, E.G.; Tait, P.W. 2015. *Limitations to Thermoregulation and Acclimatization Challenge Human Adaptation to Global Warming*. Estudio internacional de salud pública. 12(7): 8034–8074. DOI: 10.3390/ijerph120708034 [10 junio 2016].

Hernández-Sampieri, R.; Fernández, C.; Baptista, P. 2006. *Metodología de la investigación*. 4^a Ed. McGraw Hill.

Howell, W.C.; Kennedy, P.A. 1979. *Field Validation of the Fanger Thermal Comfort Model*. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, abril; vol. 21, 2: pp. 229-239.

Huelsz, G. 2012. *Ener-Habitat, sistema para evaluar desempeño térmico*. Obras, Año XXXIX, No. 471, 105-106. Recuperado de: <http://www.obrasweb.mx/arquitectura/2012/03/06/ener-habitat> [22 septiembre 2015].

IPCC. 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza. Recuperado de: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf [11 noviembre 2015].

ISO 7726:1998(E). 1998. Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities. International Organization for Standardization. Suiza.

ISO 10551. 1995. ISO 10551:1995 (E), Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgment scales. International Organization for Standardization. Suiza.

Khajehzadeh, I.; Vale, B. 2016. *The Effect of Occupant Behavior on the Life Cycle Energy of a House*. PLEA 2016 - 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Los Ángeles, CA.

Kosaka M., Yamane M., Ogai R., Kato T., Ohnishi N., Simon E. 2004. Human body temperature regulation in extremely stressful environment: epidemiology and pathophysiology of heat stroke. *Therm. Biol.* 29:495–501.

La Roche, P. 2012. *Carbon-Neutral Architectural Design*. CRC Press. FL, E.U.A.

Vi Le, T.; Gillot, M.C.; Rodrigues, L.T. 2016. *The Case for Hybrid Ventilated Primary Schools in Ho Chi Minh City in Vietnam*. PLEA 2016 - 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Los Angeles, CA.

Lersch, P. 1966. *Constructs of the person*, p. 41. Munich.

Lawrence-Zúñiga, D.; Scott, C.; Zurcher, K.; Sawangsri, A. 2016. *Teaching Regenerative Studies Students about Thermal Comfort Practices*. PLEA 2016 - 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Los Angeles, CA.

Los, S. 2013. *Geografia dell'architettura. Progettazione bioclimatica e disegno architettonico*. Il Polígrafo, Italia.

Lou, M.; Cao, B.; Damians, J.; Lin, B.; Zhu, Y. 2014. Evaluating thermal comfort in mixed-mode buildings: a field study in a subtropical climate. *Building and Environment* 88, 2015, 46-54.

Macarulla, J.M.; Goñi, F. M. 1994. *Bioquímica humana: curso básico*. Vol. 5:384. Reverté.

Manning, P. 1965. *Appraisals of Building Performance - Their Use in the Design Process*. *The Architect's Journal*. Oct. 6, 1968, pp. 793–800.

Mayorga, J.R.; Grajeda, A.; Soto, J.A. 2012. *Los espacios educativos, la sustentabilidad ambiental y la diversidad cultural*. En línea. Disponible en: eumed.net [11 septiembre 2015].

McCullough, E.A.; Olesen, B.W.; Hong, S. (1994). *Thermal insulation provided by chairs*. ASHRAE Transactions: Symposia. No. 94-6-4, p. 795:802. Recuperado de: <http://www.cbe.berkeley.edu/research/other-papers/McCullough%20et%20al%201994%20Thermal%20insulation%20provided%20by%20chairs.pdf> [9 febrero 2016].

Menezes, A.C.; Cripps, A.; Bouchlaghem, D.; Buswell, R. 2012. *Predicted vs. actual energy performance of nondomestic buildings using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap*. Applied Energy, 97, pp. 355-364.

Morgan, C.; De Dear, R.J. 2003. *Weather, clothing and thermal adaptation to indoor climate*. Climate Research, Vol. 24: 267–284. Recuperado de: <http://www.int-res.com/articles/cr2003/24/c024p267.pdf> [29 noviembre 2016].

Moon, J.; Choi, J.; Mutlow, J.; Schiler, M. 2016. *Objectivity and Specification: Extended POE Research on Office Environment of Southern California*. PLEA 2016 - 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Los Ángeles, CA.

Morillón, D.; Saldaña, R.; Tejeda, A. 2004. *Human bioclimatic atlas for Mexico*. Solar Energy Journal. No. 76, p. 781:792. DOI: 10.1016/j.solener.2003.11.008.

Nicol, J.F.; Humphreys, M.A. 1996. *Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings*. Oxford Centre for Sustainable Development, School of Architecture. Reino Unido.

Nikolopoulou, M.; Steemers, K. 2003. *Thermal Comfort and Psychological Adaptation as a Guide for Designing Urban Spaces*. Energy and Buildings, 35, pp. 95-101. DOI: 10.1016/S0378-7788(02)00084-1 [11 marzo 2016].

Nikolopoulou, M. 2004. *Designing Open Space in the Urban Environment: A Bioclimatic Approach*. Attiki: Center for Renewable Energy Sources, pp. 2-6. Recuperado de: http://www.cres.gr/kape/education/1.design_guidelines_en.pdf [13 marzo 2016].

Olgay, V. 1963. *Design with climate. Bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton University Press.

Olivier, D; Obyn, S. 2016. *Measure of Occupants' Satisfaction in High Energy Performance Residential Buildings: Results from the action Construire Avec l'Energie in Belgium*. PLEA 2016 - 32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Los Angeles, CA.

Papalia, D.; Wendkos, S.; Duskin-Feldman, R. (2010). *Desarrollo humano*. McGraw Hill, 11a Ed. México. Recuperado de: <https://osresberro.files.wordpress.com/2013/11/desarrollo-humano-papalia.pdf> [11 noviembre 2015].

Preiser, W.F.E. 1969. *Behavioral Design Criteria in Student Housing*. EDRA I Conference, Stroudsburg, PA.

Preiser, W.F.E.; Schramm, U. 1997. *Building Performance Evaluation*. En: Watson, D., Crosbie, M.J. and Callender, J. H. (eds.). *Time-Saver Standards for Architectural Design Data*, 7a. Ed., McGraw-Hill, NY, EU.

Preiser, W.F.E.; Vischer, J. 2005. *Assessing Building Performance*. Elsevier. 1a Ed. Routledge. Recuperado de: http://www.gci.org.uk/Documents/architecture-ebook-assessing-building-performance_.pdf [30 mayo 2016].

Real Academia Española (RAE). 2015. *Diccionario de la lengua española*. Recuperado de: <http://dle.rae.es/?w=diccionario> [18 noviembre 2015].

Rincón-Martínez, C. 2015. Tesis doctoral Confort térmico en bioclima semi-frío: estimación a partir de los enfoques de estudio adaptativo y predictivo. Caso de estudio: Centro de Estudios de Educación Superior en Pachuca, Hidalgo. UAM Azcapotzalco, México.

Rodríguez-Torres, J. M. 2006. *Arquitectura bioclimática o simplemente Arquitectura?* La Revista Solar, ANES; No. 58: 64-8 Recuperado de: http://www.anes.org/cms/contenido/docs/revista/RS_582006.pdf [24 octubre 2016].

Rojas, J.R.; Huelsz, G.; Tovar, R.; Elías-López, P.; Alpuche, M.G. 2009. *Confort térmico mediante ventilación nocturna en un auditorio bioclimático en clima cálido*

subhúmedo. Memorias de la XXXIII Semana Nacional de Energía Solar, ANES, Guadalajara, Jal., 28 septiembre- 3 octubre 2009, ABC-052, 241-246.

Rojas, J.R.; Huelsz, G.; Tovar, G.; Lira, A.; Castillo, J.A. 2010. *Energía y confort en edificaciones*. Revista UNAM, V. 11, No. 10, Art. 9. México. ISSN: 1067-6079. Recuperado de: <http://www.revista.unam.mx/vol.11/num10/art92/art92.pdf> [22 septiembre 2015].

Rojas, J.R.; Barrios, G.; Huelsz, G.; Tovar, R.; Jalife-Lozano, S. 2014. *Thermal performance of two envelope constructive systems: measurements in non air-conditioned outdoor full-scale test cells and simulations*. Journal of Building Physics.

Sánchez, G.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 [12 septiembre 2015].

Szokolay, S.V. 1988. *Climatic analysis based on the psychromatic chart*. Ambient Press.

Szokolay, S.V. 2004. *Introduction to architectural science: the basis of sustainable design*. Architectural Press.

MSU - Universidad del Estado de Michigan. 2008. *Implementation of Post-occupancy Evaluation: A Potential Tool for Building Asset Management and Creating More Productive, Cost- Effective and Sustainable Buildings at MSU White Paper*. Recuperado de: https://msu.edu/~tariq/C2P2AI_PostOccupancy_WhitePaper.pdf [30 mayo 2016].

Vischer, J.C. 1989. *Environmental Quality in Offices*, Van Nostrand Reinhold, N.Y., E.U.

Voss, K. 2012. *Net Zero Energy Buildings: International Comparison of Carbon-Neutral Lifestyles*. Birkhäuser Architecture.

Watson, C.G., Mallory-Hill, S.; Preiser, W.F.E. 2012. *Enhancing Building Performance*. 1a Ed. Wiley-Blackwell.

Wilkinson, P.; McMichael, A.J.; Kovats, R.S.; Pattenden, S.; Hajat, S.; Armstrong, B.; Kingkeow, C. 2008. International study of temperature, heat and urban mortality: The “ISOTHURM” project. *Int. J. Epidemiol.* 37(5):1121–1131.

Zhao, J. 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> [25 mayo 2016].

Zurita, M. 2016. *Reevaluación y caracterización del confort higrotérmico en diferentes escenarios de diseño, por medio de predicciones numéricas de un proyecto bioclimático en etapa de post ocupación* [Tesis de maestría en proceso]. 2016. UAM-A, CDMX.

CAPÍTULO IX. ANEXOS

Los anexos son los documentos complementarios que ayudarán al lector a entender mejor los temas tratados en la ICR. Estos son desde hojas de cálculo utilizadas hasta las publicaciones logradas a partir de la ICR.

La información se conforma de la siguiente manera:

IX.1 Anexo A. Glosario

XI.2. Anexo B. Publicaciones derivadas del proyecto de investigación

XI.2.1. *Strategic hygrothermal comfort review of an auditorium designed with a bioclimatic approach*, para *PLEA 2016 Los Angeles - 36th International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Cities, Buildings, People: Towards Regenerative Environments*, en L.A., CA.

XI.2.2. *Revisión estratégica del confort térmico en un auditorio diseñado con enfoque bioclimático: análisis, interpretación y reflexión sobre las metodologías empleadas*, para *De los Métodos y las Maneras, Tercer Coloquio de Metodología en el Posgrado en Diseño*, en Posgrado CyAD, UAM-A, CDMX, MX.

XI.2.3. *Determinación del confort térmico a través de tres métodos de evaluación. Caso de estudio: un auditorio en etapa de post-ocupación*, para *Estudios de Arquitectura Bioclimática XIII*, CyAD, UAM-A, CDMX, MX.

XI.3. Anexo C. Encuesta utilizada para los estudios de campo

XI.4. Anexo D. Curriculum Vitae

IX.1. Anexo A. Glosario

- **Aclimatación:** proceso de adaptación térmica; respuesta fisiológica a la estimulación constante para disipar el calor en condiciones de altas temperaturas; estado de mejora de la capacidad de termorregulación, al proporcionar una reducción progresiva de esfuerzo fisiológico y mejorar así, la tolerancia al calor (Hanna & Tait, 2015).
- **Adaptación:** acción y efecto de adaptar o adaptarse (RAE).
- **Arquitectura bioclimática:** edificaciones que además de hacer un uso eficiente de la energía, se integran armónicamente al entorno natural para proporcionar espacios dignos, confortables y saludables para el cuerpo, la mente y el espíritu de los usuarios (García & Fuentes, 2000).
- **Clo:** unidad utilizada para expresar el aislamiento térmico por medio de prendas, donde un clo equivale a 0.155m^2 ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$) (ASHRAE, 2010).
- **Confort:** Bienestar o comodidad (RAE); estado de percepción ambiental momentáneo, determinado por el estado de salud del individuo y por otros factores endógenos y exógenos (Fuentes, 2004).
- **Confort térmico:** condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico y se evalúa subjetivamente (ASHRAE, 2010).
- **Diseño bioclimático:** respuestas arquitectónicas y de ingeniería que incluyen el uso óptimo de tecnologías sustentables, tales como el aprovechamiento solar pasivo y ventilación, tanto natural como híbrida (Szokolay, 1988).
- **Evaluación del desempeño de edificios (EDE):** enfoque sistemático y riguroso que abarca una serie de actividades que incluyen investigación, medición, comparación, evaluación y retroalimentación que se produce a través de todas las fases del ciclo de vida de un edificio (planificación, la reunión informativa/programación, diseño, construcción, la ocupación y el reciclaje). La EDE se centra en la relación entre diseño y

desempeño técnico de los edificios en relación con el comportamiento, necesidades y deseos del ser humano (Watson, 2012).

- **Evaluación de post-ocupación (post-occupancy evaluation):** proceso arquitectónico que documenta las experiencias de todas las partes interesadas [quienes diseñan, gestionan, operan, mantienen, residen o trabajan en un edificio] en relación a las características y cualidades de los edificios para identificar posibles mejoras en diseños futuros o realizar ajustes en la forma en que se utilizan los edificios. El proceso de evaluación de la construcción consta de tres dimensiones: diseño, uso y condiciones (Watson, 2012).

- **Insoportable:** que no se puede soportar; muy incómodo, molesto y enfadoso (RAE).

- **Letargo:** somnolencia, inactividad (RAE).

- **Met:** unidad que describe la energía generada dentro del cuerpo humano debido a la actividad metabólica. Se define como 58.2 W/m^2 , equivalente a la cantidad de energía producida por unidad de superficie por una persona sentada. El área de una persona promedio es de 1.8 m^2 (ASHRAE, 2010).

- **Modelo adaptativo:** modelo que relaciona la temperatura de diseño interior o los rangos de temperatura aceptable con los parámetros climatológicos exteriores (ASHRAE, 2010).

- **Neutralidad térmica:** índice del valor de la temperatura interior que corresponde con el voto medio de neutral en la escala de sensación térmica (ASHRAE, 2010).

- **Percepción:** Sensación interior que resulta de una impresión material hecha en nuestros sentidos (RAE).

- **PMV (Predicted Mean Vote):** es el voto promedio de confort predicho por un índice teórico para un grupo de sujetos expuestos a una serie de condiciones ambientales particulares. El PMV usa una escala térmica de 7 puntos, que van del -3 al 3, con 0 como ideal (La Roche, 2012: 90).

- **PMV/PPD:** Modelo de la fisiología del confort, donde PPD es el porcentaje de personas insatisfechas de cada voto medio de confort predicho (PMV). El modelo usa la

fórmula de PMV de Fanger, que establece una tensión térmica basada en la transferencia de calor en estado estacionario entre el cuerpo humano y el medio ambiente y asigna un voto de confort a esa cantidad de tensión (*ibíd.*: 89).

- **PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied):** es el porcentaje de personas insatisfechas y puede obtenerse a partir del PMV. Mientras más se aleja el PMV del 0, el PPD aumenta. El máximo de personas que pueden estar insatisfechas es 100%; sin embargo, dado que no es posible complacer a todo el mundo, aún dentro de condiciones óptimas, el valor mínimo para PPD es 5% (es decir, que PMV puede aspirar a un máximo de 95%) (*Ibíd.*: 90).
- **Satisfacción:** acción y efecto de satisfacer o satisfacerse. Cumplimiento del deseo o del gusto. (RAE)
- **Sensación térmica:** sentimiento consciente comúnmente medido con las categorías fresco, frío, ligeramente frío, neutral, ligeramente cálido, cálido y caliente. Requiere evaluación subjetiva (ASHRAE, 2010).
- **Temperatura operativa:** temperatura uniforme de un cubo negro imaginario donde un ocupante intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación y convección que en el ambiente real no uniforme (ASHRAE, 2010).
- **Soportable:** que se puede soportar [aunque no sea del todo agradable] (RAE).
- **Zona de ocupación:** región normalmente ocupada por personas dentro de un espacio. Generalmente se considera entre el piso y 1.8 m a partir del mismo, y a más de un metro de muros y ventanas exteriores, fuentes radiantes, de ventilación o de aire acondicionado, y a 30 cm de los muros interiores (ASHRAE, 2010).

IX.2. Anexo B. Publicaciones derivadas del proyecto de investigación

IX.2.1. Strategic hygrothermal comfort review of an auditorium designed with a bioclimatic approach

El artículo presentado en el congreso internacional *Passive Low Energy Architecture*, PLEA, 2016, reporta los resultados de los dos meses de análisis y da a conocer los principales hallazgos del proyecto de investigación. Además de la publicación del extenso, el día martes 12 de julio de 2016, se presenta en la 36ª edición, celebrada en el hotel Biltmore, en Los Ángeles, California, con la temática *Cities, Buildings, People: Towards Regenerative Environments* (Ciudades, edificios, personas; hacia ambientes regenerativos).

Strategic hygrothermal comfort review of an auditorium designed with a bioclimatic approach está disponible en las memorias de PLEA 2016.

IX.2.2. Revisión estratégica del confort térmico en un auditorio diseñado con enfoque bioclimático: análisis, interpretación y reflexión sobre las metodologías empleadas

El artículo presentado el viernes 23 de septiembre, a las 11:30 horas, en el coloquio De los Métodos y las Maneras, Tercer Coloquio de Metodología en el Posgrado en Diseño, tiene como objetivo describir el proceso metodológico del proyecto de investigación reportado en la presente ICR.

El evento tuvo lugar en el Posgrado CyAD, UAM unidad Azcapotzalco, Ciudad de México, del 20 al 23 de septiembre. El artículo está disponible en las memorias del congreso.

IX.2.3. Determinación del confort térmico a través de tres métodos de evaluación. Caso de estudio: un auditorio en etapa de post-ocupación

El artículo forma parte del compilado *Estudios de Arquitectura Bioclimática: anuario 2017*, publicación de la Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Azcapotzalco.

IX.3. Anexo C. Encuesta, formato usado para el estudio de campo

A continuación se muestra el ejemplar impreso de la encuesta utilizada para conocer la opinión directa de los usuarios del auditorio Tonatiuh.

Para acceder a la encuesta en su versión en línea, elaborada con *Google Forms*, puede escanearse el código QR (Figura IX-1) o ingresar con la liga: www.tiny.cc/encuestaier

Las tres opciones que aquí se presentan, son las mismas que se dieron a los encuestados en su momento.



Figura IX-1. Código QR para acceder al formulario en línea

IX.4. Anexo D. Currículum Vitae

Mariana Villavicencio Fernández es arquitecta por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Estado de México (2005-2011). De 2010 a 2011 se dedica a realizar prácticas profesionales para despachos privados y participa como fundadora de la S.A. 'FUNDARQMX' (Fundación de Arquitectura Mexicana). En 2011 inicia su despacho de arquitectura, Proyecto-tal, S.A. de C.V. Desde entonces, se dedica a la práctica profesional de diseño arquitectónico y construcción, principalmente en las tipologías comercial y residencial. En 2015 ingresa a la especialidad en Diseño Bioclimático, de la Universidad Autónoma Metropolitana, para obtener diploma de especialidad, con distinción de excelencia, en invierno de 2015, y el grado de maestría en otoño de 2017. Actualmente su visión de la arquitectura está centrada en el bioclimatismo y la sustentabilidad.

IDIOMAS

- Inglés. *TOEFL* 602p. Tecnológico de Monterrey. Edo. de Méx., Mx. [Mar/2012]
- Francés. Tecnológico de Monterrey. Edo. de Méx., Mx. [2011-2012]

SOFTWARE

- Paquetería de *Office*, avanzado
- Autodesk AutoCad, avanzado
- Adobe Photoshop, avanzado
- Autodesk Revit, intermedio
- Autodesk Ecotect, intermedio

CURSOS Y CONGRESOS

- De los métodos y las maneras. Tercer coloquio de metodología en el posgrado de diseño. Revisión estratégica del confort térmico en un auditorio diseñado con enfoque bioclimático: análisis, interpretación y reflexión sobre las metodologías empleadas (Villavicencio; 2016). Posgrado CyAD, UAM-A, CDMX, Mx. [20-23/Sep/2016]

- PLEA 2016. Presentación del artículo de investigación *Strategic hygrothermal confort review of an auditorium designed with a bioclimatic approach* (Villavicencio, Elías-López, Rojas, Freixanet; 2016). L.A., CAL. [10–13/Jul/2016]
- ANES 2015, XXXIX Semana Nacional de Energía Solar. Presentación del artículo de investigación *Acciones para lograr un hábitat bioclimático sustentable en edificaciones habitacionales y mitigar conductas desfavorables de los usuarios en su entorno* (García-Chávez, Villavicencio; 2015). Campeche, Mx. [5-9/Oct/2016]
- Coloquio internacional de diseño. Presentación del artículo de investigación *Diseño de un hábitat saludable y sustentable para mitigar conductas sociales adversas que se presentan en la calle*. (García-Chávez, Lastra, Villavicencio; 2015). Toluca, Edo. Méx., Mx. [30/Sep, 1-2/Oct/2015]

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Metropolitana, que en su carácter de universidad pública ofrece formación académica de calidad.

Al instituto de Energías Renovables de la UNAM, por brindar la oportunidad de compartir espacios de investigación. Agradecimientos especiales al departamento de termociencias por el apoyo continuo en las distintas fases de esta investigación; principalmente al Dr. Jorge Antonio Rojas Menéndez, Dra. Guadalupe Huelsz Lesbros, Mtro. José Ángel Aranda Morales y Aarón Otiel Velazco.

Al Arq. Manuel Zurita, por la elaboración del modelo de simulación del auditorio (Design Builder) y por su apoyo durante las campañas de monitoreo (estudios de campo).

Al proyecto de investigación #N-419, coordinado por el Dr. Pablo David Elías López.

A los integrantes del grupo de protocolo, por el tiempo dedicado a dar asesorías, lecturas y correcciones al presente trabajo; especialmente al Dr. Pablo Elías, director de tesis.