



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



Ambiente térmico en espacios exteriores

Aida López Cervantes

Ambiente térmico en espacios exteriores

C O L E C C I Ó N

FEDERICO LÓPEZ DIONISIO

Textos para la enseñanza de la arquitectura

Guillermo Narváez Osorio

Rector

Dora María Frías Márquez

**Directora de la División Académica
de Ingeniería y Arquitectura**

Ambiente térmico en espacios exteriores

Aida López Cervantes



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”

Primera edición, 2024

© Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
www.ujat.mx

ISBN: 978-607-606-674-4

Para su publicación esta obra ha sido dictaminada por el sistema académico de pares ciegos. Los juicios expresados son responsabilidad del autor o autores y fue aprobada para su publicación.

Queda prohibida la reproducción parcial o total del contenido de la presente obra, sin contar previamente con la autorización expresa y por escrito del titular, en términos de la Ley Federal de Derechos de Autor.

Diseño de portada: Leidy Gabriela Moreno Olán
Maquetación: Querer Leer A.C.

Hecho en Villahermosa, Tabasco, México

Índice

Consideraciones iniciales	8
Introducción	9
CAPÍTULO 1	
El proyecto bioclimático	12
1.1. La dimensión histórica en la tarea del bioclimatismo	12
1.2. Conceptos básicos	25
1.3. Variables de estudio para el diseño bioclimático	31
1.4. El espacio abierto	44
1.5. Diseño térmico ambiental	46
1.6. Confort térmico	49
1.7. Islas de calor	67
1.8. Los estudios bioclimáticos	76

CAPÍTULO 2

Estudio del ambiente térmico	79
2.1. Caso práctico	80
2.2. Metodología para el análisis del comportamiento ambiental.....	91
2.3. Obtención de datos específicos	113
2.4. Presentación y análisis de datos	115
2.5. Síntesis de los resultados	159
2.6. Estrategias para el caso de estudio	161
Conclusiones	167
Referencias	173

Consideraciones iniciales

Este libro tiene la finalidad de ser un apoyo didáctico para los estudiantes como acompañamiento en las asignaturas que, en su programación, incorporan el bioclimatismo y los conceptos imbricados en el comportamiento térmico del espacio construido. Tiene el propósito de orientar en las tareas propias de los análisis térmicos en relación con la concepción del espacio, sus usos y costumbres. Si bien los temas que se abordan son de índole técnica, es importante hacer notar las implicaciones del diseño bioclimático dentro de un aspecto que ha formado parte de la humanidad misma, es decir, la arquitectura como arte, espacio, forma y generadora de sensaciones; así como objeto tectónico, útil, fuerte, estructurado y funcional. Me permito pues, comenzar el libro con la noción histórico-cultural del bioclimatismo, para abordar en páginas posteriores lo relacionado a su aspecto técnico.

Introducción

El tema del bioclimatismo es validado por la realidad científica, pero carece aún de una perspectiva global como un tema inmerso en las estructuras económicas, sociales, políticas y productivas de la sociedad. Esto puede observarse confrontando las diferentes escalas de diseño como la urbana, la arquitectónica y la objetual, siendo las dos últimas donde el bioclimatismo ha enfocado gran parte de sus esfuerzos, resolviendo problemas para los grupos económicamente fuertes y soslayando a escala urbana a los grupos sociales más necesitados. Se hace imprescindible considerar una postura holística para la generación de ambientes exteriores que repercutan positivamente en un mayor número de personas, es decir, desde el concepto de bioclimatismo cultural.

Un horizonte posible para un bioclimatismo cultural que incorpore el aspecto antropológico, es viable instrumentando alternativas técnicas que liberen a la sociedad de actitudes consumistas que, en muchos casos, son incosteables. Para tal efecto, las llamadas ecotécnicas o técnicas que hacen uso de fuentes de energía alterna o consumos moderados de energía pueden constituir un soporte para concretar un bioclimatismo cultural, como puede ser la generación de microclimas creados bajo enfoques que permitan que el urbanismo sea ambientalmente respetuoso, accesible, asequible y ofrezca habitabilidad.

El diseño de espacios exteriores con miras a un bioclimatismo cultural debe considerar al clima como uno de los factores princi-

pales que le darán forma, ya que es sustancial permitir el uso del espacio abierto, pues ha sido fundamental para la construcción del fenómeno social a lo largo de la historia. Debe observarse que las condiciones del clima presentan variaciones considerables a lo largo del día y del año, y que los factores climáticos como la temperatura del aire, la humedad relativa, el viento y la radiación, estarán en continuo intercambio de flujos energéticos con el medio mismo, por lo que deben ser tomados en cuenta como parte esencial en las sensaciones y percepciones del ser humano e indicadores para el diseño.

La intervención de los diseñadores en espacios abiertos puede contribuir al logro de mejores condiciones térmicas en lugares donde el clima caluroso y húmedo prevalece la mayor parte del año —con índices que sobrepasan el confort requerido por los usuarios—. Las adecuadas disposición, dosificación y relación de los elementos que conforman el espacio urbano, tanto naturales como artificiales, posibilitan en gran medida el bienestar humano en relación con los índices térmicos.

Este libro se enfoca en las bases conceptuales-metodológicas y casos de estudio, relacionados con el bioclimatismo en espacios exteriores. Para su realización, fue necesario revisar los textos especializados de los temas pertinentes al urbanismo y a la arquitectura bioclimática, sobre la base de la experiencia obtenida a través del desarrollo de proyectos aplicados.

El objetivo del texto es formar parte de los documentos de referencia de los temas de arquitectura bioclimática, urbanismo

ambiental, espacios sustentables y diseño ambiental, tanto para los contenidos de las asignaturas, así como para el planteamiento de temas de investigación, además de material de consulta y guía para el desarrollo de prácticas relacionadas con el tema.

Este documento abarca un análisis de la información desde los conceptos básicos hasta los conceptos más complejos, divididos en dos capítulos. En el *Capítulo 1: El proyecto del ambiente*, se abordan los conceptos particulares que conforman la arquitectura bioclimática y el espacio abierto, así como una perspectiva histórica para conformar la visión actual sobre bioclimatismo y se ejemplifican algunos casos concretos sobre arquitectura bioclimática. En el *Capítulo 2: Estudio del ambiente*, se presentan los casos de estudio que incorporan los conceptos teóricos y las metodologías propuestas por diversos investigadores para el estudio del ambiente térmico en espacios abiertos. Podrán estudiarse los tabuladores, gráficos y resultados de los registros de campo obtenidos en una investigación realizada en Mérida, Yucatán, y se muestran de manera extensa la construcción y el manejo de las bases de datos para el análisis de las condiciones térmicas de espacios abiertos. Por último, se presentan en las conclusiones, algunos aspectos que son recomendables para la intervención del espacio abierto con miras a un urbanismo bioclimático.

CAPÍTULO 1

EL PROYECTO BIOCLIMÁTICO

En este capítulo se conocerán los conceptos básicos que conforman la arquitectura bioclimática y el espacio abierto, así como una perspectiva histórica que permita conformar el discurso actual sobre bioclimatismo. También se conocerán algunas respuestas concretas sobre arquitectura bioclimática.

1.1. La dimensión histórica en la tarea del bioclimatismo

Es evidente que a lo largo de la historia el hombre se ha apropiado del entorno natural de acuerdo con su particular perspectiva del mundo y de su forma de organización espacial; al respecto, diversos grupos de investigadores y ambientalistas se han manifestado desde la primera mitad del siglo XX. Olgay ya en 1963 menciona que “la cristalización de los conceptos arquitectónicos de un determinado período es el fiel espejo donde se reflejan sus pensamientos y sentimientos particulares” (Olgay, 1998: IX) (Imágenes 1 a 3). En el proceso de esta apropiación y organización, los espacios colectivos fueron de gran relevancia para el desarrollo de sus patrones sociales; cabe destacar la importancia delineada por el medio ambiente, siendo éste uno de los ejes guías de sus tipologías constructivas, lo que puede observarse por la similitud contestataria de las construcciones realizadas por grupos de diversas zonas que no tenían contacto alguno entre sí, pero cuya respuesta edificada presentó analogías en zonas con característi-

cas climatológicas similares. La afinidad existente entre los espacios construidos de diversas latitudes invita a la reflexión acerca de la importancia que tuvo la naturaleza sobre las formas de organización humana, pues los espacios colectivos respondieron a factores como el asoleamiento, lluvia o viento, y a una orientación que mucho tenía que ver con el aspecto místico.



Imagen 1. Arquitectura excavada en montaña. La tipología constructiva adaptada al meido natural común en la zona Norte de África y Oeste Asiático. *Fuente: López, A., 2018.*



Imagen 2. Palafitos. Estructuras elevadas sobre vigas o troncos de madera. Usadas para zonas anegables y ríos. *Fuente: López, A., 2018.*



Imagen 3. Vivienda rural. Construcciones con material perecedero propio de la región y uso de técnicas vernáculas en el sur de México. *Fuente: López, A., 2018.*

Al mismo tiempo que las sociedades se hicieron más complejas, el espacio colectivo fue transformándose en espacios con mayor simbolismo, reforzándose como espacio significado y significativo de las estructuras culturales, a lo que Edward T. Hall (1973) denominó *La Dimensión Oculta*, y que tiene como particularidad que puede ser significativa en el colectivo y en lo personal (Imagen 4). Con el sedentarismo y el avance de los descubrimientos científicos y tecnológicos, los elementos naturales pasaron a un plano subordinado, en donde la actividad constructiva respondía a una escala de valores de índole más humano —entendidos éstos como creaciones derivadas de los fenómenos sociales que se van desprendiendo de lo natural—, tendiendo a la adquisición de un carácter que se desvirtuó en aras de una estilización de la cultura y de la atención a formas de organización social más complejas y diferenciadas (Imágenes 5 a 7). Al paso del tiempo, esta transformación de orden estilístico, dejó de presentar cualidades adecuadas para la colectividad reunida en un mismo espacio. Las nuevas planeaciones y patrones de vida implicaban que la ciudad se segregara por función-utilidad, y las áreas de convivencia, congregación y socialización dejaban de tener el mismo valor.



Imagen 4. Uxmal (época prehispánica), Sur de México. Espacio abierto con carácter religioso en concordancia con los factores de la orientación. *Fotografía: López, A.*



Imagen 5. Alcázar de Segovia (época medieval), España. Espacio urbano delimitado. *Fotografía: Herrera, A.*



Imagen 6. Versailles, Francia. Fotografía del dibujo y maqueta de los jardines. *Fotografía: Herrera, A.*



Imagen 7. Izamal (época colonial), México. Espacio abierto con carácter social-religioso. *Fotografía: López, A.*



Imagen 8. Río Sena y Torre Eiffel, París. La ciudad en torno al río. *Fotografía: Herrera, A.*



Imagen 9. La ciudad, el espacio urbano y los ríos integrados en armonía. Heidelberg Capital de la Sela Negra, Alemania. *Fotografía: Herrera, A.*



Imagen 10. El río como parte del paisaje urbano. Vista del Río Támesis y zona urbana contemporánea, Londres. *Fotografía: Herrera, A.*



Imagen 11. UJAT, Campus Jalpa de Méndez, Tabasco. Espacio abierto en discordancia con los factores climáticos de trópico húmedo. *Fotografía: López, A.*

La evolución del espacio colectivo abierto presentó la desventaja de aparecer bajo un estilo preestablecido que no era lo más recomendable para todas las regiones climáticas, quedando en perjuicio aquellas que iban a la zaga en el desarrollo. La pauta fue marcada por las naciones de vanguardia como Norteamérica, el norte de Europa, donde el clima se caracteriza por ser templado y frío, lo cual significó que los países con clima cálido se vieran afectados por estas nuevas corrientes estilísticas (Imágenes 8 a 11).

Fue hacia mediados del siglo XX cuando los investigadores se hicieron escuchar, los planes urbano arquitectónicos tenían visos de abrir el campo a una arquitectura que permitiera mayor confort del sujeto en uso del espacio abierto y colectivo, con el mayor

ahorro de implementos posibles y cuidado de las estrategias de diseño bioclimático. Aunque esta planeación estratégica quedó más de las veces en los escritorios de los investigadores, se pretendía una concepción del bioclimatismo en busca de estructuras que hicieran uso nuevamente de los recursos naturales disponibles para proporcionar espacios climáticamente equilibrados en busca del confort humano.

Quizá una concepción más humana planteada en el siglo pasado es la de Rapoport (1972), quien afirmó que la arquitectura bioclimática es un tema interdisciplinario donde confluyen la Arqueología, la Geografía Cultural, la Historia, el planeamiento urbano, la Antropología, la Etnografía, y pretende ir más allá de la descripción de fenómenos, analizando los factores que determinan los espacios construidos y su consecuente forma.

Otro investigador importante de mencionar es González Eduardo, catedrático de la Universidad Venezolana de Zulia, quien considera que “la idea de una arquitectura bioclimática es la realización consciente de espacios adaptados a las condiciones climáticas para proporcionar a los usuarios ambientes térmicamente agradables” (1986: Vol. 1:73). Definición que sigue vigente y que, extrapolada al espacio colectivo, como plazas, calles, parques, avenidas, apunta a pensar que, el diseñador debiera considerar en primer lugar el medio circundante, y derivado de ello, crear condiciones verificables en unidades cuantificables, que permitan mayor permanencia en el espacio colectivo, en mejores condicio-

nes y por un número mayor de personas, pues un espacio, es más significativo cuanto mayor número de personas lo ocupen.

Sin duda, los aspectos culturales son una noción que no escapa de la perspectiva bioclimática, y es Jaime López (en González: 1994) quien considera como fundamentos básicos de la arquitectura y del enfoque bioclimático tres importantes aspectos que son, el lugar, la historia y la cultura.

El lugar. Contexto y entorno, aparece como el gran condicionante del problema arquitectónico aportando los valores climáticos y microclimáticos, (...) los materiales de construcción, el paisaje y las formas constructivas.

La historia, (...) señala con precisión la constante adecuación del hombre a su entorno y nos revela la estructura de la evolución social, económica y política.

La cultura, (...) nos muestra los mecanismos y recursos del hacer humano, de los hechos arquitectónicos (...)

Esta idea del bioclimatismo convierte a los espacios colectivos, desde el ámbito teórico, como son plazas y parques, en lugares con mayores atributos. Es decir, que para su diseño e intervención deben incorporarse los componentes climáticos del lugar, el *contexto*, la *historia* y la *cultura*, en una relación empujada en permanente retroalimentación y concepción mutua.

La postergación de considerar las condiciones climáticas en el diseño de espacios abiertos sigue acarreado grandes problemas al medio ambiente, a pesar de ello, predomina un ambiente de reticencia al respecto del diseño y la planificación urbana, ignorando esta condición negativa como un factor que afecta directamente a usuarios y al Estado, quien se encarga de proveerlos y mantenerlos; dándose una subordinación ante la presión económica para el usufructo del suelo urbano y cortando de tajo con el contexto y con la posibilidad de diálogo entre el espacio y las estructuras significantes de la colectividad. De hecho, Jaime López refiere adecuadamente tal comportamiento de la arquitectura al argumentar:

Las condiciones bioclimáticas del habitar se hacen objeto de aprendizaje, y por tanto, generan una necesidad del espacio habitable. Los aspectos fisiológicos (...), los psicológicos (...), los culturales y estéticos se confunden e interpretan en una sinfonía que no solo se siente, (...) nos envuelve y nos sumerge en algo tan sencillo, tan inmediato y simple, como es el habitar un espacio arquitectónico (López Asiain, 2010).

Los espacios colectivos abiertos diseñados bajo un enfoque bioclimático se verán forzados a superar el estatus actual de “áreas verdes” y “parques” y someter sus valores a la diversificación social, mutabilidad y dinámica de los mismos, ya que cada evento que se realiza afecta en cadena y en diversos grados el mismo sitio y sus alrededores y nunca podrá producirse un evento sin reacción.

Las investigaciones ya comienzan a considerar la urdimbre de elementos que intervienen en la concepción de la relación sociedad-entorno en el campo del bioclimatismo y, de hecho, Rapoport ya en 1972 escribió “[...] está cambiando el significado de la complejidad, pues los estudios empíricos y las comparaciones interculturales cada vez ponen de manifiesto que este concepto está relacionado con la noción de ‘las diferencias perceptibles’ que varían de un grupo a otro en función de la cultura, la experiencia, la educación y la mentalidad” (1972:11). Se observa la construcción de un nuevo enfoque bioclimático de corte cultural que busca la reivindicación del hombre y el medio ambiente, donde la respuesta de diseño de los espacios colectivos supere los cánones exclusivamente político-económicos, y que no solo pretenda vender nuevas tecnologías de equipamiento.

El bioclima debe ser un tópico que se aborde de manera interdisciplinar por los ingenieros, diseñadores y encargados de la construcción de los espacios abiertos, además de una fuente de determinantes proyectuales, como estructuras-símbolo donde se leen los significados y normas de una sociedad y se entienden como una abstracción de las estructuras sociales y culturales. La postura del bioclimatismo cultural, no es de ninguna manera radical, pues en esta consideración holística del entorno diseñado, los factores climáticos, sistemas constructivos, materiales y tecnologías, actúan necesariamente como fuerzas modificantes del mismo.

1.2. Conceptos básicos

La exigencia constructiva va más allá de lo tectónico y lo estético, que han sido los fundamentos históricos principales de la arquitectura. Actualmente, la arquitectura es sometida a otras exigencias y es vista bajo el escrutinio ambiental, que imbrica temas de consumo energético, uso de recursos, manejo de residuos, conciencia social y confort térmico ambiental.

Estas exigencias nos refieren de forma global a un concepto mucho más amplio que es la sustentabilidad. Se suele estudiar la arquitectura como sistema aislado pero, en realidad, es parte de un sistema mucho más grande y complejo. En ese sistema se encuentra el mecanismo que le permite accionar y encontrar diversas conexiones con otros sistemas y materias. Ello hace que se desdibujen, con poco favor para el arquitecto, los límites propios de la arquitectura, y que deba verse como parte de un todo complejo. Se suman a la plataforma de entendimiento de la arquitectura los temas sociales, antropológicos, ambientales y económicos, que pueden ser estudiados o abordados, fraccionándolos en tópicos más específicos para la propia disciplina. Al mismo tiempo, esas interconexiones, generan nuevas posibilidades de estudio para el investigador. Pretendiendo entender las causas de un problema, mismas que conduzcan a su solución, se abren posibilidades a la arquitectura ambientalista, la arquitectura bioclimática y al confort térmico ambiental.

El confort térmico ambiental tiene su planteamiento como línea de investigación en los estudios presentados por los hermanos Ol-

gyay durante la década de los 60. Dichos estudios abordan temas que van desde el clima, su interpretación y la relación sol-aire con el espacio arquitectónico, las herramientas tecnológicas para su estudio, el control solar, hasta el manejo de patrones de viento; a partir de los cuales, diversas investigaciones que tuvieron poco crédito en esa época aun en el campo disciplinar de la arquitectura, fueron tomando forma.

Baruch Givoni también es reconocido como uno de los precursores del estudio térmico ambiental en arquitectura. La diferencia radical estriba en que Olgyay consideró el confort en espacios exteriores y Givoni lo planteó para espacios interiores.

1.2.1. Arquitectura bioclimática

La arquitectura bioclimática es la concepción que apunta a utilizar, por medio de la arquitectura misma, elementos favorables del clima con objeto de satisfacer las exigencias del confort térmico. El concepto de confort es muy amplio y requiere para su comprensión del planteamiento de los factores más importantes que intervienen para lograrlo.

Al paso del tiempo, se han utilizado diversas clasificaciones de los aspectos que intervienen en la calidad del ambiente, incluyendo aquellos que pueden ser estudiados cuantitativamente y cualitativamente; sin embargo, para estudios de confort térmico ambiental, específicamente, se coincide de manera general en variables de tipo climático, variables fisiológicas y psicológicas, como las estableció Olgyay en su libro *Arquitectura y Clima*. Otras investigaciones, como las de Serra y Coch en su libro *Ar-*

arquitectura y Energía Natural (1995:79) clasifican las variables para su estudio en parámetros ambientales de confort y factores de confort del usuario. En el primero se refieren a las variables de tipo físico ambiental como manifestaciones energéticas y las segundas las refieren a los aspectos que influyen en la apreciación del ambiente, como condiciones biológico-psicológicas y socio-lógicas. Puede apreciarse la coincidencia de los factores del entorno construido, del sujeto y del clima en ambas posturas, generando una trilogía interdependiente (Imagen 12).

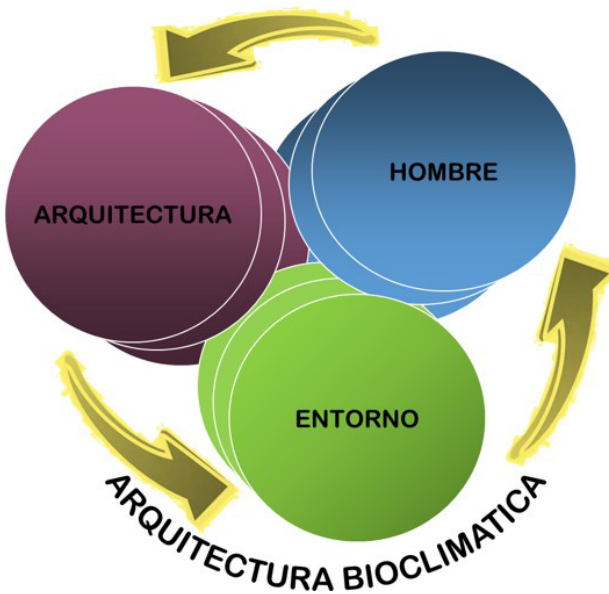


Imagen 12. Factores constituyentes de la Arquitectura Bioclimática.
 Fuente: López, A., 2018.

1.2.2. Clima

Es necesario mencionar algunos aspectos del clima que competen al entendimiento del bioclimatismo.

El clima es definido como las condiciones constantes de comportamiento que presenta un lugar. Para tipificarlo, los estudios se realizan a lo largo de periodos mayores a 15 años. Las observaciones de los principales elementos que lo constituyen, como radiación, temperatura del aire, viento, precipitación, entre otros, y que se realizan durante varios años consecutivamente, permiten encontrar constantes que se repiten con regularidad, y así definir el clima.

Debido a la inclinación del eje de la tierra, y la traslación, los hemisferios norte y sur reciben radiación de manera diferenciada por épocas del año. Así, cuando el hemisferio norte se encuentra en el momento de inclinación hacia el sol, es decir de cara al sol, éste tiene mayor incidencia solar y temperaturas más cálidas. Lo mismo pasa para el hemisferio sur. Por lo que los meses cálidos en el hemisferio norte son los meses más fríos en el hemisferio sur.

El clima en la tierra es el resultado de los flujos energéticos desde el sol a la tierra y de la tierra a la atmósfera (Imagen 13). Para el estudio del bioclimatismo es importante saber que, en su recorrido desde el sol a la tierra, la energía irradiada se descompone básicamente en tres tipos de longitudes de onda.

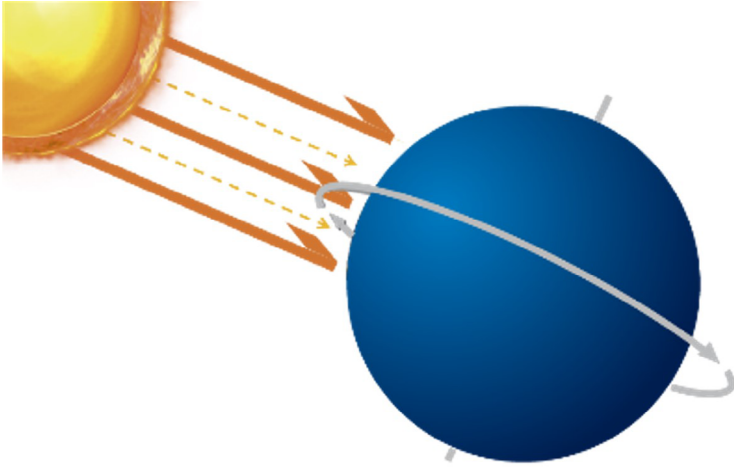


Imagen 13. Radiación del sol a la tierra. La tierra recibe energía constantemente del sol, en forma de radiación electromagnética, que es restituída constantemente a la atmósfera. *Fuente: López, A., 2018.*

Aproximadamente el 44% de la energía se constituye por longitudes de ondas medias y la conocemos como visible; mientras que aproximadamente el 53% se constituye de longitudes de ondas largas, la conocemos como invisible; y el restante 3% de la energía se constituye de longitudes de ondas cortas, y la conocemos como ultravioleta.

Mientras la energía atraviesa la atmósfera terrestre y llega a la superficie, nuevamente experimenta diversos fenómenos que la descomponen y reirradian. Este intercambio con la atmósfera y la superficie condiciona los comportamientos del clima y los cambios atmosféricos. En este punto es importante considerar que el intercambio de flujos en la atmósfera y la superficie de la tierra

también se ven afectados por la composición del espacio. Bardou y Arzoumanian exponen que:

Los rayos solares de onda corta atraviesan la atmósfera sin aportar mucho calor al aire. En cambio, calientan la superficie terrestre que emite a su vez radiaciones de onda larga. Este ciclo de recepción (día)/emisión (noche) puede sufrir alteraciones importantes con arreglo a caracteres muy localizados. (Bardou y Arzoumanian, 1984:14).

El fenómeno expuesto puede ser verificado, inclusive, a escalas mucho menores, dando lugar a lo que se conoce como microclima.

1.2.3. Microclima

El microclima es el conjunto de condiciones climáticas de un área menor que puede extenderse hasta dos kilómetros para su estudio; por sus dimensiones, es susceptible de ser alterado o controlado y, por su localización, está en relación directa con el hombre. Por ejemplo, un espacio arquitectónico siempre será generador de un microclima, que puede ser favorable o desfavorable según se hayan considerado los diversos factores que intervienen en el ambiente térmico.

Con las aportaciones de energía a la superficie terrestre, con el tipo de cubierta del suelo, natural o artificial, con la materialidad del espacio, la dosificación de inmuebles y muebles, se conforman las condiciones microclimáticas. Los materiales suelen

ser grandes modificadores de los flujos energéticos, que resultan en lo que un sujeto percibe como clima, que, en realidad, es el microclima.

Para el diseño bioclimático, los estudios agrupan las variables a considerar en tres grupos: fisiológicas, psicológicas y físicas.

1.3. Variables de estudio para el diseño bioclimático

1.3.1. Variables fisiológicas

Las variables fisiológicas se refieren a los recursos de termorregulación, definidos como los mecanismos que el cuerpo humano pone en marcha para mantener los índices de temperatura para su adecuado funcionamiento. La temperatura óptima del cuerpo humano debe ser entre 36.5 y 37°C, más allá de eso, por debajo o por encima, el cuerpo humano estará en condiciones no saludables. Los recursos de termorregulación son de dos tipos, los mecanismos internos de regulación y los mecanismos de dispersión (Imagen 14). Los primeros son llevados a cabo por funciones metabólicas naturales como el ritmo cardíaco, los mecanismos de dilatación o contracción vasomotora, el grado de sudoración, el ritmo respiratorio, la actividad muscular involuntaria, la alteración del apetito y la homotermia. Los segundos son aquellos por los que se dispersa el calor metabólico desde la piel hacia el medio que la rodea, como la radiación, la conducción, la convección y la evaporación.

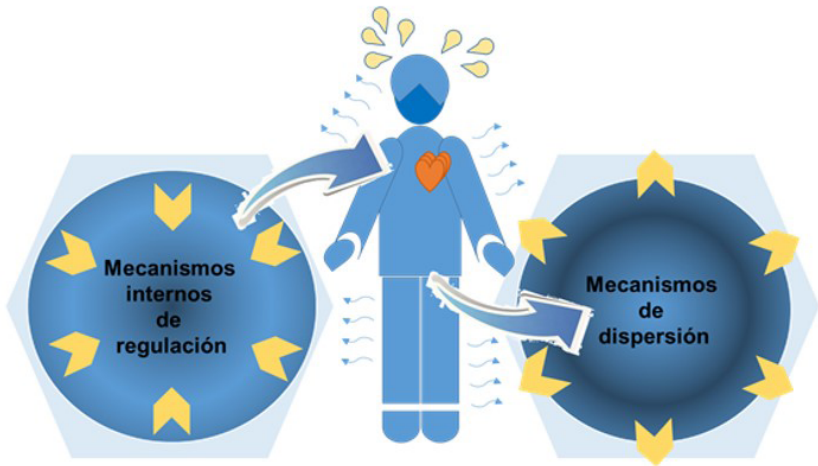


Imagen 14. Variable fisiológicas. Mecanismos propios del cuerpo que permiten mantener la temperatura interna óptima. *Fuente: López, A., 2018.*

Los mecanismos internos de regulación están en continuo funcionamiento; un cuerpo sano siempre tendrá una respuesta más rápida y adecuada para lograr la homotermia. El cuerpo tiende a regular la temperatura interna para el óptimo funcionamiento. En caso de producir mucha energía manifestada como calor en el organismo o de recibirla desde el exterior, la primera reacción del cuerpo es llevar el calor del interior hacia la piel y la piel la dispersará hacia el medio circundante. El ritmo cardíaco se acelera aumentando el flujo sanguíneo, esto permite llevar el calor hacia la piel a través de la dilatación de los vasos sanguíneos, produciendo la sudoración. Cuando existen las condiciones para que el sudor en la piel se evapore, el enfriamiento es más efectivo, esto debido a que, en el proceso de cambio de estado de líquido a gas, la ener-

gía requerida es tomada de la piel, permitiendo la pérdida de calor del cuerpo y disminuyendo la temperatura. Un cuerpo incapaz de regular su temperatura y que acumula calor, es un organismo enfermo y experimentará un estado de estrés, pudiendo presentar reacciones como vómito, e incluso el desmayo.

El control de la temperatura del cuerpo depende de nuestras funciones cerebrales y la piel. En el hipotálamo se encuentran las terminales sensoriales que detectan si el cuerpo está por encima del límite de 37°C, de ser así, manda los impulsos para que entren en funcionamiento los mecanismos de enfriamiento. La piel, mucho más sensible, estimula los mecanismos de regulación en cuanto la temperatura llega a un límite de 34°C. Es decir, desde el hipotálamo se regula el enfriamiento y, desde la piel, el calentamiento.

En caso de que la energía del cuerpo disminuya y se manifieste como frío, la primera reacción del cuerpo es la contracción de los vasos sanguíneos internos y superficiales, con lo que evita la pérdida de calor desde la piel hacia el exterior. El flujo sanguíneo disminuye y se presenta la actividad involuntaria muscular que se conoce como tiritar; también puede darse una modificación del apetito bajo la señal de que el cuerpo requiere más calorías. Ya sea por disminución del calor metabólico o por el intercambio y pérdida de energía con el medio ambiente, un cuerpo sano en condiciones normales debe ser capaz de autorregularse, de otra forma, experimentará un estado de estrés, lo que puede ocasionar

sueño, disminución del ritmo respiratorio y de la función metabólica, hasta llegar a la muerte.

Mecanismos de dispersión

Los mecanismos de dispersión, aquellos por los que se disipa el calor del cuerpo desde la piel por intercambio con el medio circundante son: radiación, conducción, convección y evaporación (Imagen 15).

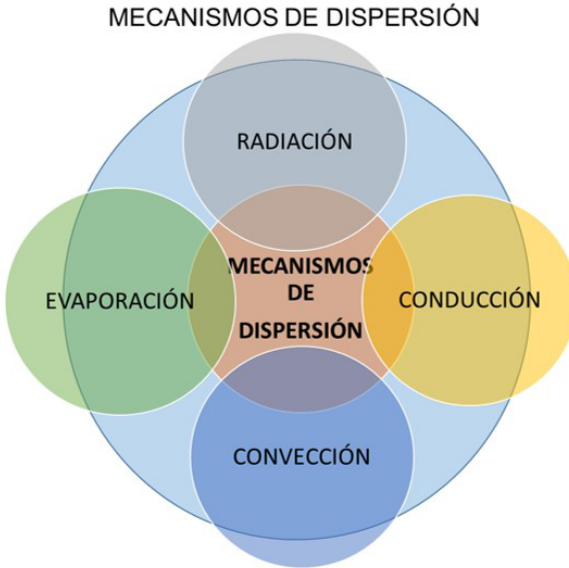


Imagen 15. Mecanismos de dispersión. *Fuente: López, A., 2018.*

Radiación. Es la energía emitida por un cuerpo en forma de ondas largas después de haber sido absorbido en forma de ondas cortas provenientes del sol. La radiación es determinante en la condición térmica del cuerpo humano, ya que, al tiempo que la

piel irradia calor, esta se intercambia con la radiación solar directa (ondas cortas) y la radiación terrestre (ondas largas) (Imagen 16).



Imagen 16. Radiación. El cuerpo humano recibe radiación del medio ambiente, que le permite aumentar el calor del cuerpo; y al mismo tiempo, emana radiación, que le permite disminuir el calor. Este proceso siempre tiende al equilibrio de manera natural. *Fuente: López, A., 2018.*

Conducción. Este proceso de intercambio se da cuando la piel entra en contacto físico con su entorno inmediato y lo definieron Bardou y Arzoumanian como “el desplazamiento de energía en forma de ondas en el interior de un mismo material en un tiempo que le es propio y que depende de su coeficiente de conductividad” (Bardou y Arzoumanian, 1984:151). Por conducción, el flujo sanguíneo lleva el calor a la piel y de la piel pasa a la ropa en contacto con ella. En caso de tener contacto directo de la piel con un objeto, el calor pasará de la piel al material (Imagen 17).

Es importante recordar, que el calor siempre se transmitirá del cuerpo más cálido al cuerpo más frío.

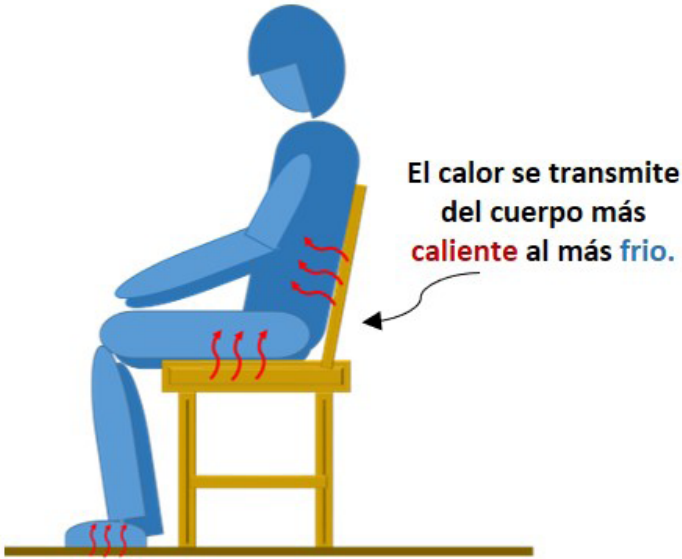


Imagen 17. Conducción. El cuerpo humano intercambia calor con los objetos en contacto, como la ropa, una silla, el suelo. *Fuente: López, A., 2018.*

Convección. Tudela (1982) lo define como el proceso de intercambio que se da cuando aire calentado o enfriado por la piel se desplaza por disminución o aumento de su densidad. El calor se dispersa en el aire circundante desde la piel o desde la ropa. En la convección influyen considerablemente las corrientes de aire, que permiten una mejor dispersión por convección (Imagen 18). Debe tenerse en cuenta que solo si el aire o las superficies radiantes alrededor están más frías que la piel, pasará el calor de ésta hacia

aquellas, es decir, la convección se realiza del cuerpo más caliente al más frío.

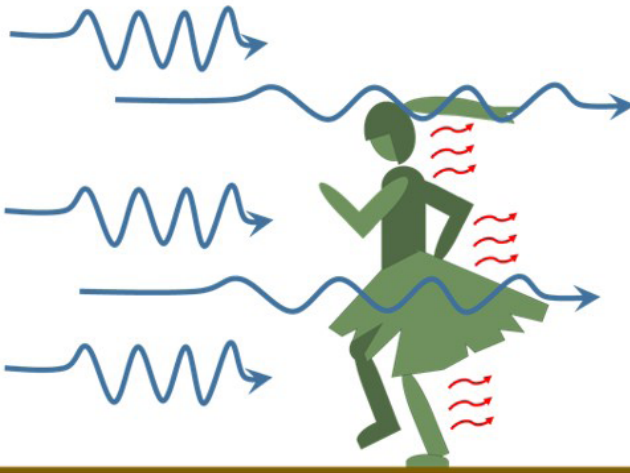


Imagen 18. Convección. El cuerpo humano es enfriado por el aire en movimiento.
 Fuente: López, A., 2018.

Evaporación. Es el cambio físico del sudor (puede ser cualquier líquido), de su estado líquido a un estado gaseoso o más ligero, permitiendo, cuando el aire no está saturado de agua, la dispersión de calor por evaporación. Al mismo tiempo, la eficiencia del sudor depende de la velocidad del aire y de la temperatura. Éste se presenta sobre la piel cuando la capacidad de evaporación del aire es insuficiente, manifestándose en la superficie; caso contrario, si la capacidad de evaporación del aire es suficiente, la piel permanecerá seca durante las secreciones (Imagen 19).



Imagen 19. Evaporación. El cuerpo humano experimenta una sensación de enfriamiento cuando el sudor sobre la piel se evapora, debido a la pérdida de energía durante el proceso. *Fuente: López, A., 2018.*

La evaporación puede darse por la piel o por medio del aparato respiratorio, aunque esto último no es considerado como factor significativo de enfriamiento por el hombre común. Cabe destacar también que no todo el calor empleado en la evaporación proviene del cuerpo, parte del calor proviene del aire.

1.3.2. Variables psicológicas

Las variables psicológicas hacen referencia a la percepción que una persona tiene de las condiciones ambientales. De entre las

variables que intervienen en el confort térmico ambiental son, por mucho, las más difíciles de interpretar y asociar al diseño bioclimático, pues consisten en procesos de percepción propios de cada ser humano o de grupos culturales. Serra F. plantea la percepción como “el conjunto de fenómenos que nos informa de las características del entorno, mediante la captación por parte del organismo humano de distintas energías presentes en el ambiente.” (2000:17). Entre las variables psicológicas que intervienen en la percepción del ambiente térmico se encuentran, la temperatura efectiva, que se refiere a la diferencia entre las condiciones microclimáticas y lo que el ser humano experimenta; y la aclimatación, que es un recurso natural de termorregulación el cual permite adaptaciones que el cuerpo experimenta a largo plazo.



Imagen 20. La sensación de comodidad térmica depende de diversos factores. La cultura, la raza, la aclimatación, la edad, son algunos factores. *Fuente: López, A., 2018.*

Las variables psicológicas se ven determinadas por la cultura, el sexo, la edad, la salud y el estado físico, y la experiencia de vida del sujeto (Imagen 20). Como ejemplo de la aclimatación puede mencionarse que, en el caso de trasladarse a una ciudad cálida, será más fácil y en menor tiempo lograr una sensación de confort térmico a aquellas personas que provengan de zonas tropicales que aquellas que provengan de zonas montañosas.

1.3.3. Variables físicas

Para el estudio de la arquitectura bioclimática las variables físicas son las principales a tener en cuenta ya que los flujos energéticos que se producen por tales condiciones, se ven alterados por las características y los arreglos propios del espacio. La arquitectura debe poner especial énfasis en estas variables. Las variables físicas están conformadas por factores de tipo climático que son: la temperatura del aire, la humedad relativa, la radiación y el viento. El estudio de estos factores ha permitido el avance científico gracias al cual pueden establecerse zonas climáticas, ser cuantificables y previsibles.

Temperatura del aire. Es la temperatura que presenta una masa de aire en un momento determinado al cumplir su trabajo de redistribución energética de la atmósfera. Es decir, es un indicador resultado de los intercambios energéticos entre la tierra y la atmósfera. Las unidades de medida más comunes son los grados Celsius o Fahrenheit.

Humedad. El término humedad atmosférica se refiere al contenido de vapor de agua de la atmósfera o en una masa de aire. La capacidad del aire para contener vapor de agua aumenta con la temperatura, que es el factor determinante para este fenómeno.

El contenido de humedad de la atmósfera puede ser expresado en diversos términos, como humedad absoluta, humedad específica, presión de vapor y humedad relativa, siendo esta última un indicador muy utilizado en el diseño bioclimático.

Cuando el aire está saturado de vapor de agua se dice que la humedad relativa es de 100%. Las zonas de confort establecidas por diversos autores, ponen de manifiesto la importancia de este factor para el logro de condiciones de confort térmico, pues demasiada humedad con aire caliente tiende a ser sofocante, y es una condición para el logro de los rangos de confort térmico.

Viento. Es un fenómeno complejo en el que intervienen diversos factores; de manera simple, el viento es el movimiento horizontal del aire debido, a diferencias de presión. Para el diseño bioclimático, a pesar de ser un factor difícil de predecir, es importante conocer cuál es su velocidad y la dirección de donde proviene. El viento permite el enfriamiento por convección en el intercambio térmico humano y, aunque sea poco perceptible, es significativo en el flujo energético de un lugar localizado.

Radiación. Es el resultado de los flujos de energía en el que intervienen tanto la radiación solar como la terrestre. Inicialmente, la radiación proviene del sol y, al llegar a la tierra, se divide en directa y difusa, cambiando su longitud de onda por contacto con los materiales y regresando nuevamente a la atmósfera (Imagen 21). Otro parámetro importante a considerar, es que, la radiación que llega a la tierra es afectada por la composición de la atmósfera y la latitud del lugar, pues la radiación solar se estima paralela

y llega perpendicular al ecuador, por lo que, cuanto más se aleje un sitio del ecuador, mayor será la capa atmosférica que la radiación tenga que atravesar, y por lo tanto disminuirá su potencia. Además, la rotación y traslación determinarán la distancia que los rayos solares deberán atravesar para llegar a la tierra, por lo que la potencia también se verá afectada de acuerdo al hemisferio, estación y hora de que se trate.

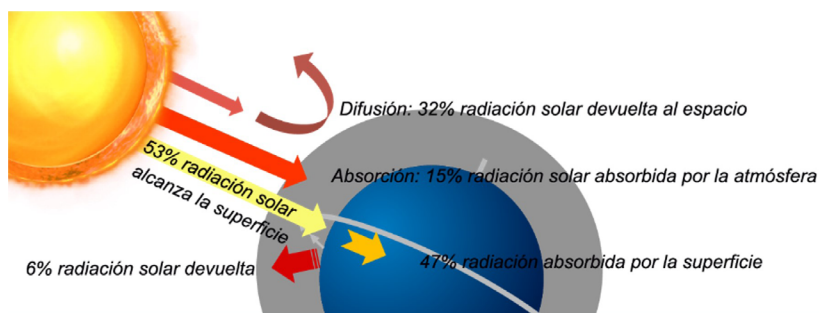


Imagen 21. Radiación. Distribución de la radiación de la atmósfera, con base en Bardou y Arzoumanian, 1984. Fuente: López, A., 2018.

El sol irradia energía en forma de ondas electromagnéticas que, al atravesar la atmósfera, se descomponen, como ya se mencionó en el apartado Clima, en una parte visible con una longitud de onda media, una parte invisible llamada infrarrojos con una longitud de onda larga, y los ultravioleta con una longitud de onda corta. Además de esta composición espectral, experimenta cambios en su flujo conocidos como difusión, radiación y reflexión.

La difusión ocurre cuando la radiación solar topa con moléculas gaseosas que redistribuyen la dirección de los flujos de energía.

La radiación es el fenómeno que se produce cuando es absorbida la radiación solar por las moléculas y partículas componentes de la atmósfera que, por sus propiedades, regresan la energía alterando la longitud de onda inicial.

La reflexión es el cambio de dirección de las ondas de radiación, sin que se presente una modificación en sus cualidades, y sucede cuando las ondas son interceptadas por partículas suspendidas en la atmósfera.

Cuando la tierra recibe energía solar y esta es restituida totalmente a la atmósfera por diversos fenómenos se establece un equilibrio llamado balance energético. Se considera que, a lo largo de un año, toda la energía recibida de la atmósfera a la tierra, es restituida nuevamente al espacio. En ese proceso de restitución intervienen entonces la energía solar y la energía terrestre. Una vez en la superficie terrestre, el flujo de energía o radiación se determina por la interacción de las condiciones físicas del espacio, como son las propiedades térmicas de los materiales. La radiación se mide en vatios pero la temperatura que produce se mide en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) y se llama temperatura media radiante.

1.3.4. Factores externos

Estos factores se refieren específicamente a aspectos de los elementos conformadores del espacio, como son: la forma, disposición, dosificación y sus propiedades térmicas. Al igual que los otros factores, no actúan de forma aislada. De modo que el balance térmico de un espacio es afectado por el factor de forma de sus elementos, ya que estos condicionarán la dirección de los flujos de energía. La localización de los planos y elementos que conforman el diseño del

espacio es determinante de la cantidad de radiación térmica que reciben, pues los componentes se influyen en sentido bidireccional por proximidad (Rivero, R., 1988). Además, la dosificación adecuada de los materiales de diferentes propiedades térmicas facilita el flujo energético, lo que conduce al sistema al equilibrio térmico. Debe considerarse que los materiales expuestos a estos flujos energéticos tienen comportamientos diferenciados ante la incidencia de la radiación, lo que significa que, la reflexión, la absorción y la transmisión son diferentes para cada tipo de material de los elementos conformadores del espacio.

La consideración de estos factores externos se incorpora con la finalidad de establecer el intercambio de flujos energéticos tendientes al equilibrio entre la acumulación y la restitución térmicas; además de ser los factores que permiten la actuación y el papel investigativo del arquitecto en la búsqueda del bienestar térmico con el diseño de espacios.

1.4. El espacio abierto

En la actualidad, la mayoría de los espacios abiertos ha superado el carácter de salud pública, moralidad y romanticismo bajo los que se concebían. Ahora, diversos autores consideran que, en las zonas calurosas, los parques y plazas deben ocupar superficies mayores que en otras zonas; sin embargo, las pautas de vida han cambiado y por lo tanto el uso del espacio abierto también. Por ejemplo, anteriormente, debido a las condiciones de trabajo se requería de espacios para la recuperación de los obreros; más recientemente, los espacios abiertos fueron sitios de distracción y,

actualmente, muchos de ellos han caído en desuso por las nuevas formas sociales de interacción. Por otro lado, la especulación del uso de suelo es un factor determinante en la planificación de las ciudades y se considera a los espacios abiertos como un formulismo de los reglamentos, siendo solo contemplados por porcentaje de metros cuadrados. Este fenómeno soslaya los diferentes valores funcionales, formales y significativos que deben tener y su trascendencia en el desarrollo integral de la comunidad.

Con las nuevas formas globalizantes de organización económica se ha descuidado el sentido social de los espacios abiertos; en respuesta, el urbanismo de cambio de siglo, depositario de la organización de dichos espacios, ha tomado un nuevo camino abriendo paso a la concepción del ecourbanismo, más recientemente llamado urbanismo sustentable que intenta despojarse de la planeación “cuantitativa fragmentaria”, redirigiendo su interés hacia aspectos medioambientales.

El clima cálido tiene la particularidad de permitir el desarrollo de actividades de diversa índole al aire libre. Los espacios abiertos históricamente se han transformado y adaptado a las necesidades del momento, experimentando modificaciones a lo largo de las diferentes épocas, manifestándose dinámicos y como reflejo de la sociedad que los crea y los utiliza, apropiándose de ellos y adaptando el espacio abierto.

Los espacios abiertos, como calles, plazas o parques, no se reducen solo al hecho tangible de su materialidad, sino que tienen la particularidad de ser el reflejo de las formas de adecuación al

medio ambiente natural, con lo cual puede lograrse la eficiencia del espacio y la motivación para un mayor aprovechamiento en condiciones óptimas para el bienestar humano. Sin embargo, el diseño actual de muchos espacios abiertos se aleja de la concepción bioclimática, dificultando la realización de actividades al aire libre y el cumplimiento de sus objetivos funcionales, pues en muchos casos el propio diseño resulta en ambientes que no propician las actividades para las que fueron creados. A pesar de existir normas, guías y manuales para el diseño bioclimático, los espacios siguen siendo concebidos sin una intención de lograr las mejores condiciones con bases técnicas y científicas. Tal es el caso de la sustitución de suelo natural por suelo artificial, o la nula consideración de los elementos constitutivos en relación al balance térmico que pudiera resultar, o la selección inadecuada de materiales y su dosificación, que impiden en conjunto las cualidades para hacer del espacio un lugar térmicamente confortable.

1.5. Diseño térmico ambiental

El bioclimatismo fundamentalmente pretende establecer un diálogo con el ambiente, es decir, un enfoque bioclimático genera, de manera consciente, espacios adaptados a las características climáticas locales, a fin de proporcionar ambientes que puedan percibirse como agradables térmicamente. Por lo que toda propuesta bioclimática deberá estudiar factores diversos, pues la percepción de bienestar se logra a través de una compleja red de situaciones entrelazadas; recordemos que nos referimos a los factores que competen a las variables fisiológicas, psicológicas y físicas; estos factores en

interrelación determinan el diseño térmico ambiental, que se refiere a las condiciones de diseño requeridas para facilitar el bienestar térmico humano, el cual se logra a través del balance térmico humano.

Bienestar térmico humano. Es un estado ideal, en el que, como su nombre lo indica, el sujeto se encuentra en circunstancias adecuadas para su óptima función, por lo que no requiere de grandes esfuerzos realizados por los mecanismos internos de regulación para sentirse bien o adaptarse a un determinado lugar.

Los estudios realizados al respecto, denominan “zona de bienestar térmico” al conjunto de condiciones donde las personas no sienten ni frío, ni calor. Por ejemplo, para el estándar de la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, ASHRAE por sus siglas en inglés (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*), esta zona es una condición mental de satisfacción térmica.

Balance térmico humano. Es el conjunto de funciones que realiza el cuerpo para regular la temperatura interna entre los 36.5 y los 37°C, rango en el que puede hablarse de salud física. Esto quiere decir que, si el cuerpo recibe o genera mucho calor, se activarán mecanismos que le hagan conducirlo del interior al exterior a fin de perderlo y equilibrar nuevamente la temperatura, ya sea por convección, radiación o sudoración, según sea el caso.

La ecuación de balance térmico humano es:

$$0 = M + R \pm Cond + _Conv - E$$

Donde:

M es el calor metabólico producido por el cuerpo

R es la radiación

Cond es el calor por conducción

Conv es el calor por convección

E es evaporación

En la ecuación, los signos + (más) equivalen a las ganancias de calor y - (menos) equivalen a las pérdidas de calor. Puede observarse que el intercambio de calor por radiación solo puede ganarse; por conducción, puede ganarse o perderse; y por evaporación, solo puede perderse.

En la suma algebraica el resultado debe ser igual a cero, lo que significa que el calor metabólico del cuerpo y el de intercambio no deben ser almacenados. Cuando la suma es igual a cero, implica que el cuerpo está en equilibrio. Sin importar las condiciones térmicas ambientales, el balance térmico siempre se logrará, aunque para ello el cuerpo requiera realizar mayores esfuerzos o menores tensiones según sea el caso, para cada uno de los mecanismos de termorregulación.

Cada uno de los factores que intervienen en la ecuación de balance térmico corresponde a circunstancias de índole fisiológica, climática y externa, que facilitan o dificultan el balance. Como puede observarse, los factores que actúan en el balance térmico son muy diversos, complicando el cálculo exacto de todos ellos. Sin embargo, queda la posibilidad de aislar cada uno de ellos para su estudio; de tal forma, que son susceptibles de ser analizadas por

separado las modificaciones o manipulaciones pertinentes para el logro del balance por cada uno de los campos competentes.

1.6. Confort térmico

Los estudios de confort térmico ambiental coinciden de manera general en variables fisiológicas, psicológicas y físicas. Serra y Coch (1995) lo dividen en parámetros ambientales de confort y factores de confort del usuario; en el primero, se refieren a los variables de tipo físico ambiental como manifestaciones energéticas y las segundas refieren aspectos de las condiciones que influyen en la apreciación del ambiente por condiciones biológico-psicológicas y sociológicas.

El confort térmico humano es entendido como el estado ideal de condiciones que permiten al ser humano su desarrollo óptimo, el cual es afectado por variables físicas, fisiológicas y psicológicas.

1.6.1. Zona de Confort Térmico Ambiental (ZCT)

En las evaluaciones actuales de la ZCT no se sigue exclusivamente una forma para su determinación, pues generalmente, esta debe referirse o adaptarse con la mayor precisión posible a la zona de estudio.

La zona, es una región en la que se establecen temperaturas y humedades relativas máximas y mínimas del ambiente circundante a las que es sometido el cuerpo humano, y no generan grandes tensiones para la homotermia. La Organización Internacional de Estandarización (ISO) la define, a través de la norma ISO 7730,

como la condición mental en la que el ser humano expresa satisfacción con el ambiente térmico.

Entre las definiciones más aceptadas se encuentra la de Víctor Olgyay (1998:17):

(...) el límite superior de temperatura que puede resistir el hombre se da en el punto de insolación debido a la radiación solar y el límite mínimo es el punto de congelación. La temperatura ideal del aire debe encontrarse entonces a la mitad del camino entre estos dos extremos.

Define también la temperatura efectiva (T_e) en la que interviene la temperatura del aire, la humedad, el viento, y, con una mayor relevancia la aclimatación. Este último factor incluye particularidades como la edad, el sexo, la actividad y el tipo de ropa (Clo). Olgyay refiere algunos datos de diferentes investigadores que proponen límites para la zona de confort, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1. Límite de temperatura para la ZCT por diversos investigadores

INVESTIGADOR	ZONA DE CONFORT	LÍMITES DE HUMEDAD	TEMPERATURA IDEAL	OBSERVACIONES
Vernon y Bedford del departamento británico de investigaciones científicas	13 - 23°C	---	19°C en verano 17°C en invierno	Con poco movimiento del aire, menos de 0.25 m/s
Estándar Alemán	---	---	20.8°C	50% de HR
S.F. Markham	15.6 - 24.4°C	40 - 70% HR	---	Al medio día
C.E.P. Brooks	14 - 21°C	---	---	Británica
E.E.U.U.	20.56 - 26.7°C	---	---	Templado E.E.U.U.
Trópicos	23.3 - 26.7°C	30 - 70% HR	---	---
B. Givoni	21 - 26°C	5 - 17 mm hg	---	Bienestar óptimo Límite máximo permisible
ASHRAE	22.2 - 26.6°C	4 mm hg*	---	Bienestar óptimo
Yaglou-Drinker	18.8 - 23.8°C	30 - 70%	---	E.E.U.U. Verano
Koenigsberger	22 - 27°C	30 - 70%	---	Trópico
C.E.P. Brooks	23.3 - 29.4°C	20 - 70%	---	Trópico
E. González	22°C 29°C 26°C	27 - 75% 20 - 40% 20% - 17 mm hg	---	Límite inferior Límite superior Lím. máx. presión vapor

UNE-EN-ISO-7730	20 - 24°C	50%	---	Invierno 1clo, vto. < 0.15 m/s
	23 - 26°C	50%	---	Verano 0.5%, vto < 0.25 m/s
<i>*mm hg milímetros de mercurio: presión de vapor</i>				

Fuente. Lopez, A., 2018, con base en González: 1986, ISO 7730-1994, Olgay: 1988

Es importante hacer notar que las condiciones para la zona de confort térmico mostradas en la tabla de límite de temperatura (Tabla 1), establecen márgenes de temperatura de bulbo seco y humedad relativa, pero no son las únicas variables que participan en la sensación de confort, pues, como ya se estudió, intervienen factores como la edad, el sexo, la salud y la capacidad de aclimatación. Por lo que debe tenerse en cuenta que las temperaturas ideales no son las mismas para todas las latitudes.

1.6.2. Cálculo del confort térmico

Ya se ha visto cuáles son las variables que intervienen en el estado de bienestar. Ahora se abordarán los diferentes métodos de cálculo para evaluar el confort térmico.

De las personas, es importante considerar en la evaluación del confort, además de los factores que comprenden las variables psicológicas, vestimenta, metabolismo y percepción o expectativas, así como su actividad; inclusive, algunos estudios requieren determinar la relación entre altura y peso de la persona para obtener el área de piel, lo que es conocido como el área de DuBois (ADu). Cada uno de los elementos a evaluar dependerá del propio ob-

jetivo de la investigación, por lo que no siempre será necesario estimar todos y cada uno de ellos.

Evaluación de la vestimenta

De la vestimenta, lo importante es el tipo de ropa y la cantidad que se lleva puesta para determinar su capacidad aislante. La ropa reduce la pérdida de calor, es decir, funciona como un aislante. Se estima en $m^2 \cdot C/W$, Para facilitar su cálculo, se utiliza la unidad C/o para medir el aislamiento de la ropa. Para tal caso se hace uso de tablas ya establecidas en relación al aislamiento de la ropa en unidades C/o (Tabla 2).

Tabla 2. Aislamiento de ropa en unidades C/o

<i>1 C/o = 0.155 m² C/W</i>		
Tipo de ropa	Clo	m² * C/W
Medias	0.02	0.003
Bragas	0.04	0.006
Calzoncillo de pierna entera	0.1	0.016
Camiseta manga corta	0.09	0.014
Camiseta térmica nylon	0.14	0.022
Camiseta ligera manga larga	0.2	0.031
Camisa franela, manga larga	0.3	0.047

Pantalones cortos	0.06	0.009
Pantalones normales	0.25	0.039
Suéter fino	0.2	0.031
Suéter normal	0.28	0.043
Chaqueta ligera de verano	0.25	0.039
Abrigo	0.6	0.093
Calcetines	0.02	0.003
Zapato de suela fina	0.02	0.003
Botas	0.1	0.016
Vestido ligero sin mangas	0.25	0.039
Pijama larga	0.5	0.078

Fuente: López, A., 2018, con base en ASHRAE 55-2004

En esta escala, una persona desnuda tendrá un valor 0.00 C/o, y una persona con traje ligero de trabajo tendrá un valor de 1.0 C/o. No habrá que olvidar otros factores como coeficientes de absorción, coeficientes de reflexión, la radiación, permeabilidad al aire y al vapor de la ropa.

Evaluación de la actividad metabólica

La actividad metabólica (M) de la persona, también puede ser de interés para el investigador, suele darse en Watts/m^2 . En el cálculo del confort también se debe estimar la energía producida por el cuerpo, es decir, por la actividad muscular, conocida como metabolismo. Su unidad de medida es el *Met*.

Se calcula que una persona con nula actividad, por ejemplo, al dormir, tiene un metabolismo de 0.8 Met ; y una persona en actividad deportiva tiene un metabolismo por encima de los 10 Met (Tabla 3).

Tabla 3. Actividad metabólica

Equivalencia de actividades en <i>Met</i>		
Tipo de actividad	<i>Met</i>	W/m^2
Acostado	0.8	46
Sentado, relajado	1	58
De pie, relajado	1.2	70
Conduciendo un automóvil	1.4	80
De pie, actividad ligera	1.6	93
De pie, actividad media	2	116
Actividad de albañilería	3	175

Actividad de albañilería pesada	4.7	275
Caminando a 2 km/h	1.9	110
Caminando a 5 km/h	3.4	200
Corriendo a 15 km/h	9.5	550

Fuente: López, A., 2018, con base en ASHRAE.

1 *Met* equivale a una pérdida de calor de 58.2 W/m^2 de superficie corporal, que se estima en una persona en actividad sedentaria.

Evaluación del ambiente

Del ambiente exterior debemos considerar los factores climáticos. Estos, según el método de cálculo pueden ser obtenidos de bases de datos o medidos en el lugar de estudio.

Una vez comprendido el hecho de que los componentes se influyen unos a otros en un flujo de energía que les permite el intercambio térmico, debemos considerar algunos indicadores para el cálculo del confort, como la temperatura media radiante de las superficies que envuelven el punto a considerar.

Las variables físicas del lugar que se estiman generalmente en los estudios de cálculo de confort son la temperatura del aire, la radiación, el viento, la humedad relativa y la temperatura radiante media.

Según el tipo de estudio, los objetivos y el método, pueden utilizarse algunos otros datos como la temperatura de bulbo húmedo, la presión de vapor, humedades absolutas, diversas intensidades (en Watt/m^2) de la radiación (por ejemplo, directa y difusa), la dirección de la que proviene el viento. Estos datos que se requieren para el cálculo del confort no siempre están disponibles, por lo que se hace uso de mediciones directas en muchos casos. Como se ha dicho, depende de los objetivos y metas del planteamiento de cada problema de investigación.

1.6.3. Cálculos gráficos

- **Ábaco Psicrométrico**

DIAGRAMA PSICOMÉTRICO

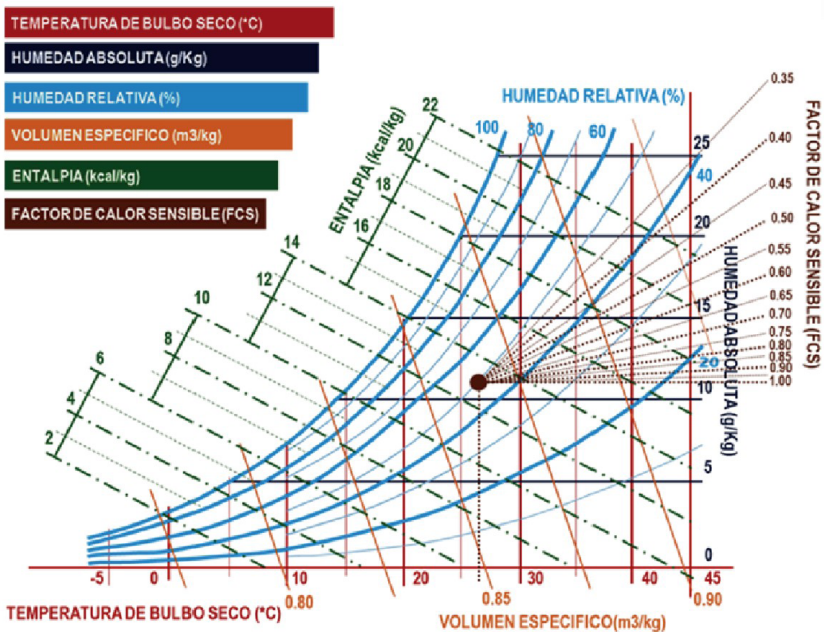


Imagen 22. Ábaco psicrométrico. Fuente: López, A., 2018, con base en ASHRAE

El ábaco psicrométrico establecido por ASHRAE, es un instrumento de utilidad en el que aparecen representados, por medio de líneas escaladas, las características del aire; funciona para estudios en que debe establecerse la relación sol-presión (Imagen 22). ASHRAE presenta el ábaco de acuerdo a la elevación sobre el nivel del mar.

Por la relativa facilidad con que pueden ser obtenidos los datos de temperatura del aire y contenido de vapor de agua, este instrumento es altamente utilizado entre los investigadores de la arquitectura bioclimática. Resultados más específicos, como datos de las variables dependientes, pueden obtenerse con el ábaco.

- **Climograma de Givoni**

El climograma o gráfica de Givoni es un gráfico que permite analizar las condiciones de la temperatura del aire y la humedad relativa, dando como resultado puntos localizados en zonas determinadas por Givoni, las cuales indican las correcciones necesarias para acercarse a la zona de confort (Imagen 23). Este gráfico, básicamente toma en cuenta las condiciones del clima como variables independientes que trabajan sobre las variables dependientes del comportamiento del edificio. Estos estudios se realizan para encontrar una zona de confort en el diseño térmico del edificio, más que sobre el sujeto mismo.

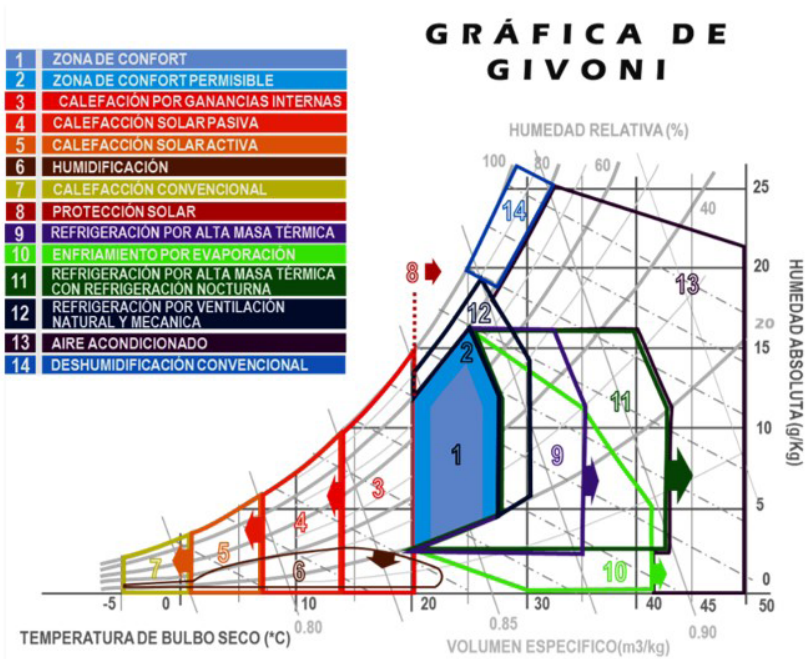


Imagen 23. Climograma de Givoni. Fuente: López, A., 2018 con base en Givoni, B., 1969.

Sobre el gráfico pueden ser localizados los datos de temperatura y humedad media para cada mes; con lo que pueden inferirse gráficamente las humedades absolutas para el mes más frío y el más cálido, así como la variación de la temperatura a lo largo de un día típico de verano e invierno. Las zonas de corrección indicadas en el climograma son: confort de invierno, confort de verano, ventilación cruzada, inercia térmica, ventilación selectiva, enfriamiento evaporativo, humidificación y sistemas solares

pasivos. Puede observarse en el Climograma de Givoni que ninguna de las zonas es exclusiva ni excluyente de alguna otra, por lo que las correcciones al edificio no son determinantes de un solo campo o zona de corrección, permitiéndole al diseñador, mayor margen para el diseño térmico.

- Variable dependiente: es el resultado de un fenómeno, acción o condición.
- Variable independiente: es la causa que da origen a un efecto o resultado.

Carta bioclimática de Olgyay

La carta bioclimática de Olgyay es un instrumento gráfico que se utiliza para exteriores, fue realizada para una latitud de 40°N para climas moderados en EEUU, pero puede ser adaptada a latitudes inferiores. Este instrumento sirve para graficar las temperaturas y humedades registradas y determinar si las condiciones se encuentran en la zona de confort; incorpora en el análisis gráfico las variables de viento y radiación solar como factores de corrección para el logro de la zona de confort (Imagen 24).

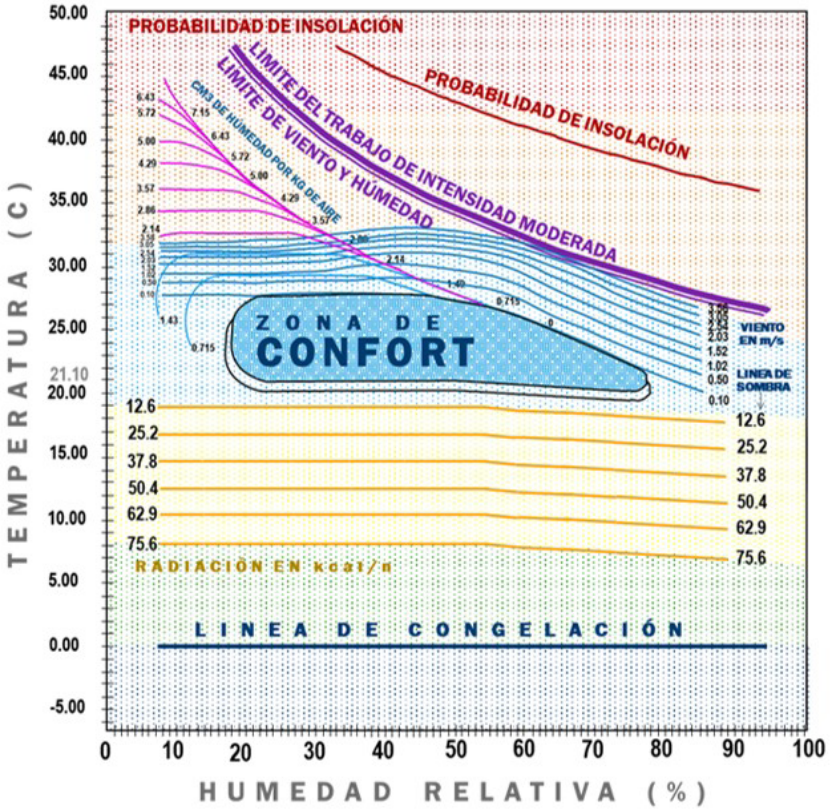


Imagen 24. Carta bioclimática de Olgyay. Fuente: López, A., 2018, con base en Olgyay, 1973.

Para su aplicación en latitudes inferiores es necesario hacer una corrección de la línea de sombra, considerando elevar en 2/5 de °C, por cada 5° de latitud por debajo.

$$21.1 + [((Lat_{lug} - 40) / 5) * (2/5)] = LS_{corr}$$

Donde:

Lat_{lug} = Latitud del lugar de estudio

LS_{corr} = Línea de sombra corregida

En caso de estudiar una latitud mayor, se realizan los ajustes disminuyendo en 2/5 de °C, por cada 5° de latitud por encima.

$$21.1 - [((Lat_{lug} - 40) / 5) * (2/5)] = LS_{corr}$$

Por la relativa facilidad de obtención de los datos para su manejo, es un instrumento que sigue siendo vigente para los estudios alrededor del mundo.

1.6.4. Cálculos numéricos

- **Método de Fanger**

Entre los cálculos más utilizados se encuentra el modelo de Fanger, es considerado como base por la Norma Internacional ISO 7730. La escala de Fanger es un instrumento que ha ganado terreno en las investigaciones referentes al confort térmico y donde se establecen los rangos de percepción a ponderar. Requiere de entrevistas y acercamiento a los sujetos usuarios del espacio, por lo que su aceptación en investigaciones de carácter cualitativo sobre confort del espacio ha extendido su manejo.

Tabla 4a. Escala de Fanger

Ponderaciones según percepción del sujeto usuario	
+3	Muy caliente
+2	Caliente
+1	Un poco caliente
0	Neutro
-1	Un poco frío
-2	Frío
-3	Muy frío
Escala de percepción térmica ISO 7730_2005	

Fuente: López, A., 2018, con base en ISO 7730_2005

Como se puede ver, los valores van de -3 a +3, pasando por cero como el valor neutro. Para validar o aceptar tales valores es necesario que haya otra serie de condiciones que deben fluctuar en los rangos según la tabla de variables (Tablas 4a y 4b).

Tabla 4b. Variables y rangos a ponderar en la escala de Fanger

M (actividad metabólica)	0.8 – 2.0 <i>Met</i>
I_{cl} (aislamiento de la ropa)	0 – 2 <i>Clo</i>
T_a (temperatura del aire)	10 – 30 °C
P_a (presión de vapor del agua)	0 – 2700 <i>Pa</i>
T_{mr} (temperatura media radiante)	10 – 40 °C
V (velocidad del aire)	0 – 1 m/s
Tabla de rangos en que pueden fluctuar las variables para validar las ponderaciones de Fanger.	

Fuente: López, A., 2018, con base en ISO 7730_2005

En los estudios para evaluar el confort, es necesario considerar dos grupos de variables, las dependientes que en muchos casos se calculan a partir de otras, como la actividad metabólica, la superficie de la piel, entre otras; o bien, se toman parámetros de tablas a partir de un levantamiento visual. Otro grupo son las variables independientes, que generalmente se levantan directamente en el sitio, como la temperatura del aire y la velocidad del viento. El grado de complicación o dificultad se debe en gran parte a lo complejo de registrar las variables independientes, por lo que deben suponerse rangos o aproximaciones por observación y tablas. También se puede utilizar encuestas que corresponden a la percepción de los individuos de acuerdo a los valores establecidos en la tabla de *Escala de percepción ISO 7730*.

Para poder obtener los datos de las variables dependientes y tener una aproximación más certera en el cálculo, se supone al sujeto como un sistema estático. Fanger utiliza como variables independientes la presión de vapor, la velocidad del viento, la temperatura del aire y la temperatura media radiante y, como variables dependientes, la temperatura de la piel y la energía perdida durante la sudoración.

Con estos datos forma una ecuación de balance de calor en la que se establece que debe haber un equilibrio térmico, es decir, toda la energía producida y recibida debe ser igual a la emitida; lo que significa que las ganancias son iguales a las pérdidas. A partir de la diferencia entre las ganancias y las pérdidas se establece la carga térmica (L).

Fanger también considera la percepción de las personas evaluadas, lo cual debe realizarse a través de encuestas, donde se han establecido los valores o ponderaciones de comodidad o incomodidad térmica mostradas para la norma internacional ISO 7730, conocidos estos índices como *Predicted Mean Vote* (PMV).

1.6.5. Modelos simples

Los modelos simples para el cálculo del confort, son aquellos que requieren solamente del dato de temperatura media anual o temperatura media mensual; no consideran otros índices como la humedad, el viento o la temperatura radiante media, lo que hace más sencillo su manejo en términos de temperatura. En este apartado se presentan brevemente los propuestos por Auliciems & Dear, y Humphreys & Nicol. Los modelos simples tienen como objetivo proponer temperaturas de confort para mayor cantidad de personas, es decir, en donde de manera general, la gente se sienta satisfecha o tolerante a las temperaturas del lugar. Como los resultados suelen ser una temperatura específica, diversos investigadores han propuesto que dicha temperatura calculada con el Modelo de Neutralidad Térmica, se extienda hacia arriba y hacia abajo 1.75°C , en caso de utilizarse la temperatura media mensual para el cálculo de la zona de confort; o que se extienda hacia arriba y hacia abajo 2.0°C en caso de calcularse la temperatura de confort para todo el año.

- **Modelo de neutralidad térmica**

Este modelo fue desarrollado por Auliciems & Dear. Los datos que se requieren para el cálculo, son la temperatura media mensual o anual; el resultado obtenido corresponde al *termopre-*

ferendum o temperatura de neutralidad térmica (T_n). Auliciems & Dear establecen con su fórmula la existencia de una relación entre la zona de confort con la temperatura exterior de bulbo seco (T_{prom}) del lugar, de la siguiente manera:

$$T_n = 17.6 + (T_{prom} * 0.31)$$

- **Modelos de confort adaptable**

Este modelo fue desarrollado por Humphreys & Nicol; los datos que se requieren para el cálculo son la temperatura media mensual o anual y el resultado obtenido corresponde a la temperatura de confort (T_c). Humphreys & Nicol consideran que la capacidad de adaptación de las personas depende de sus costumbres de uso y ocupación de los edificios en cuanto a sistemas de climatización, por lo que las temperaturas de confort serán diferentes según el caso. Establecen el modelo para tres situaciones específicas:

1. Para espacios climatizados artificialmente (modo activo)
2. Para espacios en que se desconoce el tipo de climatización o su existencia (indeterminado)
3. Para espacios sin climatización (modo pasivo)

Las fórmulas que presentan son:

- **Modelo de adaptación modo activo**

$$T_c = 23.9 + 0.295 (T_{prom} - 22) \exp ([-(T_{prom} - 22) / 33.94]^2)$$

- **Modelo de adaptación modo pasivo**

$$T_c = 12.9 + 0.295 * T_{prom}$$

- **Modelos de adaptación modo indeterminado**

$$T_c = 24.2 + 0.43 (T_{prom} - 22) \exp \left(\frac{-(T_{prom} - 22)}{28.28} \right)^2$$

Estos modelos adaptables, han sido en las últimas décadas de gran aceptación, debido a que permiten considerar las condiciones de confort específicas de acuerdo a la costumbre de uso del espacio de los individuos.

1.7. Islas de calor

El calor producido por la concentración de población en áreas urbanas localizadas se conoce como isla de calor. Éstas han sido identificadas por los climatologistas urbanos como anomalías en los comportamientos térmicos de las ciudades. Son apreciadas como un indicador de la vulnerabilidad; su estudio es importante, pues una vez diagnosticadas con relación a otros factores sociales y físicos de los asentamientos, pueden conducir a acciones de adaptación o mitigación ante el cambio climático.

El estudio de los orígenes de la elevación de la temperatura en zonas urbanas localizadas ha detectado características atribuibles al fenómeno de las islas de calor, como albedos bajos, alta retención de calor y uso de materiales que propician este fenómeno, uso del asfalto y del concreto. Otras causas atribuibles a la conformación de las islas de calor, son la cada vez mayor utilización de materiales que no permiten la permeabilidad del subsuelo, la carencia de árbo-

les, la topografía, la estructura y composición urbana, la geometría y orientación de las calles, la cantidad de visibilidad de cielo desde el piso urbano, la forma y distribución de áreas verdes. Particularmente, se ha detectado que las áreas verdes son zonas relativamente más frías en la mancha urbana y que son una variable capaz de modificar las islas de calor. También se ha estudiado que las islas de calor se ven afectadas por los cambios estacionales, el tiempo, variaciones diarias, relieves del suelo, el tráfico, la densidad de ocupación del suelo y los aparatos de climatización mecánica.

Bejarano (2002) explica que las islas de calor tienen parte de su origen en la contaminación atmosférica; debido a ésta, las ciudades reciben de 10 a 30% menos de radiación solar, energía que es compensada por la radiación de onda larga de las superficies terrestres y la contaminación atmosférica, es decir, por las radiaciones de orden antropogénico, así como por el calor acumulado por los edificios.

El estudio de las islas de calor es de tres tipos: las islas de calor de capa de dosel, las islas de calor superficial y las islas de calor perimetral. Cada una requiere de diferentes metodologías en la toma de registros. La isla de calor de capa de dosel se refiere a la temperatura de la atmósfera a la altura media de las edificaciones, su estudio es validado por el uso de fotografías satelitales térmicas. La capa de perímetro urbano, se extiende por encima de la capa de dosel, con una variabilidad en su espesor entre la noche y el día. La isla de calor de superficie es la temperatura que emiten los objetos de la superficie urbana; generalmente hace referencia a la relación que existe entre los datos de temperatura de super-

ficie urbana en comparación con la de su entorno inmediato no urbanizado. Se ha encontrado que las islas de calor superficial están relacionadas con las islas de calor de capa de dosel.

Las islas de calor urbano presentan, por las condiciones del espacio, flujos de calor energético que elevan la temperatura; la carencia de cubiertas vegetales, de suelos permeables y árboles, dificultan el enfriamiento por evapotranspiración. Generalmente presentan temperaturas considerablemente más altas que las zonas rurales aledañas, con diferencias de 4 a 9°C (Lopez, Fernández y Arroyo, 1990 en Bejarano, 2002).

Las consecuencias de las islas de calor urbano son: el mayor consumo de agua, la polución del aire, la mayor cantidad de energéticos para enfriamiento y refrigeración, costos de vida más elevados por las facturas eléctricas. Para los gobiernos significan un problema, ya que representan gastos excesivos en mantenimiento, aumento de gastos para el sector salud y en producción energética. Las islas de calor implican una degradación ambiental que influye en el comportamiento de la contaminación atmosférica y en la pérdida de confort térmico de los espacios urbanos, aumenta la frecuencia de enfermedades respiratorias, afectaciones a la salud humana y una mayor cantidad de liberación de gases de efecto invernadero (GEI), incrementando exponencialmente el uso de aparatos de enfriamiento y con ello la emisión de contaminantes atmosféricos generados en la producción de energía, lo que se traduce en una amenaza creciente ante el cambio climático.

1.7.1. Albedo de las superficies

El albedo es la capacidad que tienen los materiales de reflejar la radiación en vez de absorberla, lo que lleva a considerar que los materiales utilizados en la construcción de las ciudades, como concreto, asfalto y ladrillo, incrementan los flujos de calor debido a que tienen un albedo bajo y elevan el calor más que la vegetación (Imagen 25). En el caso de los pavimentos, un albedo bajo sugiere que el pavimento se calienta más, por lo que la intensidad de las islas de calor o de los microclimas locales, podría reducirse a través del uso de materiales de construcción con albedos altos.



Imagen 25. Albedo de superficies. Los materiales tienen diferentes capacidades de absorber o reflejar la radiación que reciben, y son capaces de modificar los flujos energéticos, provocando temperaturas elevadas en zonas que carecen de vegetación. Fuente: López, A., 2018.

Materiales como el esmalte blanco, la cal, el fibrocemento son materiales de poca absorción y alta emisividad, por lo que se recomiendan para caras exteriores. Los materiales como el cobre pulido y las hojas de aluminio tienen baja emisividad, por lo que son óptimos revestimientos en caras interiores de la edificación (Tabla 5).

Tabla 5. Albedos de materiales

	Ondas cortas (absorción)	Ondas largas (emisividad)
Cuerpo negro teórico	1.00	1.00
Terciopelo negro-azul	0.98	0.98
Vidrio	0.92	0.90/0.95
Asfalto	0.92	0.90/0.95
Césped mojado, tierra mojada, pintura roja	0.83/0.88	
Superficie terrestre con cielo nuboso	0.80	
Madera lustrada, ladrillos, cemento visto, amarillo oscuro	0.70/0.72	0.95
Pizarra, arena	0.75/0.78	0.45
Tejido de algodón blanco	0.57/0.60	
Superficie terrestre con cielo claro	0.57/0.60	
Pintura celeste, pintura verde claro, nieve sucia	0.50/0.55	0.80
Pintura blanca esmalte, pintura amarillo claro	0.40/0.35	0.90/0.95
Acero inoxidable		0.28
Aluminio hojas		0.08
Aluminio chapa nueva	0.26	0.04/0.05

Aluminio chapa oxidada	0.40/0.50	0.11
Espejo	0.15	
Nieve blanca limpia	0.13	0.74
Pintura blanca a la cal nueva	0.11/0.18	0.95
Cobre pulido	0.18	0.04
* Los datos se han deducido de Brooks, F.A., Solar Energy and its use for heating water in California, Berkley, 1936.		

Fuente: López, A., con base en Puppo, E., 1976.

La absorción es el proceso selectivo en función de los gases atravesados por las ondas electromagnéticas y las longitudes de onda. Por absorción, las partículas contenidas en la atmósfera terrestre elevan su temperatura produciendo su calentamiento. La energía que no es reflejada, es absorbida por los materiales y emitida en otro momento. Las superficies exteriores pulidas o pintadas en colores claros reflejan gran parte de la radiación solar incidente y, por lo tanto, reducen la cantidad de energía solar absorbida. Una medida de la cantidad de energía incidente que puede absorber un determinado material, viene dada por un coeficiente llamado absorptividad.

Ley de Kirchhoff. La relación entre la absorptividad y la emisividad de un cuerpo fue determinada por Kirchhoff; “Cuando una superficie a una temperatura dada absorbe “n” veces más radiación que otra superficie de igual área a la misma temperatura, entonces, a esta misma temperatura, la primera superficie emite “n” veces radiación que la segunda superficie”.

El uso de materiales que reflejan la radiación en vez de absorberla y que la emiten rápidamente o devuelvan al exterior, permite mantener temperaturas bajas (Imagen 27).

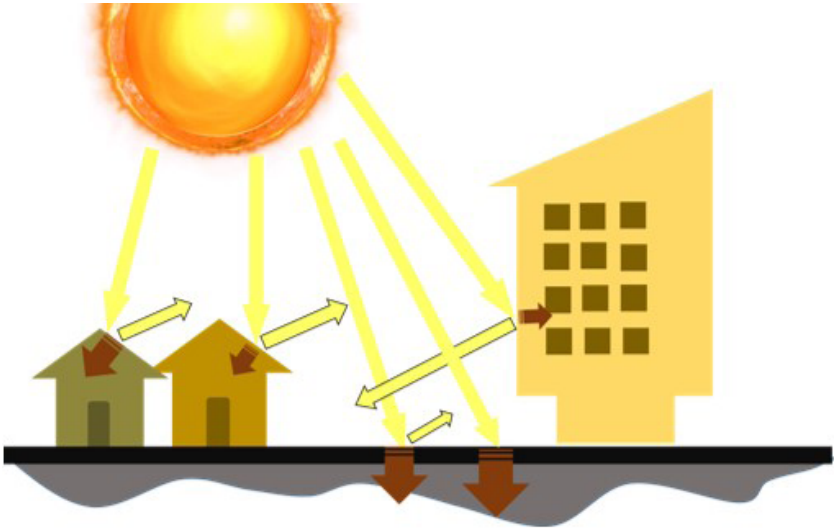


Imagen 27. Reflexión y absorción de superficies. Las superficies exteriores pulidas o pintadas en colores claros, reflejan gran parte de la radiación solar incidente, y por lo tanto, reducen la cantidad de energía solar absorbida. *Fuente: López, A., 2018.*

1.7.2. Vegetación y ambiente térmico

La vegetación tiene la capacidad de interceptar la radiación y modificarla, con lo que se eleva la temperatura de la hoja, ya que absorbe la mayor parte de la radiación. Entre el 15 y 20% de la radiación interceptada es reflejada por la superficie de las hojas, y del 5 al 10% es reirradiada a la atmósfera; estos porcentajes pueden ser mo-

dificados por la edad, el tipo de hoja, el color, la posición, el suelo, la estación y la altitud.

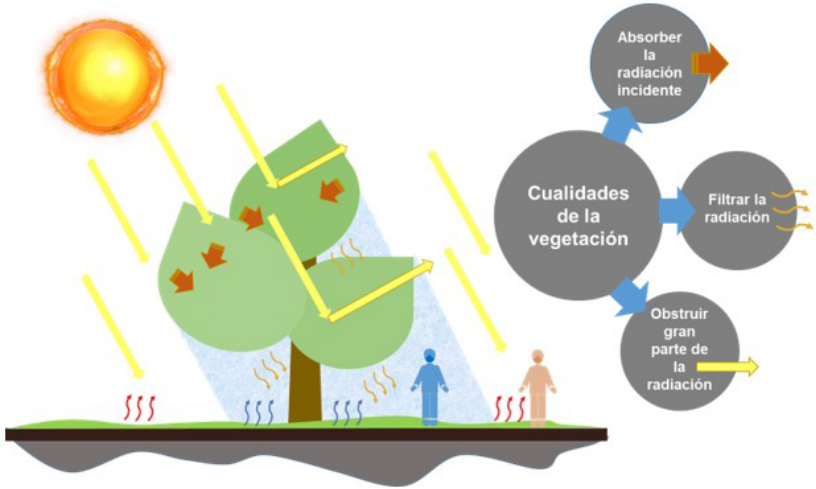


Imagen 28. Cualidades de la vegetación. Fuente: López, A., 2018.

Específicamente, la vegetación puede llevar a cabo tres tareas que son: obstruir, filtrar y reducir (Imagen 28). La obstrucción se da cuando la planta bloquea los rayos, entre más denso es el follaje, mayor es el bloqueo. La filtración es una obstrucción parcial de los rayos solares; y la reducción de la filtración evita o reduce la reflexión (rebote o proyección) de los rayos solares. Los suelos con cubierta vegetal suelen presentar hasta 10°C menos de temperatura, en comparación con los suelos con cemento; de tal forma, se hacen evidentes los beneficios del uso de la vegetación en espacios abiertos con respecto a los índices de confort.

Por otro lado, la sombra que los árboles proporcionan no influye en las propiedades térmicas de los materiales, y sí en los flujos de energía; disminuye la temperatura del ambiente más cercano, lo que modifica el balance de calor de onda larga de las construcciones aledañas; los árboles humedecen el aire por transpiración, bajando la temperatura de bulbo seco, reduciendo la ganancia de calor convectiva y conductiva, y dirigen las corrientes de aire facilitando el enfriamiento por convección. El uso de la vegetación a nivel urbano puede contribuir a la generación de túneles de viento, corrientes favorables para el enfriamiento, o puede ser una obstrucción de las corrientes de aire.

1.8. Los estudios bioclimáticos

En general, los estudios bioclimáticos se han estructurado en cuatro partes que comprenden: climatología, el estudio de la biología humana, el diseño de estrategias aplicables como sistemas pasivos de enfriamiento, y la aplicación de principios bioclimáticos en arquitectura; lo que ha dado lugar a estudios más específicos que son de reconocimiento internacional como el de *Urbanismo Bioclimático. Criterios Medioambientales en la Ordenación de Asentamientos de Esther Higuera*, quien expuso la interrelación entre el medio natural y el medio urbano, en un tiempo en el cual los principios generales de sostenibilidad y equilibrio medioambiental son reivindicados desde numerosas disciplinas.

Estudios como los de Rafael González Sandino y Jaime López Asiain (1994) sobre *La Vivienda Rururbana en Olivienza*, contemplaron el enfoque bioclimático desde la perspectiva de las

ciencias y la cultura del ecodiseño. Mencionan que es necesario incluir al análisis bioclimático el estudio de los aspectos socioculturales, y califican estos aspectos bajo la categoría de bioculturales. Proponen una metodología del análisis bioclimático que incorpora información y toma de datos referidos al clima, al lugar, al entorno y a factores antropológicos (Tabla 6).

Tabla 6. Factores de estudio según González y Asiain

Factores climáticos a nivel micro	Factores del lugar	Datos referidos al contexto	Factores antropológicos culturales
<ul style="list-style-type: none"> • Radiación solar • Temperatura • Humedad relativa • Orientaciones • Viento, precipitaciones • Luminosidad ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • Emplazamiento • Geología • Topografía • Vegetación • Sonidos • Contaminación • Materiales locales de construcción 	<ul style="list-style-type: none"> • Formas constructivas • Elementos de la edificación 	<ul style="list-style-type: none"> • Aspectos estéticos culturales • Aspectos históricos antropológicos
<p>Factores de estudio según la metodología planteada por Rafael González Sandino y Jaime López Asiain</p>			

Fuente: López, A., con base en la metodología planteada por González y Asiain, 1994.

La concepción de la arquitectura bioclimática es ante todo una especie de compromiso cuyas bases son, un programa arquitectónico, un paisaje, una cultura, unos materiales locales y cierta noción de bienestar y del abrigo, cuyas síntesis es la envoltura habitable. (González y Asiain, 1994)

Otros estudios como el de Ochoa y Roset (2000) proponen un seguimiento metodológico para determinar la influencia de la vegetación en el microclima, los elementos del clima, los elementos urbanos y la misma vegetación.

Actualmente, el interés por el diseño holístico, es decir, el que considera el clima, al hombre y la cultura, tiene cabida en los discursos del desarrollo sustentable. Las nuevas formas de comunicación globalizante son un detonante de las redes de conocimiento y son útiles para fomentar el interés y la preocupación en el cuidado del medio ambiente en los procesos de urbanización y ocupación del territorio.

Los espacios públicos abiertos son abordados con mayor frecuencia e incorporados a los planes estratégicos bajo los principios y compromisos de las naciones ante el cambio climático. Esta nueva perspectiva y enfoque disciplinar transversal, aún se encuentra en ciernes y seguirá siendo motivo de preocupación en los foros internacionales y nacionales; y motivo de ocupación en las acciones gubernamentales, no gubernamentales y privadas, para la conformación de las ciudades sustentables.

CAPÍTULO 2

ESTUDIO DEL AMBIENTE TÉRMICO

Los espacios abiertos, no pueden ser climatizados artificialmente, por lo que es importante observar la disposición de diseño para el logro de condiciones adecuadas que permitan alcanzar ambientes agradables o tolerables en el último de los casos. En los espacios abiertos la adecuada elección y disposición de los elementos naturales como los árboles, el agua y en general la vegetación, en conjunto con los elementos artificiales, la observación de las propiedades de los materiales y las condiciones de asoleamiento, juegan un papel muy importante para propiciar un acercamiento máximo a los niveles de confort.

Como consecuencia de diseños inadecuados a las características locales del clima, los espacios abiertos en muchas localidades presentan condiciones que, además de las adversidades climáticas naturales y los factores de índole psicológica de los sujetos, su diseño modifica negativamente los estándares para el confort térmico y dificulta el balance térmico humano.

En este capítulo se presentan los casos de estudio que incorporan los conceptos teóricos y las metodologías propuestas por diversos investigadores para el estudio del ambiente térmico en espacios abiertos. Podrán estudiarse los tabuladores, gráficos y resultados de los registros de campo ejemplificados en una investigación realizada en Mérida, Yucatán, y se muestran de manera

extensa la construcción y manejo de las bases de datos para el análisis de las condiciones térmicas de espacios abiertos.

El uso de abreviaturas y siglas se va introduciendo y utilizando con mayor frecuencia conforme avanza el capítulo hacia la presentación de resultados. De tal forma que el lector vaya incorporando en su propia práctica, el uso de codificaciones y siglas para evitar conceptos que pueden resultar repetitivos y extendidos.

2.1. Caso práctico

2.1.1. Mérida

El clima cálido seco y subhúmedo que se presenta en el estado de Yucatán alcanza niveles de temperatura y humedad que dificultan el logro del confort térmico humano tanto en espacios cerrados como abiertos, limitándose éste a los primeros meses del año (Imagen 29). En estas condiciones, los espacios cerrados pueden ser resueltos a través de medios mecánicos, lo que, a decir verdad, no es recomendable su uso excesivo, por las implicaciones ambientales y costos que generan.

La temperatura media anual registrada para Mérida es de 25.9°C y una humedad relativa de 80% (INEGI, 2018).

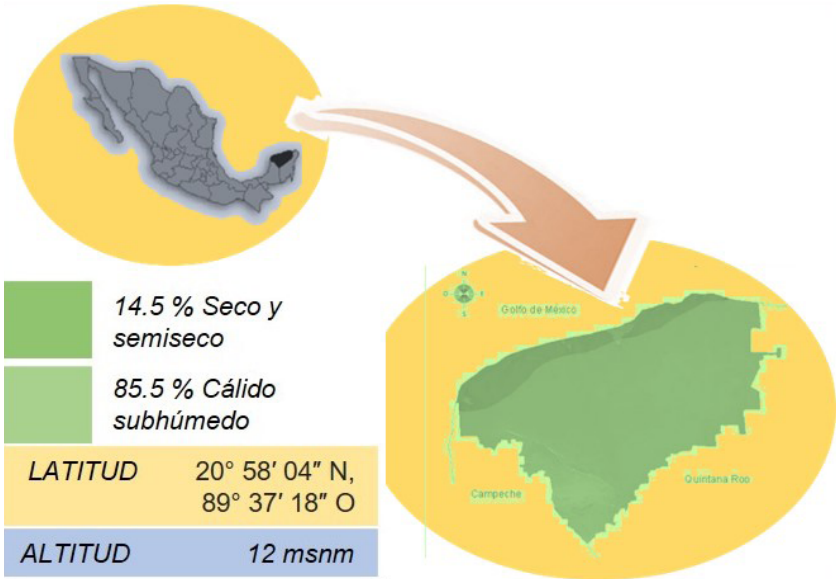


Imagen 29. Mérida Clima Tropical seco de acuerdo a la clasificación climática de Köppen: Aw. Fuente: López, A., 2018.

2.1.2. Espacios abiertos en fraccionamientos de interés social

La ciudad de Mérida, Yucatán, ha tenido un importante crecimiento de la mancha urbana desde el cierre del siglo XX debido a la industrialización y al crecimiento poblacional migratorio, en busca de oportunidades de trabajo en la creciente industria (Imagen 30). Esto, ha requerido de mayor número de viviendas, problema que ha procurado resolverse con la creación de fraccionamientos de interés social.

En términos de bioclima, los factores son puntuales. En primer lugar, las condiciones climáticas de Mérida están caracterizadas durante gran parte del año como no confortables, y los espacios abiertos no pueden aislarse de las condiciones ambientales adversas. Los emplazamientos generan las llamadas islas de calor; y el crecimiento de la mancha urbana reportado por la Secretaría de Desarrollo Sustentable del gobierno de Yucatán constata el desequilibrio en el uso de materiales que influyen en el comportamiento meso del clima, así como la insuficiencia de zonas verdes en los emplazamientos de fraccionamientos de interés social. La respuesta que se ha dado a estos fraccionamientos denota una carencia de análisis de las condiciones microclimáticas que se generan con el diseño.

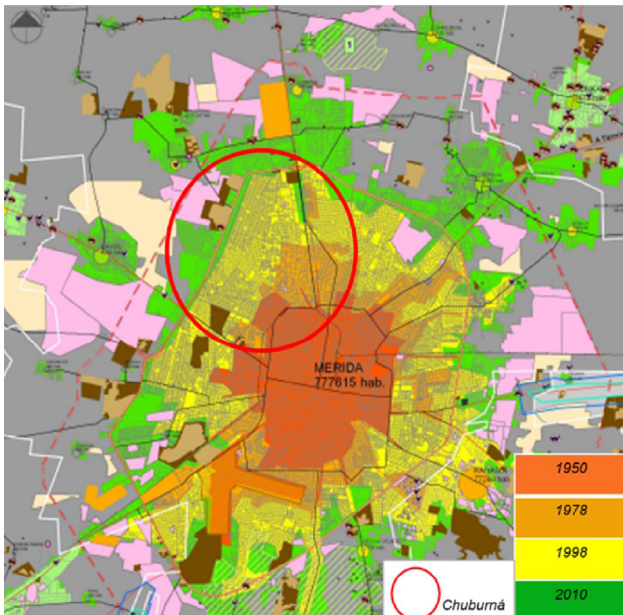


Imagen 30. Crecimiento de la mancha urbana. Con base en la Secretaría de Desarrollo Sustentable de Yucatán en http://sds.yucatan.gob.mx/desarrollo-urbano/documentos/ZonaMetropolitana/1_3_Crecimiento_Urbano.pdf

Al respecto del diseño bioclimático, los espacios abiertos contruidos como parques de los fraccionamientos de la ciudad de Mérida presentan características similares a lo que ocurre a lo largo y ancho del país. También es cierto que, aunque el diseño de estos espacios subestima las condiciones ambientales, los parques sí cumplen sus objetivos funcionales, pero no debieran menospreciarse las ventajas que un diseño bioclimático adecuado acarrearía para la optimización de sus objetivos sociales, de convivencia, de mayor aprovechamiento y de sus objetivos ambientales. La propuesta actual para los espacios abiertos consiste en una adecuada planificación capaz de contribuir, en estos espacios abiertos, al bienestar térmico humano a partir del control de la temperatura media radiante de los elementos, con una conveniente disposición, relación y dosificación de sus componentes, lo que, eventualmente, podría posibilitar un acercamiento mayor a la zona de confort. Los factores externos mencionados en el capítulo 1, son los más factibles de manipulación en la tarea específica de diseñadores, por lo tanto, los más viables para su aplicación en el campo de la arquitectura y el urbanismo. A continuación, se muestran algunas imágenes que constituyen los parques en Mérida con una breve descripción de los fenómenos que se dan en el espacio en relación con la radiación y flujo energético, los espacios que se muestran son andadores (Imagen 31), canchas deportivas (Imagen 32), áreas verdes (Imagen 33).



Imagen 31. Andadores.

Superficies de concreto, asfalto, o piedra expuestas al sol. En ocasiones con sombra al amanecer. Uso: deportivo, intenso en las primeras horas de la mañana. El horario permite su forma de uso.

Fenómenos microclimáticos por área funcional.

Andadores expuestos al sol.

Bajo porcentaje de HR.

Disminución en la probabilidad de enfriamiento por evaporación.

Mayor calentamiento por radiación de onda corta y larga.

Fotografía: López, A., 2018.



Imagen 32. Canchas deportivas.

Fenómenos microclimáticos por áreas funcional en horarios específicos.

Bajo porcentaje de HR.

Disminución en la probabilidad de enfriamiento por evaporación.

Mayor calentamiento por emisión.

Fotografía: López, A., 2018.



Imagen 33. Áreas verdes. Superficies de tierra vegetal o pasto. Las hay a la sombra y al sol. Uso: juego.

Fenómenos microclimáticos:

Alto porcentaje de HR.

Posibilita enfriamiento por evapotranspiración.

Mayor calentamiento por radiación de onda corta.

Muy poco calentamiento por radiación de onda larga.

Fotografía: López, A., 2018.

2.1.3. Microclima local

Los materiales que componen los parques son categóricos en la conformación de los microclimas local y zonal. Se da el nombre de microclima zonal a las condiciones localizadas en la extensión de un parque, y microclima local a las condiciones localizadas en lugares específicos del mismo parque, con materiales de características diferentes.

En los parques se hace referencia a los materiales de superficie, pues más que de volúmenes los parques se constituyen de planos; por lo que la presencia de suelo vegetal, a diferencia del suelo pétreo, es decir materiales de bajo albedo no permeables, definirá las condiciones térmicas. Una superficie con gran poder de reflexión devolverá las radiaciones a la atmósfera, en tanto que una superficie con gran poder de absorción las almacenará y las restituirá por la noche.

Otro elemento compositivo de los parques y determinante en el microclima zonal son los árboles, su presencia favorece la conducción de los vientos, permiten el enfriamiento del aire por evapotranspiración y evitan que pase la radiación solar directa por su copa, impidiendo la absorción, calentamiento, emisión y reflexión del área que cubren (Imagen 34). Deben tenerse en cuenta los efectos que la vegetación densa puede provocar en el aumento de humedad del aire, pues las partículas de rocío suspendidas incrementan la radiación de onda larga y reducen la pérdida de calor dificultando la restitución nocturna.



Imagen 34. El papel de los árboles en el espacio público. Conducción de los vientos, enfriamiento por evapotranspiración, evitan el paso de la radiación solar directa, impiden la absorción, calentamiento, emisión y reflexión del área que cubren. *Fuente: López, A., 2018.*

2.1.4. La temperatura media radiante en el balance térmico

Como se ha visto en el capítulo 1, los comportamientos microclimáticos afectan directamente al usuario de los parques influyendo en su balance térmico, por lo que se establece una relación directa entre la Temperatura Radiante Media (TRM), producto de las propiedades y características de los materiales, las condiciones térmicas, y los elementos compositivos de los parques con el bienestar térmico humano.

La TRM afecta al equilibrio térmico humano, la autora Alemany (1986) plantea que la TRM es afectada por el calor que el cuerpo humano gana por radiación (Q_r), establecido en la ecuación de balance térmico. Los factores que influyen en el bienestar térmico provocan una sensación que es consecuencia del intercambio térmico entre el hombre y el medio, pudiendo llegar a una ganancia de calor mayor que la pérdida, o caso contrario, a una pérdida de calor corporal mayor que la ganancia que el medio pueda aportarle. Relativamente, el sujeto experimentaría calor o frío según el caso.

En Mérida, por las condiciones climáticas y los índices establecidos para la zona de confort, se sabe que deben evitarse las ganancias en el proceso de intercambio térmico con el medio. De manera que las condiciones permitan el equilibrio y se establezca el Bienestar Térmico.

El balance térmico humano se expresa en la ecuación:

$$Q_s = Q_m + Q_c + Q_r - Q_e$$

Donde:

Q_s : calor almacenado en el cuerpo

Q_m : calor metabólico

Q_c : calor por conducción-convección

Q_r : calor por radiación

Q_e : calor por evapotranspiración

En la fórmula se aprecian dos factores externos de ganancia o pérdida y uno de pérdida para que se establezca el bienestar térmico; es decir, la alteración en cualquiera de ellos modificará los restantes. Entre mayores sean estos ajustes, implicarán mayores tensiones negativas en los mecanismos de termorregulación para mantener el balance. Dependerá en gran parte del diseño térmico ambiental, que el balance térmico se lleve a cabo con el menor número de tensiones y esfuerzo posible.

En el balance térmico, el calor metabólico Q_m , depende de la talla y actividad del sujeto. La Q_c , que es el calor con conducción-convección, está determinado en una ecuación donde intervienen la velocidad del viento, la temperatura del aire, temperatura de la piel, y la vestimenta. Q_r , indica el intercambio de calor por radiación, está en función de las diferencias de temperatura del aire entre la piel y la temperatura media radiante de las superficies que le rodean (Alemany, 1986:36). Q_r está determinado por la ecuación:

$$Q_r = E o A_r (T_r^4 - T_p^4) (W/m)$$

Donde:

E = emisividad de la piel

o = constante de Stefan Boltzman*

A = área del cuerpo humano

r = relación entre el cuerpo humano efectiva para el intercambio de radiación, y el área de Dubois*

$T_r^4 - T_p^4$ = temperatura media radiante y temperatura de la piel en grados absolutos K

En la diferencia entre las temperaturas de la piel y la TMR radica en gran medida la importancia que la radiación de las superficies implica en la elevación del Qr. Por lo que, a partir del control de la TMR, derivada de las propiedades térmicas de los materiales, su dosificación y disposición, se puede facilitar o dificultar el equilibrio térmico humano.

Algunos autores como Rapoport, la llaman Temperatura Radiante Media (TRM). Obsérvese que hay un cambio en el orden de las siglas.

Con esta consideración se planteó el estudio térmico de los parques de fraccionamientos en Mérida, Yucatán.

2.2. Metodología para el análisis del comportamiento ambiental

Para el análisis térmico se planteó diagnosticar el comportamiento microclimático de cada área funcional de los parques, como los andadores, las áreas verdes, las bancas y arriates, las banquetas, las canchas, el estacionamiento y la zona de juegos infantiles, así como la TMR para verificar su influencia en el acercamiento o alejamiento de la zona de confort.

El diagnóstico requirió tipificar las condiciones de diseño de los espacios funcionales, se clasificaron en cuatro grupos indicados por la composición de los materiales (Imagen 35):

- Superficie vegetal, protegida por sombra vegetal.

- Superficie vegetal, expuesta a la radiación solar.
- Superficie pétreo, protegida por sombra vegetal.
- Superficie pétreo, expuesta a la radiación solar.



Imagen 35. Condiciones de diseño de las áreas funcionales en los parques públicos.
Fotografía: López, A., 2018.

Esta clasificación, se derivó de la observación y levantamiento de los parques, y se vio que eran las condiciones coincidentes de la mayoría. Para los análisis del lugar, se registraron los factores de las variables microclimáticas y la temperatura de radiación para obtener la temperatura media radiante de las áreas funcionales de los parques.

Las mediciones permitieron:

- 1) Establecer la relación entre las condiciones del espacio abierto con la interacción de los elementos naturales.
- 2) Determinar qué tan apropiados son los materiales y disposición de los elementos de los parques.
- 3) Encontrar parámetros para minimizar los efectos de la radiación tanto en los objetos como en los sujetos.
- 4) Establecer relaciones de comportamiento de los diferentes materiales y vegetación para determinar su interacción con la temperatura media radiante.
- 5) Dar sugerencias estratégicas encaminadas a lograr las condiciones para un mejor aprovechamiento de los espacios abiertos.

En las investigaciones del espacio abierto, los recorridos del sitio y reconocimiento de las condiciones físicas siempre son importantes para categorizar el lugar a analizar. De esta manera, pudieron establecerse dos principales categorías, la climática y la física.

Tabla 7. Categorías de análisis para el estudio del ambiente térmico en los parques seleccionados en Mérida, Yucatán

Climática	Física
<ul style="list-style-type: none"> • Humedad • Temperatura • Radiación • Viento 	<ul style="list-style-type: none"> • Forma disposición • Propiedades térmicas • Dosificación

Fuente: López, A., 2018.

Considerando las diferentes propiedades térmicas entre los elementos naturales y los artificiales, así como la influencia de la cubierta vegetal o pétreo en los flujos energéticos y en el ambiente térmico se determinó que el indicador para los parques seleccionados, fuera la presencia o ausencia de vegetación; —los elementos naturales como vegetales, y los elementos artificiales como pétreos—.

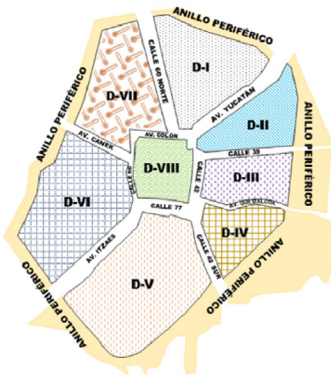
Los factores bioclimáticos que determinaron el universo de estudio para diagnosticar el ambiente térmico fueron:

- Las condiciones climáticas en Mérida que ya han sido caracterizadas como no confortables durante gran parte del año.
- Los emplazamientos urbanos que generan las llamadas islas de calor.
- Los espacios abiertos que no pueden aislarse de las condiciones ambientales adversas.
- La notable carencia o desdén del análisis microclimático en el diseño de los parques seleccionados.

Los factores geopolíticos que determinaron el universo de estudio para diagnosticar el ambiente térmico fueron:

- El crecimiento de la mancha urbana, resultado de la industrialización en las últimas décadas.
- El crecimiento poblacional consecuencia de la migración del campo a la ciudad en busca de oportunidades de trabajo en la industria.
- La creciente demanda de vivienda y servicios que acarrea el crecimiento poblacional, y que ha sido resuelta a través de la construcción de fraccionamientos periféricos.

La ciudad de Mérida está dividida políticamente en ocho Distritos (Imagen 36).



DISTRITO	Cantidad de fraccionamientos
I	12
II	17
III	19
IV	15
V	31
VI	20
VII	53
VIII	3

Fraccionamientos por Distrito en la ciudad de Mérida, Yucatán, según datos de Ayuntamiento de Mérida.

Imagen 36. División por Distritos urbanos en Mérida. Fuente: López, A., 2018.

Los parques de los fraccionamientos de interés social en la ciudad, presentan características similares en términos de dise-

ño bioclimático. Sin embargo, se consideró pertinente tomar la muestra del Distrito VII, ya que, según datos del Ayuntamiento, cuenta con mayor cantidad de ellos.

2.2.1. Obtención de muestra

Una vez localizados los 41 parques del Distrito VII (Imagen 37), se seleccionaron 11 correspondientes a fraccionamientos de interés social. De dichos parques, se llevó un estudio de campo preliminar, en el que se registró para cada uno:

- Ubicación
- Superficie en metros cuadrados
- Croquis de distribución
- Orientación
- Eje principal de emplazamiento
- Uso de las diferentes áreas con horas y días específicos
- Existencia de vegetación, tipo y porcentaje
- Estado de conservación y mantenimiento
- Vías de acceso
- Tipo de vialidad
- Función del parque con relación al entorno inmediato y a la totalidad del fraccionamiento
- Función del parque a nivel urbano
- Traza de la zona
- Tipo de equipamiento y material del mismo

- Croquis de relaciones de las áreas internas del parque
- Topografía
- Materiales de las superficies
- Focos de contaminación y tipo
- Perfil urbano
- Alineamiento
- Uso de suelo

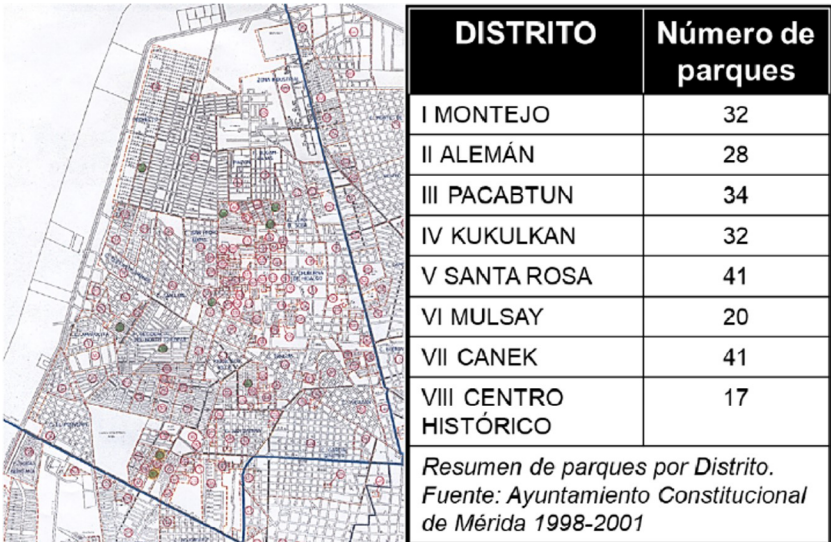


Imagen 37. Localización de parques en el Plano del Distrito VII. Fraccionamientos de interés social. Fuente: López, A., con base en el Ayuntamiento del municipio de Mérida. Dirección de Desarrollo Urbano.

Con los indicadores de los parques sobre vegetación, materiales de superficie y dimensiones se procedió a su agrupación en matrices de porcentaje (Tablas 8a, 8b, 8c).

Tabla 8a. Clasificación de los parques por cantidad de sombras

Parques con un porcentaje mayor a 50% de proyección de sombra que de radiación directa	Parques con 50% de proyección de sombra en su superficie y 50% de radiación	Parques con sombra nula, 100% de su superficie con radiación solar directa
Rinconada de Chuburná	15 de mayo	Nueva Hidalgo
El Prado	Chuburná Inn	Residencial del Norte
	Francisco de Montejo II	Pensiones
	Residencial del Norte	Cordeleros de Chuburná

Fuente: López, A., 2018.

Tabla 8b. Clasificación de los parques por cantidad de metros cuadrados

Parques con un área menor de 1000 m ²	Parques con un área de 1001 a 5000 m ²	Parques con un área de 5001 m ² o más
Cordeleros de Chuburná	Lindavista	Chuburná Inn
Nueva Hidalgo	Residencial del Norte	Francisco de Montejo
	ISSSTE	El Prado
	15 de mayo	Rinconada de Chuburná

Fuente: López, A., 2018.

Tabla 8c. Clasificación de los parques por cantidad de materiales en las superficies

Parques con porcentaje mayor a 50% de superficie de pasto que de otros materiales	Parques con 50% de superficie de pasto y 50% de superficies de otros materiales	Parques con superficie mayor de 50% de concreto que de pasto
Residencial del Norte	Lindavista	15 de mayo
Francisco de Montejo II	Chuburná Inn	ISSSTE
El Prado		Pensiones

Rinconada de Chuburná		Cordeleros de Chuburná
		Nueva Hidalgo
		Residencial del Norte

Fuente: López, A., 2018.

La selección de los parques se determinó de la siguiente manera:

Rinconada de Chuburná. Parque con mayor superficie de pasto en relación a otros materiales (concreto, asfalto y arena) y con mayor o igual proyección de sombra que de radiación solar.

El parque cuenta con una cantidad de árboles que le proporcionan una sombra de más del 50% en relación a la superficie.

Chuburná Inn. Parque con superficie de concreto y de pasto en las mismas proporciones, así como de sombra y sol.

El parque cuenta aproximadamente con 50% de superficie vegetal (pasto) y 50% de otros materiales (concreto, asfalto, arena)

Residencial del Norte. Parque con mayor superficie de concreto que de pasto, y con sombra nula.

El parque cuenta con una superficie mayor de 50% de concreto que de pasto, así como con sombra nula, es decir, 100% de la superficie recibe radiación solar directa.

Quedando las clasificaciones de los parques por tipo de superficie:

- **SE:** Superficie equilibrada
- **SV:** Superficie vegetal
- **SP:** Superficie pétreo

Para poder llevar a cabo los análisis comparativos es necesario que las condiciones de los espacios de estudio sean similares. Para el caso de Mérida, cada uno de los parques seleccionados contó con las cuatro condiciones de diseño. En el estudio para la selección se incluyó el uso de las áreas específicas de áreas verdes, andadores, juegos infantiles y canchas deportivas.

2.2.2. Estaciones climatológicas

Las observaciones de los elementos climáticos son realizadas en observatorios meteorológicos que se rigen por una normatividad internacional, lo que permite manejar parámetros utilizados en todo el mundo y hacer la información asequible. Estas normas determinan las condiciones bajo las cuales deben instalarse los instrumentos, como la altura, o sus condicionantes al aire libre o en cubierta.

Entre las Normas más importantes pueden consultarse la norma mexicana NMX-AA-166/1-SCFI-2013 sobre estaciones meteorológicas, climatológicas e hidrológicas. Y la norma internacional ISO 7726 *Ergonomic of the Thermal Environment – Instruments for Measuring Physical Quantities*.

Existen estaciones climatológicas que cuentan con instrumentos para la recopilación de datos microclimáticos diarios más importantes; la diferencia básica entre los observatorios meteorológicos y las estaciones climatológicas, es el alcance y capacidad de mediciones, por ello cada uno posee diferente cantidad y calidad de instrumental; además, las estaciones climatológicas pueden existir en varios puntos de la ciudad o regiones, y compararse los datos de unas y otras a fin de relacionarlos y determinar condiciones generales (Tabla 9).

Tabla 9. Instrumental básico con que cuentan los observatorios meteorológicos y las estaciones climáticas

Instrumental de los observatorios meteorológicos	Instrumental de las estaciones meteorológicas
Abrigo meteorológico Termómetro para medir temperaturas máximas y mínimas Termógrafo Psicrómetro Higrógrafo Evaporímetro Pluviómetro Barómetro Barógrafo Anemocinemógrafo Heliógrafo	Abrigo termométrico Psicrómetro Termómetro para medir temperaturas máximas y mínimas Evaporímetro Pluviómetro Veleta

Fuente: López, A., 2018.

En los parques estudiados, cada condición de diseño tipificada contó con una estación climatológica que permitió recopilar los datos microclimáticos locales, las cuales observaron las normas de control internacional.

2.2.3. Proceso de registro

Las estaciones para fines de investigación académica suelen ser elaboradas con equipos y materiales de acuerdo a los objetivos de la investigación, pero siempre deben observar las normativas para la correcta toma de datos. Esta oportunidad de construcción de las estaciones microclimáticas, permite el montaje y desmontaje de diversos instrumentos, así como el levantamiento de diferentes tipos de datos. Para el desarrollo de la investigación, se contó con termómetros de aire, termómetros de globo, termómetros de bulbo húmedo, anemómetros e higrómetros digitales.

Temperatura del aire. Los instrumentos utilizados para obtener la temperatura del aire fueron higrómetros digitales. En pruebas piloto, se observó que el registro de humedad presentaba diferencias significativas que llevaron a considerar el registro de la humedad con otros instrumentos. En la pantalla se despliegan ambas mediciones, la de temperatura del aire en °C y porcentaje de humedad.

Temperatura de radiación. Los instrumentos utilizados fueron termómetros de globo contruidos con termómetros de vidrio y esferas de cobre en negro. La manufactura de los termómetros de globo es una tecnología expuesta por Ramón F., en su libro *Ropa, Sudor y Arquitectura*. El termómetro de globo actúa como cuerpo negro, es decir aquel que tiene la capacidad de absorber toda energía radiante que incide sobre él.

Humedad relativa. Se utilizó un psicrómetro tipo honda, cuyos registros de temperatura de bulbo húmedo, se convirtieron a

porcentaje de humedad con base en el diagrama psicrométrico de Therkeld (1973) para una presión a nivel de mar.

Para su adecuado funcionamiento el psicrómetro tipo honda debe permanecer resguardado en el abrigo termométrico. Es un dispositivo formado por dos termómetros de vidrio sujetos a presión sobre una base de metal, de los cuales un bulbo permanece húmedo y otro seco. Los bulbos deben aislarse del contacto de cualquier material. Los termómetros están colocados a alturas diferentes sobre la base, el bulbo húmedo debe quedar más expuesto que el del bulbo seco para permitir su irrigación fácilmente sin alterar la lectura del bulbo seco. El paño o capucha que cubre el bulbo debe ser de algodón suave y libre de otros materiales como podrán ser gomas o fibras sintéticas, el paño debe cambiarse con frecuencia pues la acumulación de residuos puede alterar la lectura. Su tamaño debe sobresalir de una a dos pulgadas del bulbo y debe estar siempre empapado con agua destilada a la temperatura del interior de la caseta termométrica, procurando que su temperatura sea la del ambiente. El psicrómetro tipo honda proporciona dos temperaturas cuya diferencia es observada en tablas donde se establece la humedad relativa. Otro tipo de psicrómetro es el que, permanece el bulbo seco en el abrigo, y el bulbo húmedo se hace girar; para encontrar la humedad relativa equivalente se acude a la carta psicrométrica que está constituida por una gráfica donde convergen la temperatura de bulbo seco, la entalpía, la entropía y la humedad relativa, donde se busca el punto de intercepción entre las dos lecturas y se obtiene la humedad relativa.

Viento. Se utilizaron anemómetros digitales automáticos, con unidades de medición en Knots, m/s, Km/h, M/h, ft/min y escala de Beaufort. Estos equipos marcan la velocidad del viento momentánea (ráfagas); la velocidad de viento máxima en lapsos determinados; el promedio de velocidad del viento en lapsos, la temperatura del aire, y el *wind chill*, que es el resultado de la temperatura del aire en interacción con la velocidad del viento. El viento tiene la particularidad de ser un factor deseable para el enfriamiento por convección, sobre todo en zonal cálida, sin embargo, puede llegar a convertirse en una molestia si aumenta demasiado su velocidad. Para eso se hace uso de la carta de Beaufort al respecto de la velocidad del aire (Tabla 10).

Tabla 10. Instrumental básico con que cuentan los observatorios meteorológicos y las estaciones climáticas

Beaufort	Descripción	KT
0	Calma	0
1	Viento ligero	1-3
2	Brisa ligera	4-6
3	Brisa suave	7-10
4	Brisa moderada	11-16
5	Brisa fresca	17-21
6	Brisa fuerte	22-27
7	Cercano a ventarrón	28-33
8	Ventarrón	34-40
9	Ventarrón fuerte	41-47
10	Tormenta	48-55
11	Tormenta violenta	56-63
+12	Huracán	+64

Fuente: López, A., 2018.

2.2.4. Mediciones, horario y localización

Para la frecuencia de mediciones se considera el uso del espacio, el objetivo propio de la investigación, y las especificaciones normativas en la toma de datos. Con las visitas al sitio y el reconocimiento de campo, se establecen los horarios en que han de llevarse a cabo los registros. En el caso de Mérida, una vez estudiadas las condiciones de uso y térmicas de los parques, se decidió que las mediciones se realizarían desde las 6:00 y hasta las 21:00 hrs., y en los horarios de mayor frecuencia de uso; al empezar el día cuando los materiales no han recibido radiación solar; y al finalizar el día, cuando los materiales ya recibieron radiación solar todo el día (Tabla 11).

Tabla 11. Condiciones determinantes para horario de medición

Determinante de horario	Hora
Al empezar el día	6:00
Horario de uso	9:00
Horario de uso	12:00
Año típico	14:00
Horario de uso	16:00
Horario de uso	18:00
Horario de uso y al finalizar el día	21:00
Los horarios de medición fueron siete y quedaron como se muestra en la tabla.	

Fuente: López, A., 2018.

Es conveniente realizar los estudios a escala microclimática para su verificación. Se denominó al conjunto del parque como *microclima zonal*. Se identificaron dentro de ese microclima zonal, subconjuntos tipificados por sus características de diseño,

como los estacionamientos, las canchas o andadores, los cuales fueron denominados *microclimas locales*.

El lugar de las mediciones estuvo dado por las condiciones físicas de los parques, encontrándose en los levantamientos las cuatro situaciones características mencionadas anteriormente, que condujeron a la localización de las estaciones climatológicas (Tabla 12).

Tabla 12. Características físicas correspondientes a cada estación

Características físicas	Clave asignada	Número de estación
Superficie vegetal a la sombra	VS	(1)
Superficie vegetal al sol	VF	(2)
Superficie pétreo al sol	PF	(3)
Superficie pétrea a la sombra	PS	(4)
V= vegetal, P= pétreo, F= sol		

Fuente: López, A., 2018.

Cuando la cantidad de datos y de estaciones es considerable, habrá que tener cuidado de ordenar la captura y registros para evitar confusiones que suelen terminar en la necesidad de repetición de toma de registros, pérdida de tiempo, y muchas veces, en desánimo de los investigadores. Por ello, para facilitar el registro y manejo de datos se asignaron claves a cada estación con las iniciales del parque, la clasificación general del parque y las características físicas de la estación (Tabla 13).

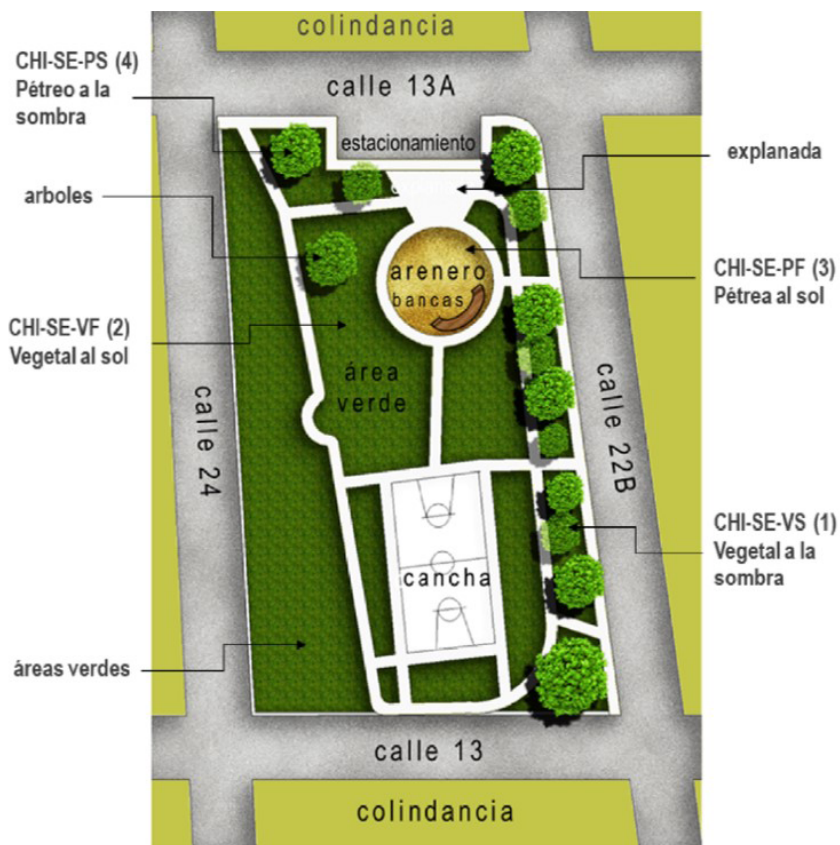
Por ejemplo, para el fraccionamiento Chuburná Inn en la estación de superficie vegetal al sol, la clave asignada fue CHI-SE-VF-, en donde se significa Superficie Equilibrada (SE).

Tabla 13. Resumen de claves de estaciones por parque

Chuburná Inn	Rinconada de Chuburná	Residencial del Norte
CHI-SE-VS(1)	RCH-SV-VS(1)	RN-SP-VS(1)
CHI-SE-VF(2)	RCH-SV-VF(2)	RN-SP-VF(2)
CHI-SE-PF(3)	RCH-SV-PF(3)	RN-SP-PF(3)
CHI-SE-VF(2)	RCH-SV-PS(4)	RN-SP-PS(4)

Fuente: López, A., 2018.

Para la caracterización de los parques y localización de las estaciones es necesario realizar los esquemas y planos pertinentes, que indiquen los principales componentes (Imagen 38, 39, 40).



NORTE



PARQUE FRACC. CHUBURNÁ INN

Imagen 38. Esquema del parque Chuburná Inn. Localización de las cuatro estaciones correspondientes a diseños diferentes cada una, indicadas con claves y números. *Fuente: López, A., 2018.*

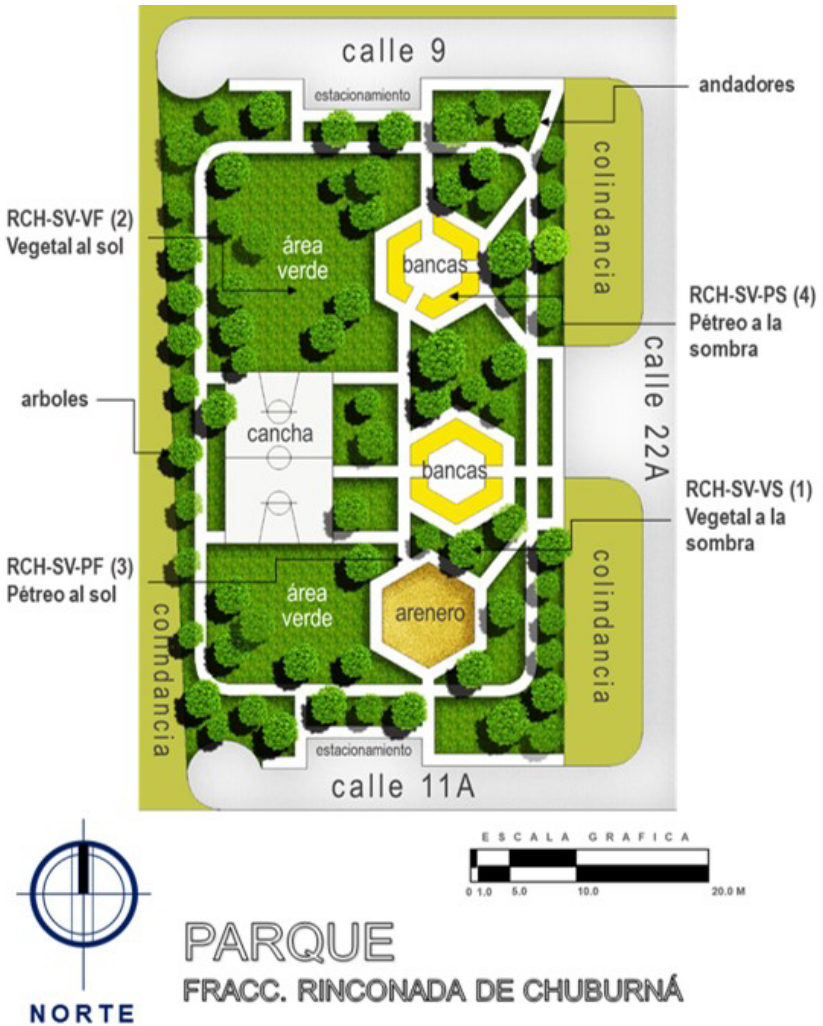


Imagen 39. Esquema del parque Rinconada de Chuburná. Localización de las cuatro estaciones correspondientes a diseños diferentes cada una, indicadas con claves y números. Fuente: López, A., 2018.

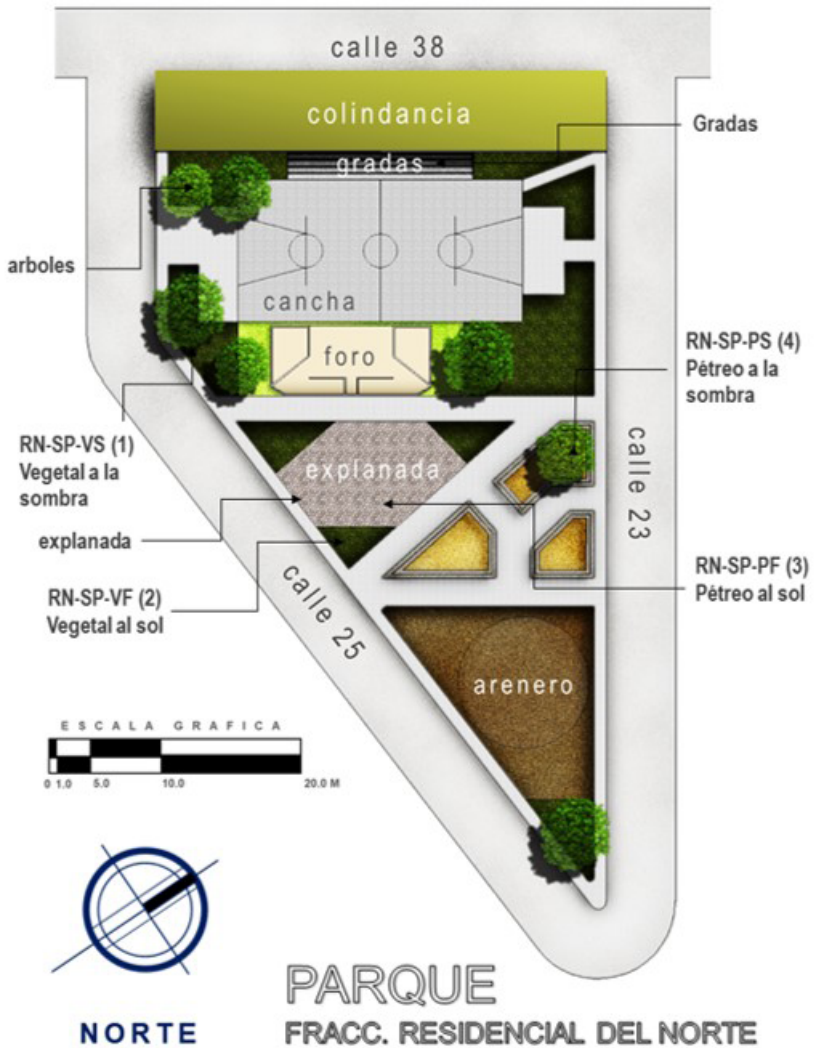


Imagen 40. Esquema del parque Residencial del Norte. Localización de las cuatro estaciones correspondientes a diseños diferentes cada una, indicadas con claves y números. Fuente: López, A., 2018.

2.2.5. Instrumentación

Para este tipo de investigaciones, es necesario el registro de la información en tablas y gráficos para su análisis. Fue preciso el registro de las variables para el estudio en los gráficos de Olgyay. Para el viento, la temperatura y la radiación, los registros se llevaron a cabo directamente sobre los instrumentos de campo. El registro de la humedad relativa requirió de un instrumento independiente, resultado del tipo de psicrómetros, cuya lectura exige una columna para el registro de la temperatura de bulbo húmedo, otra para la de bulbo seco, y una más donde se registró la equivalencia de la humedad relativa obtenida de la carta psicrométrica.

Como necesidad particular por el tipo de instrumentos y método de registro, se consideraron las características de las estaciones que trabajarían simultáneamente. Entre los retos de las investigaciones de campo con instrumentos portátiles, están precisamente su colocación, seguridad y adecuado mantenimiento mientras se llevan a cabo los trabajos. Muchos investigadores prefieren obviar estas situaciones, que suelen representar un problema y optar por otras metodologías de investigación. Lo interesante de este tipo de trabajos es precisamente el acercamiento real que la información arroja en *escala microclimática* y que repercute de forma directa sobre los sujetos usuarios del espacio y la toma de decisiones en el diseño.

Para la colocación del instrumental se evaluó su peso, su transportación, su tamaño, las condiciones para el funcionamiento de cada uno, por lo que se construyeron estaciones que cumplieran

con las cualidades de ligereza, fácil ensamblaje, que soportaran el empuje del viento, fueran estables y al mismo tiempo robustas, permitieran el manejo del instrumental y, por supuesto, que ofrecieran las condiciones de normalización para este tipo de instrumentos.

2.2.6. Metodología general

Es muy importante plantear con anticipación los pasos que se darán en una investigación, aunque siempre aparece algún imprevisto; tener claro, desde el comienzo, la posible ruta a seguir, permite retomar el camino con facilidad, para el cumplimiento de los objetivos.

Para esta investigación, se muestra el esquema de los pasos que se siguieron para el desarrollo (Imagen 41).

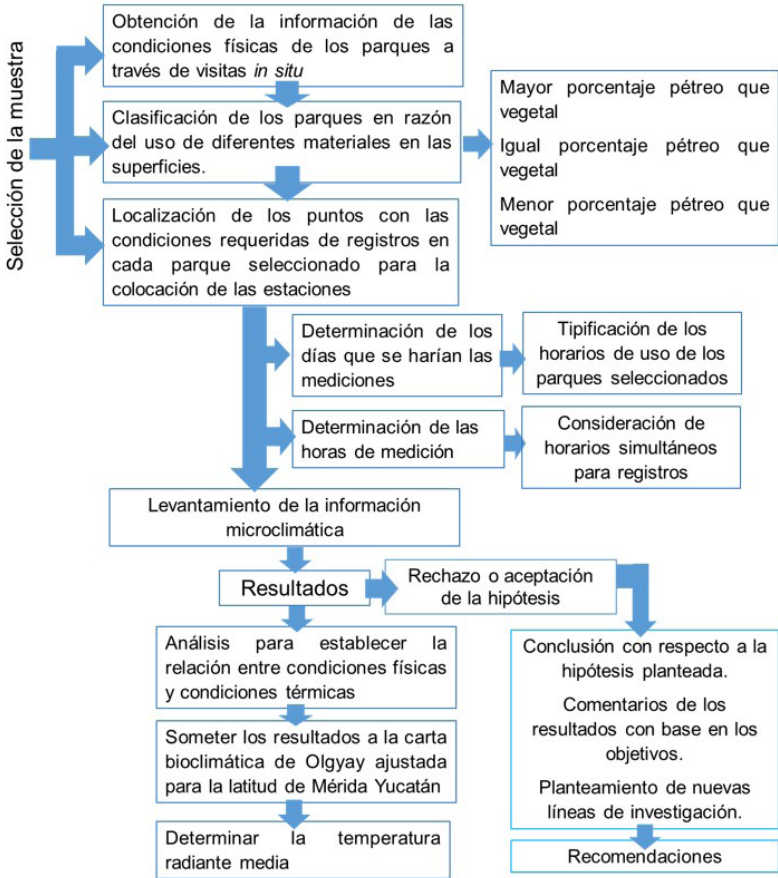


Imagen 41. Esquema metodológico seguido para el análisis térmico de los parques en Mérida, Yucatán. Fuente: López, A., 2018.

2.3. Obtención de datos específicos

Cada investigación, de acuerdo a sus objetivos, limitantes y condiciones de trabajo, propone métodos específicos para el acopio y análisis de información. En este caso, se propuso que los datos

a considerar serían: temperatura de radiación (Trad), temperatura del aire (Ta), humedad relativa (HR) y viento (V).

Temperatura de radiación. Con base en los días y horarios planteados, para la obtención de la temperatura de radiación se registraron las temperaturas marcadas en el termómetro de globo (TG) de las diferentes estaciones, se sometieron los resultados a la fórmula de Beiling, para obtener la TRM.

$$TRM = TG + 0.24 \times \text{raíz } V(TG - TS)$$

En donde:

TG: temperatura de globo

V: velocidad de viento

TS: temperatura de bulbo seco

Porcentajes de humedad relativa. Con base en los días y horarios planteados, a través de un psicrómetro tipo honda, se tomaron las temperaturas marcadas por el termómetro de bulbo seco y de bulbo húmedo, una vez registradas, se convirtieron a grados Fahrenheit para su traslado a la carta psicrométrica de ASHRAE y así encontrar la humedad relativa.

Velocidad y dirección del viento. Con base en los días y horarios planteados, teniendo como instrumental sensores digitales se estabilizaron los equipos y se registró a velocidad indicada en pantalla y la dirección del viento.

Temperatura del aire. Con base en los días y horarios planteados, teniendo como instrumental sensores digitales, el proceso consistió en tomar las temperaturas de pantalla y registrarlos. Posteriormente

te, esos datos se refirieron a la carta bioclimática de Olgyay, y con ello se pudo determinar el número de ocasiones y porcentaje en que las condiciones estuvieron dentro de los límites de la zona de confort térmico.

Otro paso importante para la corroboración fue someter la TRM al planteamiento hipotético de su influencia en la sensación de confort expuesta por ASHRAE, bajo la premisa de que la temperatura de radiación afecta considerablemente la sensación de confort. Se sometieron los datos obtenidos del termómetro de globo a dos tipos de consideraciones hipotéticas: La primera consistió en determinar la TRM según la fórmula de Beiling, posteriormente, calcular su efecto, que, según parámetros de ASHRAE es 40% mayor que la temperatura del aire (T_a); la segunda se basó en un planteamiento expuesto por los investigadores Yaglou y Miller, quienes expusieron que la temperatura de radiación, es decir, la medida por el TG, debe ser considerada en los cálculos de zona de confort, sustituyendo la T_a (temperatura del aire) o T_s (temperatura de bulbo seco) por la Trad (temperatura radiante o TG).

2.4. Presentación y análisis de datos

Con el objetivo de mostrar los procedimientos de investigación, en esta sección se presentan los datos desglosados por parque, con lo cual se muestra el comportamiento térmico de cada uno de los lugares estudiados. Para su presentación, se emplean tablas que proporcionan los datos de registro puntuales y gráficas que muestran un análisis comparativo de los tres parques.

2.4.1. Análisis de la temperatura del aire

Tanto para el análisis como para la síntesis, conviene llevar los registros de cada estación microclimática en tablas. De esa forma, identificarlos, compararlos, promediarlos, encontrar patrones o coincidencias, será una tarea más fácil para el investigador. Existen diversos programas y equipo automatizado, inclusive a control remoto, que permite hacer estos registros y análisis, pero es recomendable, cuando se va adentrando en la investigación de corte bioclimático, conocer los comportamientos microclimáticos horarios, pues ello permitirá comprender los balances energéticos que ocurren en los espacios.

El uso de gráficas también es una herramienta de gran utilidad para el análisis e interpretación de los datos. Las gráficas constituyen un elemento de comunicación visual que provee información rápida. La forma en que están desarrolladas permite realizar comparaciones y detectar diferencias que, posteriormente, pueden ser examinadas a detalle, en los tabuladores (Imagen 42).

HORA	MÉRCOLES 10	SABADO 13	MÉRCOLES 17	SABADO 20	MÉRCOLES 24	SABADO 27
06:00	18.36	19.56	17.16		13.66	13.66
09:00	20.66	27.36	23.66	18.96	20.86	21.16
12:00	25.56	28.06	29.16	21.16	24.26	24.36
14:00	28.38	31.31	29.16	21.96	25.16	29.26
16:00	26.66	27.16	30.26	19.86	23.36	23.86
18:00	21.66	22.36	24.06	18.66	20.16	21.06
21:00	20.76	20.06	21.36	14.76	17.36	17.56

Tabulador

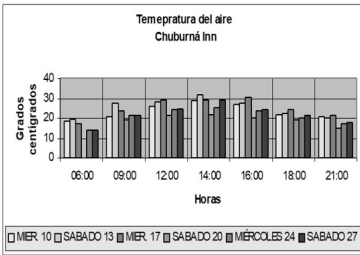


Gráfico de barras

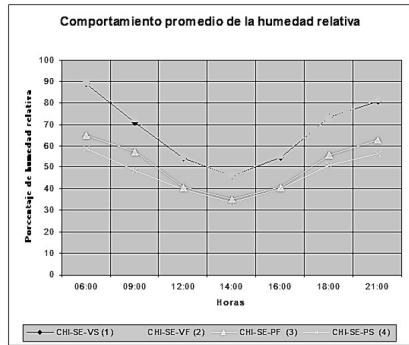


Gráfico de puntos

Imagen 42. Tabuladores y gráficos usuales. Fuente: López, A., 2018.

A continuación se ilustra, con algunos tipos de tabulación, gráficas recomendadas para el trabajo de campo en los parques.

Parque Chuburná Inn

En la tabla del microclima zonal sobre temperatura del aire pueden distinguirse varios fenómenos, entre ellos, que las temperaturas más bajas se presentan en el horario matutino a las 06:00 h y que las temperaturas más altas se presentan en el horario de las 14:00 h. Otro fenómeno a señalar, y que se relaciona con la temperatura radiante media, es que, durante el horario de 21:00 h,

momento en que el sol ya se ocultó, la temperatura del aire sigue estando muy por arriba de la temperatura matutina de las 06:00 h. (Tabla 14).

Tabla 14. Microclima zonal. Datos horarios de temperatura del aire promediados en el Parque Chuburná Inn

Hora	Miércoles 10	Sábado 13	Miércoles 17	Sábado 20	Miércoles 24	Sábado 27
6:00	18.36	19.56	17.16		13.66	13.66
9:00	20.66	27.36	23.66	18.96	20.86	21.16
12:00	25.56	28.06	29.16	21.16	24.26	24.36
14:00	28.38	31.31	29.16	21.96	25.16	29.26
16:00	26.66	27.16	30.26	19.86	23.36	23.86
18:00	21.66	22.36	24.06	18.66	20.16	21.06
21:00	20.76	20.06	21.36	14.76	17.36	17.56

Del período registrado en prácticas de campo, el promedio de las temperaturas del aire máximas fue de 27.7°C, mientras que en el mismo período el promedio de las temperaturas del aire mínimas fue de 16.19 °C.

Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán

En la gráfica del microclima zonal sobre temperatura horaria, se muestran los datos obtenidos, indicando que, la hora en que se registraron las temperaturas máximas, coincidió en un 83% a las 14:00 h, mientras que la hora en que se presentaron las temperaturas del aire mínimas, coincidieron en un 100% de las veces a las 06:00 h. (Imagen 43).

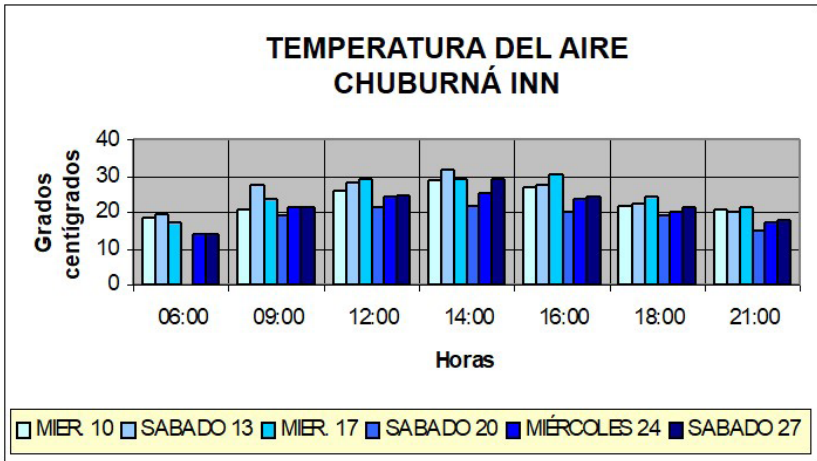


Imagen 43. Gráfica de microclima zonal. Gráfica horaria de temperatura del aire promediada. Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

Parque Rinconada de Chuburná

En la tabla del microclima zonal sobre temperatura del aire, las temperaturas más bajas se presentan en el horario de las 06:00 h, sin embargo, las temperaturas más altas se presentan en horarios disímiles de las 14:00 h. Otro fenómeno que se relaciona con la temperatura radiante media es que, durante el horario de 21:00 h, igual que en el ejemplo anterior, la temperatura del aire permanece por arriba de la temperatura de las 06:00 h. (Tabla 15).

Tabla 15. Microclima zonal. Datos horarios de temperatura del aire promediados en el Parque Rinconada de Chuburná

Hora	Viernes 12	Martes 16	Viernes 19	Martes 23	Viernes 26	Martes 30
6:00	20.96	16.96	20.66	12.16	14.96	20.66
9:00	24.06	19.76	26.96	23.96	20.66	25.16
12:00	22.26	28.16	33.16	21.76	26.26	33.06
14:00	21.36	29.66	31.46	23.56	30.36	36.46
16:00	21.36	32.26	25.66	22.46	24.06	32.66
18:00	21.16	22.26	21.76	19.36	21.46	30.06
21:00	21.06	19.96	21.06	16.86	19.76	27.26

Del período registrado en prácticas de campo, el promedio de las temperaturas del aire máximas fue de 30°C, mientras que en el mismo período el promedio de las temperaturas del aire mínimas fue de 17.8°C.

Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

En la gráfica del microclima zonal sobre temperatura horaria se muestran los datos obtenidos, indicando que la hora en la que se registraron las temperaturas máximas coincidió solamente en un 50% a las 14:00 h, mientras que la hora en que se presentaron las temperaturas del aire mínimas coincidieron en un 100% de las veces a las 06:00 h. (Imagen 44).

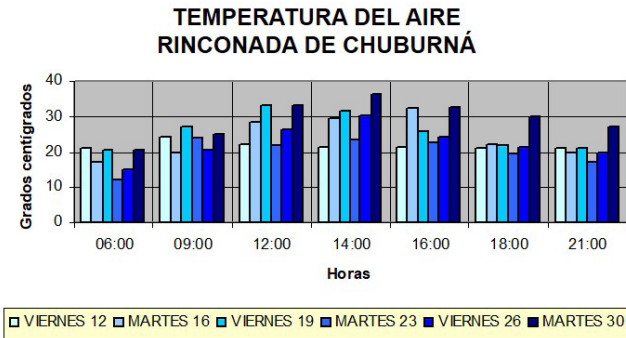


Imagen 44. Gráfica del microclima zonal. Gráfica horario de temperatura del aire promediada. Fuente: López, A., Trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

Parque Residencial del Norte

Las temperaturas más bajas se presentan en el horario matutino a las 06:00 h, aunque con un promedio de registro particular en el día jueves; y las temperaturas más altas se presentan en el horario de las 14:00 h. Durante el horario de 21:00 h, momento en que el sol ya se ocultó, la temperatura del aire sigue estando muy por arriba de la temperatura matutina de las 06:00 h. Obsérvese que los registros promediados de las temperaturas nocturnas son disímiles entre los diferentes días. (Tabla 16).

Tabla 16. Microclima zonal. Datos horarios de temperatura del aire promediados en el Parque Residencial del Norte

Hora	Jueves 11	Domingo 14	Jueves 18	Domingo 21	Jueves 25	Domingo 28
6:00	17.06	18.96	17.26	14.86	12.46	17.06
9:00	22.06	22.66	22.96	20.06	20.36	23.46
12:00	28.46	27.06	30.06	23.56	23.76	31.16
14:00	29.76	28.16	31.66	23.66	24.16	32.66
16:00	27.56	26.46	31.76	21.16	23.36	31.66
18:00	23.16	22.26	29.16	19.06	20.76	29.26
21:00	16.96	19.96	25.76	16.96	18.26	26.06
Del período registrado en prácticas de campo, el promedio de las temperaturas del aire máximas fue de 28.4°C, mientras que en el mismo período el promedio de las temperaturas del aire mínimas fue de 16.3°C.						

Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

En la gráfica del microclima zonal sobre temperatura horaria, se muestran los datos obtenidos, indicando que la hora en la que se registraron las temperaturas máximas coincidió en un 67% a las 14:00 h, mientras que la hora en que se presentaron las tempe-

raturas del aire mínimas coincidieron en un 96% de las veces a las 06:00 h. (Imagen 45).

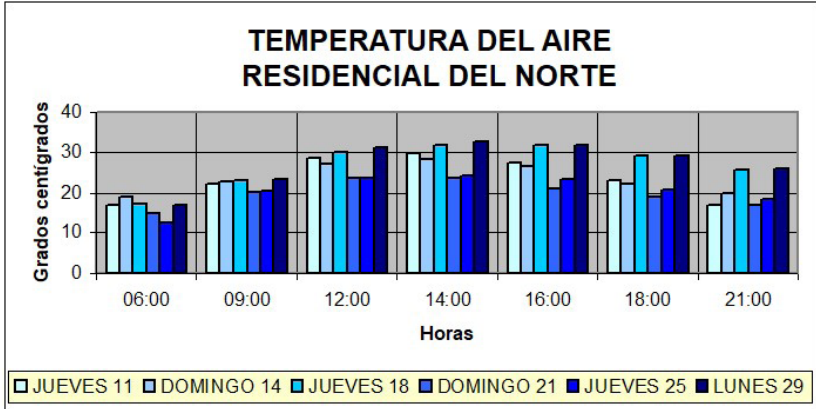


Imagen 45. Microclima zonal. Gráfica horaria de temperatura del aire promediada. Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

2.4.2. Análisis de la humedad relativa

En este apartado se muestran las gráficas horarias sobre humedad relativa promediadas del microclima zonal. La humedad relativa, como se ha expuesto en el capítulo 1, es una de las variables que interviene en el confort térmico, por lo que su estudio es relevante. Los datos de humedad relativa también deben tabularse y graficarse. Hay varias formas de presentarlos, una de las más comunes es a través de gráficas de líneas; de igual forma, proporcionan información visual de manera rápida y permiten realizar comparaciones y detectar diferencias entre los elementos de análisis. Para esta sección se presentan las gráficas del parque Chu-

burná Inn, y se resumen los resultados de los parques Residencial del Norte y Rinconada de Chuburná.

Se presenta la gráfica del microclima local sobre humedad relativa horaria promediada, es decir, con datos de cada estación dentro del parque. Puede verse de manera general y en primera instancia, que la humedad relativa desciende en el transcurso del día y vuelve a elevarse hacia el atardecer. Este comportamiento es normal, ya que la radiación permite la evaporación.

Los datos obtenidos indican que la hora en que se registraron los porcentajes máximos de humedad relativa fue a las 6:00 h, con un 75% del total de los registros; mientras que el horario que registró las humedades relativas mínimas coincidió en un 88% del total de los registros a las 14:00 h.

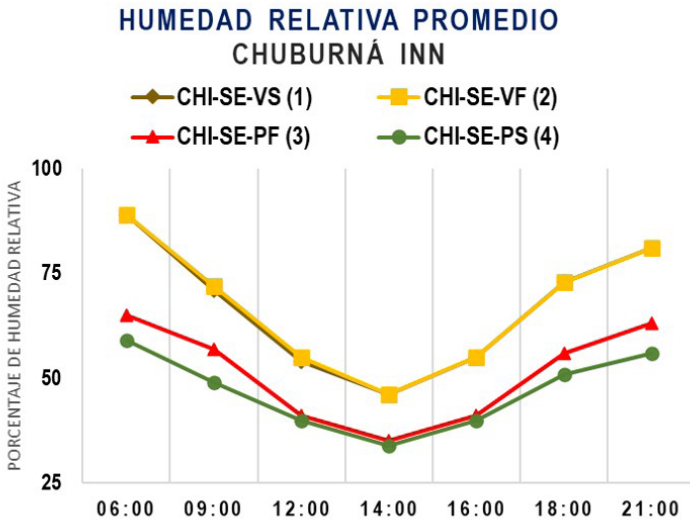


Imagen 46. Microclima local. Gráfica horaria de humedad relativa promediada por estación. Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

Analizar los datos por estación, o lo que se ha planteado como microclima local, permite hacer comparaciones entre las estaciones considerando que los resultados son dependientes de la disposición, las propiedades térmicas y la dosificación de los componentes del espacio. De tal forma, se muestran los datos que se obtuvieron del análisis.

La estación que registró el máximo porcentaje de humedad relativa fue la que se encontraba en superficie vegetal expuesta al sol, denominada como VF(2), la cual presentó una humedad relativa promedio de 88% a las 06:00 h, y un registro máximo de 97%. En tanto que la estación que registró el porcentaje de humedad relativa mínimo fue la que se encontraba en superficie pétreo expuesta al sol, conocida como PF(3) con una humedad relativa promedio de 41% a las 14:00 h, y con un registro mínimo de 33%.

Del comportamiento de la humedad relativa por prolongación de períodos de microclima local, se obtuvo que la superficie vegetal a la sombra, denominada VS(1), fue en la que se presentó el porcentaje máximo durante la mayor parte del día, con 48% de las veces; es decir, de 42 registros de HR_{max} , 20 se presentaron en la estación con vegetación en sombra. En tanto que la estación con superficie pétreo al sol PF(3) fue donde se presentó el porcentaje mínimo durante la mayor parte del día, con 38% de las veces; es decir, de 42 registros de HR_{min} , 16 se presentaron en la estación con superficie pétreo al sol.

El análisis de frecuencias determinó que cada estación tuvo resultados diferentes en dependencia de sus características locales

(Tabla 17), pudiéndose observar que la estación con mayor frecuencia de humedades relativas máximas fue la VS(1) al amanecer; la estación con mayor frecuencia de humedades relativas mínimas al amanecer fue la PF(3); la estación con mayor frecuencia de humedades máximas al anochecer fue la VF(2); y por último, la mayor frecuencia de humedades relativas mínimas al anochecer fue la PS(4).

Tabla 17. Frecuencias de registros máximos y mínimos de humedad relativa por estación

Estación	Período	Frecuencia	
		%HR max	%HR min
VS(1)	Amanecer		
	Anochecer		
VF(2)	Amanecer		
	Anochecer		
PF(3)	Amanecer		
	Anochecer		
PS(4)	Amanecer		
	Anochecer		

Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

Los resultados develan que existe una dependencia de las condiciones físicas para el comportamiento del microclima local.

En cuanto al comportamiento microclimático zonal, se obtuvo que la humedad relativa máxima registrada para el parque Chuburná Inn fue de 89%, y el promedio de la humedad relativa mínima fue de 45%.

Parque Rinconada de Chuburná

Los datos obtenidos indican que la hora en que se registraron los porcentajes máximos de humedad relativa fue a las 6:00 h, con un 83% del total de los registros; mientras que el horario que registró las humedades relativas mínimas coincidió en un 54% del total de los registros a las 14:00 h. Análogo al comportamiento de temperatura del aire en sus máximos registros, las humedades relativas mínimas también se presentaron en horarios disímiles de las 14:00 h. Los datos que se obtuvieron del análisis de acuerdo a las condiciones de cada microclima local fueron los siguientes:

La estación que registró el máximo porcentaje de humedad relativa fue la vegetal a la sombra VS(1), con una humedad relativa promedio de 92% a las 06:00 h, y un registro máximo de 97%. En tanto que la estación que registró el porcentaje de humedad relativa mínimo fue la superficie pétreo a la sombra PS(4) con una humedad relativa promedio de 47% a las 14:00 h, y con un registro mínimo de 9%.

De la humedad relativa por prolongación de períodos, se obtuvo que la superficie vegetal a la sombra VS(1) y la superficie vegetal al sol VF(2) presentaron el porcentaje máximo durante la mayor parte del día, con 38% de las veces. En tanto que la estación con superficie pétreo al sol PF(3) y la superficie pétreo a la sombra PS(4), presentaron el porcentaje mínimo durante la mayor parte del día, con 38% de las veces.

El análisis de frecuencias determinó una coincidencia en el comportamiento microclimático de las estaciones al amanecer y

al anochecer. La estación con mayor frecuencia de humedades relativas máximas fue la VS(1) tanto al amanecer como al anochecer; y la estación con mayor frecuencia de humedades relativas mínimas al amanecer y al anochecer fue la PS(4) (Tabla 18).

Tabla 18. Frecuencias de registros máximos y mínimos de humedad relativa por estación

Estación	Período	Frecuencia	
		%HR max	%HR min
VS(1)	Amanecer		
	Anochecer		
VF(2)	Amanecer		
	Anochecer		
PF(3)	Amanecer		
	Anochecer		
PS(4)	Amanecer		
	Anochecer		

Fuente: López, A. trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

En cuanto al comportamiento microclimático zonal, se obtuvo que la humedad relativa máxima registrada para el parque Rinconada de Chuburná fue de 90% y el promedio de la humedad relativa mínima fue de 49%.

Parque Residencial del Norte

En el parque Residencial del Norte se da el mismo comportamiento descendente de la humedad relativa en el transcurso del día, y su elevación al atardecer. Nótese que este comportamiento,

de manera general, es el mismo para todos los parques. Como se ha dicho, es un fenómeno físico en el que la radiación solar provoca la disminución de la humedad relativa, de allí que se presente la misma condición para todos los espacios.

La hora en que se registraron los porcentajes máximos de humedad relativa fue a las 6:00 h, con 79% del total de los registros; mientras que el horario que registró las humedades relativas mínimas coincidió en 62% del total de los registros a las 14:00 h.

Del análisis de los microclimas locales, los datos de humedad relativa indican que, la estación que registró el máximo porcentaje fue la vegetal expuesta al sol VF(2), la cual presentó una humedad relativa promedio de 94% a las 06:00 h, y un registro máximo de 98%. En tanto que la estación que registró el porcentaje de humedad relativa mínima fue la pétreo a la sombra PS(4) con una humedad relativa promedio de 38% a las 14:00 h, y con un registro mínimo de 30%.

De la humedad relativa por prolongación de períodos de acuerdo a cada microclima local se obtuvo que la superficie vegetal a la sombra VS(1) y vegetal al sol presentaron el porcentaje máximo durante la mayor parte del día, con 38% de las veces. La estación con superficie pétreo a la sombra PS(4) fue la que presentó el porcentaje mínimo durante la mayor parte del día con 60% de las veces.

Igual que en los casos anteriores, el análisis de frecuencia denotó que los comportamientos microclimáticos locales están en relación con sus características físicas. Se obtuvo que, la esta-

ción con mayor frecuencia de humedades relativas máximas fue la VF(2) al amanecer; la estación con mayor frecuencia de humedades relativas mínimas al amanecer fue la PS(4); la estación con mayor frecuencia de humedades máximas al anochecer fue la PF(3); y, por último, la mayor frecuencia de humedades relativas mínimas al anochecer fue la PS(4) (Tabla 19).

Tabla 19. Resumen de frecuencias de registros máximos y mínimos de humedad relativa por estación.

Estación	Período	Frecuencia	
		%HR max	%HR min
VS(1)	Amanecer		
	Anochecer		
VF(2)	Amanecer		
	Anochecer		
PF(3)	Amanecer		
	Anochecer		
PS(4)	Amanecer		
	Anochecer		

Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

La humedad relativa máxima registrada para el parque Residencial del Norte fue de 91%, y el promedio de la humedad relativa mínima fue de 43%.

2.4.3. Análisis de la temperatura de radiación

Es importante recordar que, para el estudio de Mérida, se planteó la temperatura radiante media como una condición para el acercamiento a la zona de confort. Es por ello que, en este apartado, se presenta el trabajo realizado con las bases de datos y análisis realizados de esta variable.

El planteamiento metodológico para esta variable se hizo en dos fases; la presentación de los datos se hace por cada parque estudiado. En la primera fase, el objetivo fue determinar las máximas y mínimas temperaturas radiantes registradas, los gradientes entre el T_a y las T_{rad} . La segunda fase consistió en sintetizar los resultados y obtener el comportamiento diferenciado por estación con respecto a la temperatura radiante, para establecer la relación entre los comportamientos microclimáticos locales y las cualidades físicas del diseño del espacio (disposición, distribución y materialidad).

Parque Chuburná Inn

Primera fase de análisis

Los datos obtenidos de temperatura de radiación indicaron que las temperaturas máximas se registraron alrededor de las 14:00 h, con una coincidencia del 54%. La tendencia de la radiación máxima ocurrió entre las 12:00 y 16:00 h, por lo que el porcentaje de horario pico fue apenas mayor al 50%. En tanto que las temperaturas mínimas de radiación se presentaron a las 06:00 h, con 83% del total de los registros (Imagen 47).

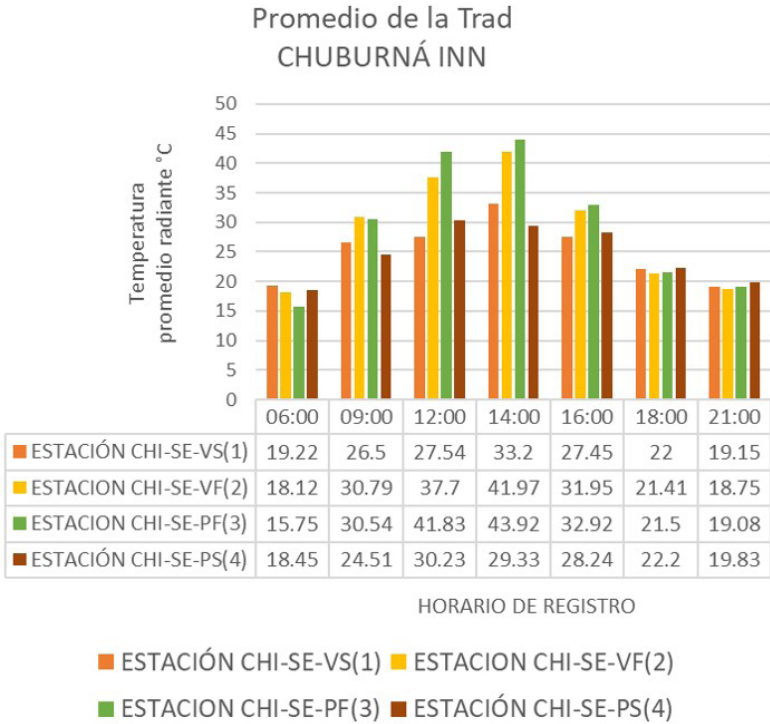


Imagen 47. Microclima local. Gráfica horaria de temperatura radiante promediada por estación. Fuente: López, A., trabajo de campo, Mérida, Yucatán.

El promedio de las temperaturas de radiación máxima registradas fue de 38.3°C . Lo que da una notable diferencia de 10.6°C arriba del promedio de la temperatura del aire máxima registrada. En sentido opuesto, el promedio de las temperaturas de radiación mínimas registradas fue de 17.7°C , lo que representa una diferencia con el promedio de las temperaturas del aire mínimas registradas de 1.5°C . Los comportamientos de temperatura de radiación y

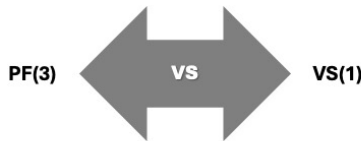
sus gradientes se presentan en la tabla de resumen de variabilidad (Tabla 20).

Tabla 20. Resumen de variabilidad de los gradientes de temperatura de radiación, con base en las observaciones realizadas en trabajo de campo, parque Chuburná Inn

Resumen de la variabilidad en el comportamiento de la temperatura de radiación	
Variación de la Trad entre los diferentes días	83% de las veces se presentaron gradientes mayores de 12°C (seis días de cinco)
Variación de la Trad en el mismo día	67% de las veces hubo variaciones muy poco significativas
Variación de los gradientes promedio de la Trad entre estaciones	67% de las veces los gradientes oscilaron entre 0 y 10°C.
Gradientes: distancia máxima entre dos mediciones	

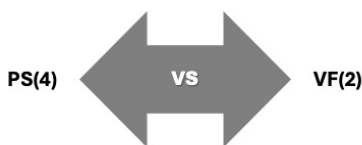
Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

En la tabla de gradientes de temperatura (Tabla 21) nótese la relación de comportamiento entre estaciones, dictada por los gradientes máximos y mínimos; los gradientes máximos se presentaron en mayor porcentaje entre la estación de superficie pétreo expuesta al sol, contra la estación de superficie vegetal a la sombra.



Gradientes máximos entre estaciones

En tanto que los gradientes mínimos se presentaron en mayor porcentaje entre la estación de superficie pétreo a la sombra, contra la estación de superficie vegetal expuesta al sol.



Gradientes mínimos entre estaciones

Para ambos casos, las Trad máximas se dieron en mayor porcentaje en las estaciones de superficie pétreo y las mínimas en las estaciones de superficie vegetal. Nuevamente se observa que los comportamientos microclimáticos se verán afectados por las variables físicas. De ahí la importancia que el diseño del espacio proporciona para el logro del confort, y el aporte de condiciones para el aprovechamiento integral del espacio abierto.

Tabla 21. Gradientes de temperatura de radiación, durante el día en la misma estación, y entre estaciones por día del parque Chuburná Inn

Fecha	Gradiente durante el día	Gradiente máximo entre estaciones		Gradiente mínimo entre estaciones		Promedio de gradiente
		Gr	Estaciones	Gr	Estaciones	
Miércoles 10	20.1°C	18.1°C	VS(1)-PS(4)	0.1°C	PF(3)-VS(1)	9.1°C
Sábado 13	21.1°C	18.8°C	PF(3)-VS(1)	0.5°C	PS(4)-PF(3)	9.6°C
Miércoles 17	19.5°C	17.6°C	PF(3)-VS(4)	1.2°C	VS(1)-VF(2)	9.4°C
Sábado 20	9.5°C	7°C	PF(3)-VS(1)	0.6°C	PS(4)-VF(2)	3.8°C
Miércoles 24	24.9°C	20.3°C	PF(3)-VS(1)	1.1°C	PS(4)-VF(2)	10.7°C

Sábado 27	25.6°C	20.3°C	PF(3)- VS(1)	1.2°C	VS(1)- VF(2)	10.7°C
* Gr: gradiente						

Fuente: López A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

Otro dato obtenido de los registros, también importante para la comprensión de los comportamientos microclimáticos y la determinación de las condiciones para el confort térmico, fue la temperatura de radiación máxima, que se presentó en la estación PF(3) siendo de 49.5°C a las 14:00 h. Se observa que las temperaturas radiantes son considerablemente más altas que las temperaturas del aire registradas. En tanto que, el promedio de las temperaturas de radiación máximas fue de 42.6°C, muy por encima de lo expuesto en el capítulo 1 en el apartado de confort térmico. La estación que registró la temperatura de radiación mínima fue la pétreo expuesta al sol PF(3) con 12.5°C a las 06:00 h, y temperatura de radiación mínima promediada de 17.4°C.

La estación PS(4) mantuvo los periodos más prolongados de temperatura radiante máxima con 45% de los registros, En tanto que, fue la estación VS(1) la que mantuvo los periodos más prolongados de temperatura radiante mínima con 32% de las ocasiones, es decir, de 42 registros de Trad min, 13 se presentaron en la estación con superficie vegetal a la sombra. Otra estación en esta clasificación fue la VF(2), con 24 % de las veces.

El análisis de frecuencias determinó una coincidencia en el comportamiento microclimático de las estaciones al amanecer y al anochecer, pudiéndose observar que la estación con mayor

frecuencia de temperaturas de radiación máxima fue la PS(4), tanto al amanecer como al anochecer; y la estación con mayor frecuencia de temperaturas de radiación mínimas al amanecer fue la PF(3), siendo la VF(2) la estación con mayor frecuencia de temperaturas de radiación mínimas al anochecer (Tabla 22).

Tabla 22. Resumen de frecuencia de registros máximos y mínimos de temperatura de radiación por estación

Estación	Período	Frecuencia	
		Trad max	Trad min
VS(1)	Amanecer		
	Anocheceer		
VF(2)	Amanecer		
	Anocheceer		
PF(3)	Amanecer		
	Anocheceer		
PS(4)	Amanecer		
	Anocheceer		

Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

Segunda fase de análisis

De acuerdo al comportamiento promedio de las estaciones, y a los gradientes presentados, la estación más inestable durante el día fue la de superficie pétrea al sol PF(3) con 83% de las veces el mayor gradiente. En comparación, la estación más estable, con 67% de las veces el gradiente menor, fue la superficie pétrea a la sombra PS(4). Se advierte en la gráfica que la estación con super-

ficie vegetal es la de menor gradiente, es decir la más estable a lo largo del día; y la estación de superficie pétreo la más inestable.

**Comporamiento promedio de las estaciones CHI
Temperatura de radiación**

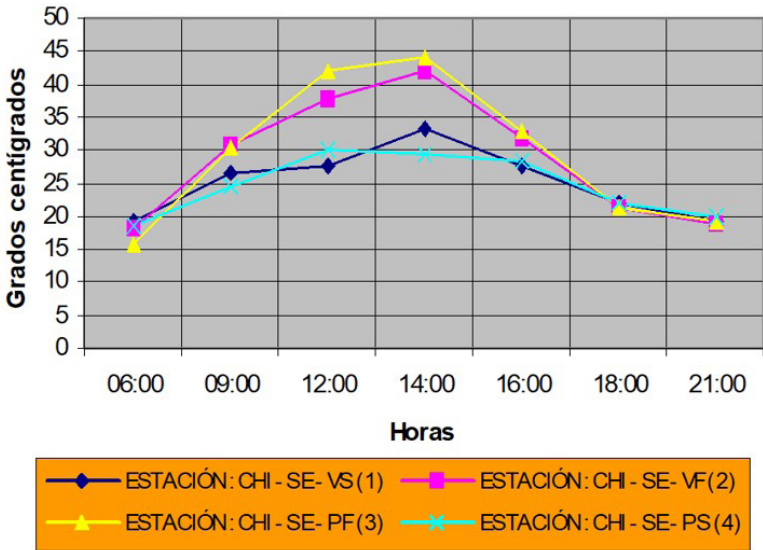


Imagen 48. Microclimas locales. Gráfica horaria de temperatura radiante promedioada por estación. Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

Parque Residencial del Norte

Primera fase de análisis

Para este parque los datos de temperatura de radiación indicaron que las temperaturas máximas se registraron alrededor de las 14:00 h con una coincidencia del 58% de los casos. En tanto que

las temperaturas mínimas de radiación se presentaron a las 06:00 h con 96% del total de los registros (Imagen 49).

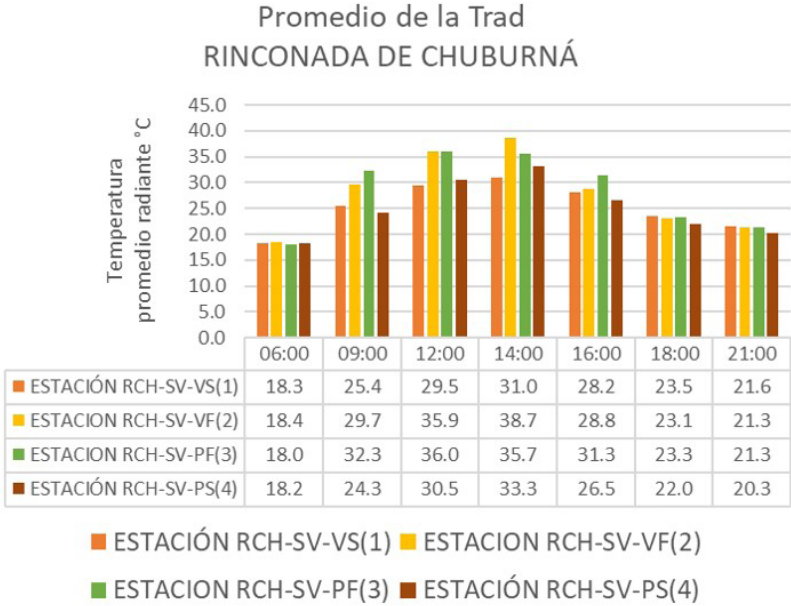


Imagen 49. Microclima local. Gráfica horaria de temperatura radiante promediada por estación. Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

El promedio de las temperaturas de radiación máximas registradas fue de 38.9°C., lo que da una diferencia de 5.9°C por arriba, con respecto al promedio de la temperatura del aire máxima registrada. En sentido opuesto, el promedio de las temperaturas de radiación mínimas registradas fue de 18.4°C, lo que representa una diferencia con el promedio de las temperaturas del aire mínimas registradas de 0.6°C. Nuevamente, para mostrar los compor-

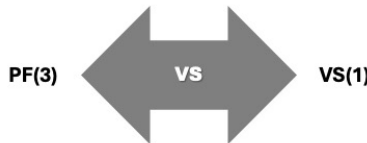
tamientos de temperatura de radiación y sus gradientes se presenta la tabla de resumen de variabilidad (Tabla 23).

Tabla 23. Resumen de variabilidad de los gradientes de temperatura de radiación, con base en las observaciones realizadas en trabajo de campos, Parque Rinconada de Chuburná

Resumen de la variabilidad en el comportamiento de la temperatura de radiación	
Variación de la Trad entre los diferentes días	83% de las veces se presentaron gradientes mayores de 8°C (seis días de cinco)
Variación de la Trad en el mismo día	83% de las veces hubo variaciones muy poco significativas
Variación de los gradientes promedio de la Trad entre estaciones	83% de las veces los gradientes oscilaron entre 0 y 8°C.
Gradientes: distancia máxima entre dos mediciones	

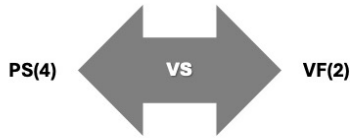
Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

En este caso también pudo observarse que los gradientes máximos se presentaron en mayor porcentaje entre la estación de superficie pétreo expuesta al sol, contra la estación de superficie vegetal a la sombra (relación de comportamiento entre estaciones dictada por los gradientes máximos y mínimos) (Tabla 24).



Gradientes máximos entre estaciones

En tanto que, los gradientes mínimos se presentaron en mayor porcentaje entre la estación de superficie pétreo a la sombra, contra la estación de superficie vegetal expuesta al sol.



Gradientes mínimos entre estaciones

Para ambos casos, las Trad máximas aparecieron en mayor porcentaje en las estaciones de superficie pétreo y las mínimas en las estaciones de superficie vegetal.

Tabla 24. Gradientes de temperatura de radiación, durante el día de la misma estación, y entre estaciones por día del parque Rinconada de Chuburná

Fecha	Gra- diente durante el día	Gradiente máximo entre estaciones		Gradiente mínimo entre estaciones		Promedio de gradientes
		Gr	Estaciones	Gr	Estaciones	
Viernes 12	6.3°C	3.9°C	VF(2)- VS(1)	0.3°C	VS(1)- VF(2)	2.1°C
Martes 16	24.7°C	15.5°C	PF(3)- VS(1)	0.5°C	PS(4)- PF(2)	8°C
Viernes 19	14.4°C	9.2°C	PF(3)- VS(1)	0.2°C	PS(4)- PF(3)	4.7°C
Martes 23	16.7°C	14.6°C	PF(3)- VF(2)	1.0°C	VS(1)- PF(3)	7.8°C
Viernes 26	23.9°C	17.8°C	PF(3)- PS(4)	0.6°C	VS(1)- VF(2)	9.2°C
Martes 30	18.7°C	11.5°C	VF(2)- VS(1)	0.08°C	PF(3)- VS(1)	5.8°C

* Gr: gradiente

Fuente: López A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

Otros datos obtenidos fueron la temperatura de radiación máxima, que se presentó en la estación VF(2) siendo de 47.9°C a las 14:00 h. Puede observarse nuevamente que las temperaturas radiantes son considerablemente más altas que las temperaturas del aire registradas. En tanto que el promedio de las temperaturas de radiación máximas fue de 39.9°C. La estación que registró la temperatura de radiación mínima fue la PF(3) con 12°C a las 06:00 h, y temperatura de radiación mínima promediada de 18°C.

En cuanto al comportamiento de la temperatura de radiación máxima por prolongación, se observa que fue la estación PF(3) con 38% de los registros, es decir de 42 registros de Trad_{max}, 16 se presentaron en la estación pétreo al sol. En tanto que fue la estación VS(1) la que mantuvo los periodos más prolongados de temperatura radiante mínima con 43% de las ocasiones; es decir, de 42 registros de Trad_{min}, 18 se presentaron en la estación con superficie vegetal a la sombra.

En resumen, la estación que con más frecuencia registró la mayor Trad al amanecer y al anochecer fue en ambos casos la PS(4). Las estaciones que con más frecuencia registraron la menor Trad al amanecer fueron la VF(2) y la PF(3); mientras que al anochecer fue la PF(3), nuevamente (Tabla 25).

Tabla 25. Resumen de frecuencias de registros máximos y mínimos de temperatura de radiación por estación

Estación	Período	Frecuencia	
		Trad max	Trad min
VS(1)	Amanecer		
	Anocheecer		
VF(2)	Amanecer		
	Anocheecer		
PF(3)	Amanecer		
	Anocheecer		
PS(4)	Amanecer		
	Anocheecer		

Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

Segunda fase de análisis

De acuerdo al comportamiento promedio de las estaciones, y los gradientes presentados, la estación más inestable durante el día fue la superficie vegetal al sol VF(2), con 67% de las veces el mayor gradiente. A la inversa, la estación más estable con 83% de las veces el gradiente menor fue la superficie vegetal a la sombra VS(1). Siendo a las 18:00 h cuando se presenta la menor variación entre estaciones (Imagen 50).

**Comportamiento promedio de las estaciones RCH
Temperatura de radiación**

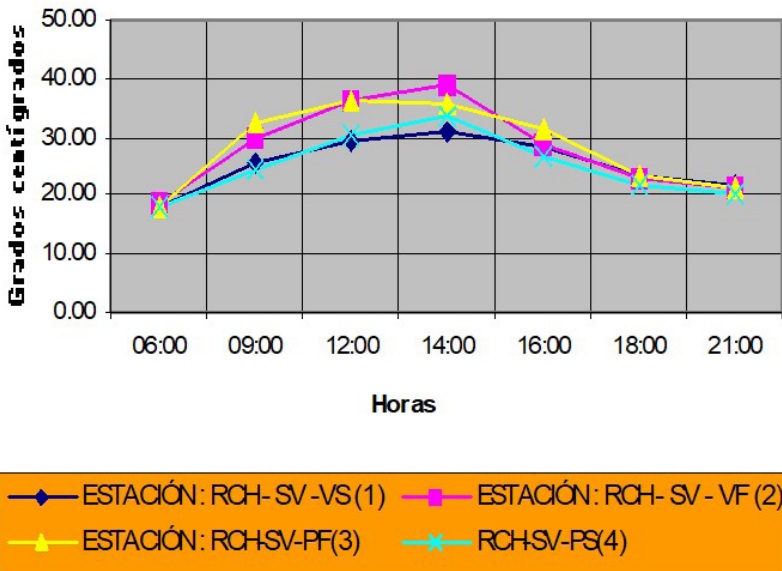


Imagen 50. Microclimas locales. Gráfica horario de temperatura radiante promediada por estación. Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

Parque Residencial del Norte

Primera fase de análisis

En este parque los datos obtenidos de temperatura de radiación indicaron que las temperaturas máximas se registraron alrededor de las 12:00 h, con una coincidencia del 42% de los casos. En tanto que las temperaturas mínimas de radiación se presentaron a las 06:00 h (Imagen 51).

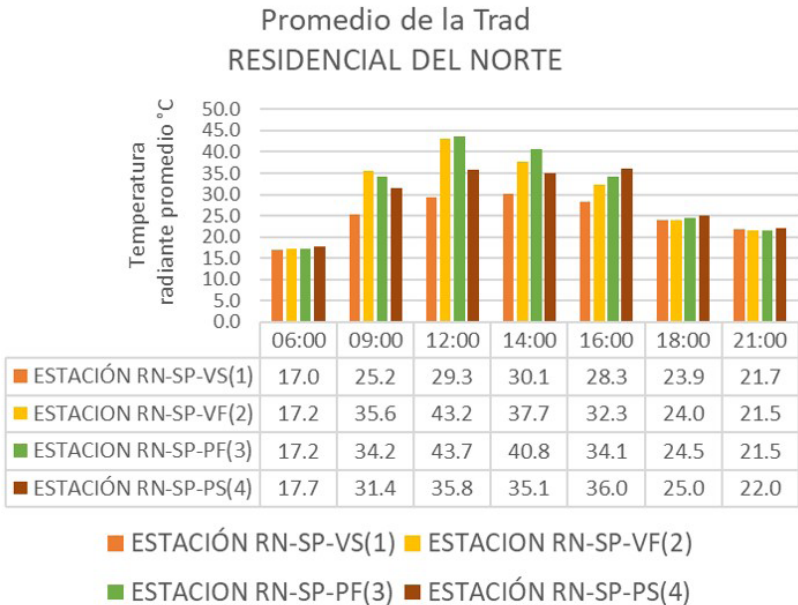


Imagen 51. Microclima local. Gráfica horario de temperatura radiante promediada por estación. Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

El promedio de las temperaturas de radiación máximas registradas fue de 39°C, lo que da una diferencia de 8°C por arriba con respecto al promedio de la temperatura del aire máxima registrada. En sentido opuesto, el promedio de las temperaturas de radiación mínimas registradas fue de 17.1°C, lo que representa una diferencia con el promedio de las temperaturas del aire mínimas registradas de 0.7°C. Se muestran los comportamientos de temperatura de radiación y sus gradientes en la tabla de resumen de la variabilidad (Tabla 26).

Tabla 26. Resumen de la variabilidad de gradientes de temperatura de radiación, con base en las observaciones realizadas en trabajo de campo, parque Residencial del Norte

Resumen de la variabilidad en el comportamiento de la temperatura de radiación	
Variación de la Trad entre los diferentes días	100% de las veces se presentaron gradientes mayores de 12°C (seis días de seis)
Variación de la Trad en el mismo día	83% de las veces hubo variaciones muy poco significativas
Variación de los gradientes promedio de la Trad entre estaciones	83% de las veces los gradientes oscilaron entre 0 y 9.5°C.
Gradientes: distancia máxima entre dos mediciones	

Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

Los gradientes máximos se presentaron en mayor porcentaje entre la estación de superficie pétrea expuesta al sol, contra la estación de superficie vegetal a la sombra.



En tanto que, los gradientes mínimos, se presentaron en mayor porcentaje entre la estación de superficie pétrea a la sombra, contra la estación de superficie vegetal expuesta al sol.



Para ambos casos, las Trad máximas se presentaron en mayor porcentaje en las estaciones de superficie pétreo y las mínimas en las estaciones de superficie vegetal. Nuevamente puede observarse que los comportamientos microclimáticos se verán afectados por las variables físicas (Tabla 27).

Tablas 27. Gradientes de temperatura de radiación, durante el día en la misma estación y entre estaciones por día del parque Residencial del Norte

Fecha	Gradiente durante el día	Gradiente máximo entre estaciones		Gradiente mínimo entre estaciones		Promedio de gradientes
		Gr	Estaciones	Gr	Estaciones	
Jueves 11	26.5°C	16.6°C	VF(2)-VS(1)	0.6°C	VS(1)-VF(2)	8.6°C
Domingo 14	23.4°C	19.1°C	PF(3)-VS(1)	0.4°C	VS(1)-PF(3)	9.8°C
Jueves 18	25.3°C	14.1°C	PF(3)-VS(1)	0.1°C	PF(3)-VF(2)	7.1°C
Domingo 21	14.2°C	14°C	VF(2)-VS(1)	0.9°C	PF(3)-VF(2)	7.4°C
Jueves 25	25.5°C	17.5°C	PF(3)-VS(1)	0.8°C	VS(1)-VF(2)	9.1°C
Lunes 29	25°C	13.5°C	PF(3)-VS(1)	0.1°C	PF(3)-VF(2)	6.8°C
* Gr: gradiente						

Fuente: López A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

La temperatura de radiación máxima se presentó en la estación PF(3) siendo de 49°C a las 12:00 h, y el promedio de las temperaturas de radiación máximas fue de 44.2°C. La estación que registró

la temperatura de radiación mínima fue la VF(2) con 12.4°C a las 06:00 h, y temperatura de radiación mínima promediada de 17°C.

En cuanto al comportamiento de la temperatura de radiación máxima por prolongación de horario, fue la estación PS(4) con 36% de los registros; es decir, de 42 registros de Trad_{max}, 15 se presentaron en la estación pétreo a la sombra. En tanto que fue la estación VS(1) la que mantuvo los periodos más prolongados de temperatura radiante mínima con 62% de las ocasiones, es decir, de 42 registros de Trad_{min}, 26 se presentaron en la estación con superficie vegetal a la sombra.

La estación que con más frecuencia registró la mayor Trad al amanecer y al anochecer fue en ambos casos la PS(4). La estación que con más frecuencia registró la menor Trad al amanecer y al anochecer fue la VF(2) (Tabla 28).

Tabla 28. Frecuencias de registros máximos y mínimos de temperatura de radiación por estación

Estación	Período	Frecuencia	
		%HR max	%HR min
VS(1)	Amanecer		
	Anochecer		
VF(2)	Amanecer		
	Anochecer		
PF(3)	Amanecer		
	Anochecer		
PS(4)	Amanecer		
	Anochecer		

Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

Segunda fase de análisis

De acuerdo al comportamiento promedio y a los gradientes, la estación más inestable durante el día fue la de superficie pétrea al sol PF(3) con 83% de las veces el mayor gradiente. En comparación, la estación más estable con 100% de las veces el gradiente menor fue la superficie pétrea a la sombra VS(1). En la gráfica se observa que la estación con superficie vegetal es la de menor gradiente, es decir, la más estable a lo largo del día; y la estación de superficie pétrea la más inestable. La diferencia mayor se presentó entre las 12:00 y 14:00 h, y la menor variación fue a las 18:00 h. (Imagen 52).

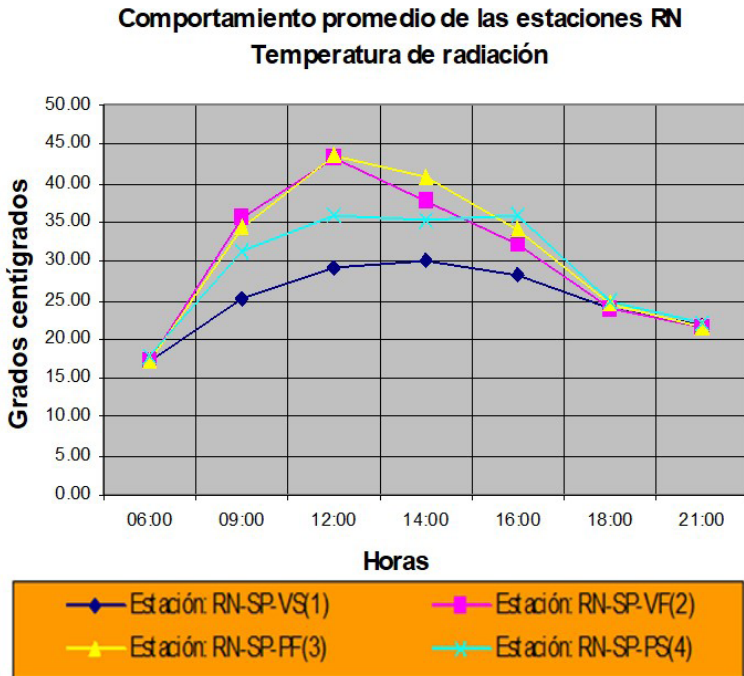


Imagen 52. Microclimas locales. Gráfica horaria de temperatura radiante promedioada por estación. Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

De acuerdo a los comportamientos presentados hasta aquí parque por parque, se observaron los siguientes patrones de comportamiento:

- En todos los parques, los gradientes máximos se dieron entre las estaciones de superficie pétreas expuestas al sol, contra la estación de superficie vegetal a la sombra. Y los gradientes mínimos se presentaron en mayor porcentaje entre la estación de superficie pétreas a la sombra, contra la estación de superficie vegetal expuesta al sol.
- El parque más estable, con menores gradientes durante el día, fue Rinconada de Chuburná; recordemos que este lugar está clasificado como equilibrado entre su superficie vegetal y pétreas. El menos estable a lo largo del día coincidió con el que presenta un desequilibrio en la materialidad y se compone de mayor superficie pétreas que vegetal.
- Los tres parques coinciden en que los registros de máximas temperaturas de radiación se localizaron en la estación pétreas a la sombra, y los mínimos en las estaciones vegetales al sol.

Hasta aquí se ha mostrado la forma de organizar la información recabada en campo, y su análisis para el logro de los objetivos propios de la investigación y del capítulo. Pudieron constatarse los primeros comportamientos microclimáticos, en relación a la composición del espacio. Para evitar ser extenuantes en los análisis, se procede a presentar el análisis del confort térmico.

2.4.4. Determinación de la zona de confort térmico

El análisis para determinar la zona de confort se hizo sobre la carta bioclimática de Olgay; la carta fue ajustada para la latitud de Mérida Yucatán, obteniéndose como rangos de confort, la temperatura mínima de 22°C y la temperatura máxima de 29.5°C. Los rangos de humedad para la zona de estudio fueron establecidos entre 20 y 75%. Recordemos que para hacer uso de la carta bioclimática de Olgay, debe hacerse la corrección de latitud (Imagen 53).

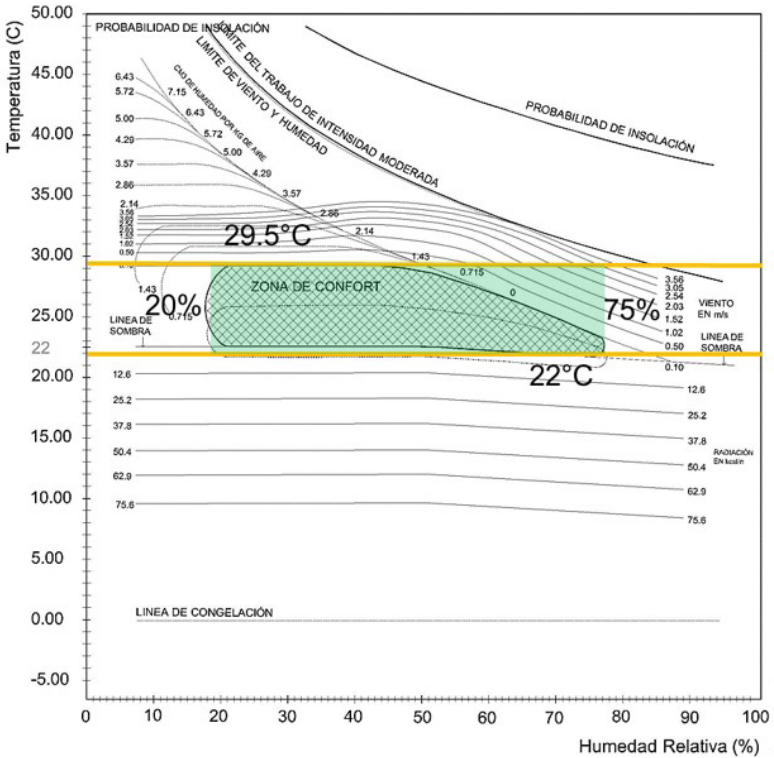


Imagen 53. Carta bioclimática de Olgay, ajustada para Mérida, Yucatán. Fuente: López, A.

A partir de tales rangos, se vaciaron los datos sobre las cartas para determinar las ocasiones en que cada estación se encontraba en zona de confort. También se hizo el desglose de los comportamientos de temperatura y de humedad de manera independiente, con el fin de detectar la variable de mayor incidencia en la zona de confort.

Para abreviar, se presenta el resumen de los datos por cada parque en tablas (Tablas 29a, 29b, 29c).

Tabla 29a. Resultados para zona de confort según las cartas bioclimáticas de Olgyay, parque Chuburná Inn

Resumen por estación del análisis de datos para determinar la zona de confort térmico en la carta bioclimática de Olgyay					
		VS(1)	VF(2)	PF(3)	PS(4)
	Porcentaje de veces en zona de confort	36%	38%	38%	38%
	Cantidad de veces en zona de confort	15 de 32	17 de 42	16 de 42	16 de 42
Registros de temperatura	Cantidad de registros entre 22 y 29.5°C	17	17	17	17
	Cantidad de registros debajo de 22°C	23	23	23	23
	Cantidad de registros arriba de 29.5°C	2	2	2	2
Registros de humedad relativa	Cantidad de registros entre 20 y 75%	27	26	30	32
	Cantidad de registros debajo de 20%	0	0	0	0
	Cantidad de registros arriba de 75%	15	16	12	10

ESTUDIO DEL AMBIENTE TÉRMICO



Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

Tabla 29b. Resultados para zona de confort según las cartas bioclimáticas de Olgyay, parque Rinconada de Chuburná

Resumen por estación del análisis de datos para determinar la zona de confort térmico en la carta bioclimática de Olgyay					
		VS(1)	VF(2)	PF(3)	PS(4)
	Porcentaje de veces en zona de confort	24%	26%	26%	24%
	Cantidad de veces en zona de confort	10 de 42	11 de 42	11 de 42	10 de 42
Registros de temperatura	Cantidad de registros entre 22 y 29.5°C	13	13	13	13
	Cantidad de registros debajo de 22°C	20	20	20	20
	Cantidad de registros arriba de 29.5°C	9	9	9	9
Registros de humedad relativa	Cantidad de registros entre 20 y 75%	23	24	25	24
	Cantidad de registros debajo de 20%	0	0	0	1
	Cantidad de registros arriba de 75%	19	18	17	19

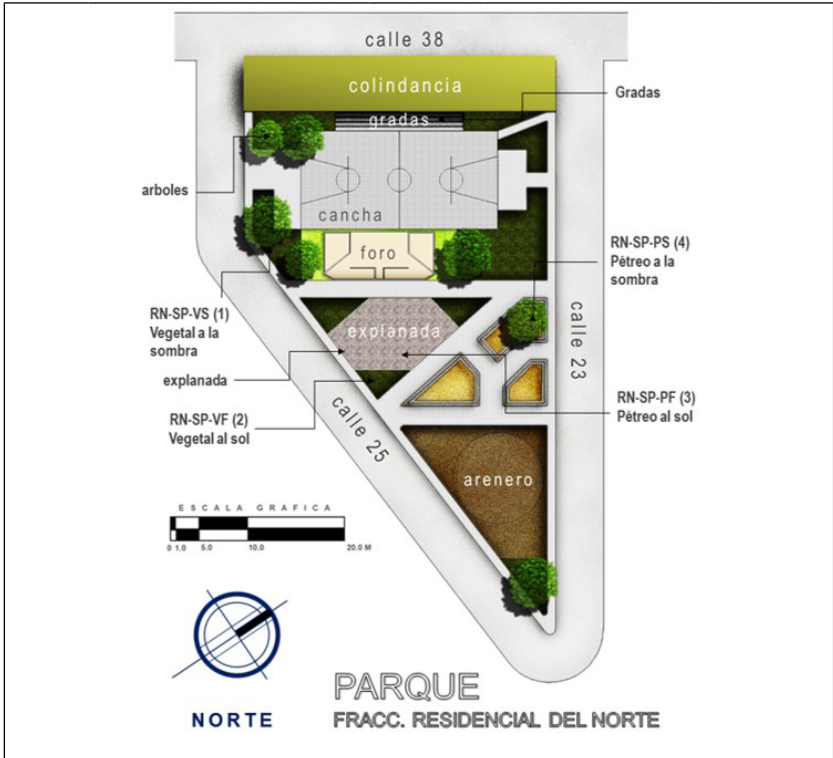
ESTUDIO DEL AMBIENTE TÉRMICO



Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

Tabla 29c. Resultados para zona de confort según las cartas bioclimáticas de Olgay, parque Residencial del Norte

Resumen por estación del análisis de datos para determinar la zona de confort térmico en la carta bioclimática de Olgay					
		VS(1)	VF(2)	PF(3)	PS(4)
	Porcentaje de veces en zona de confort	31%	40%	45%	43%
	Cantidad de veces en zona de confort	13 de 42	17 de 42	19 de 42	18 de 42
Registros de temperatura	Cantidad de registros entre 22 y 29.5°C	20	20	20	20
	Cantidad de registros debajo de 22°C	15	15	15	15
	Cantidad de registros arriba de 29.5°C	7	7	7	7
Registros de humedad relativa	Cantidad de registros entre 20 y 75%	27	30	31	31
	Cantidad de registros debajo de 20%	0	0	0	0
	Cantidad de registros arriba de 75%	15	12	11	11



Fuente: López, A., trabajo de campo. Mérida, Yucatán.

Los resultados muestran el bajo índice de ocasiones en que los espacios se encontraron en los límites de la zona de confort térmico (ZCT). Ninguna estación obtuvo más del 50% de veces en la zona. De manera general, el parque Chuburná Inn estuvo 38% de las veces en la ZCT, el parque Rinconada de Chuburná solamente se encontró el 25% de las ocasiones y, por último, el parque Residencial del Norte, estuvo 39% de las veces.

2.4.5. Análisis de la temperatura radiante media

Anteriormente se expuso que, a partir de la Trad, se harían dos planteamientos hipotéticos sobre su influencia en la sensación de confort.

El primero consistió en determinar la TRM según la fórmula de Beiling para calcular su efecto de 40% mayor que la Ta en la percepción humana, según ASHRAE. Para ello se utilizó la fórmula:

$$TRM = TG + 0.24 \times \text{raíz } V (TG - TS)$$

En donde:

TRM = Temperatura radiante media

TG = Temperatura de globo o de radiación (Trad)

V = Velocidad del viento en metros / segundo

TS = Temperatura de bulbo seco o de aire (Ta)

Con los registros de Trad y Ta se procedió al cálculo de la TRM. Esta fue más elevada que la TG (temperatura de globo o temperatura de radiación). Lo que indica la existencia de mayor intercambio de calor del medio con el ser humano; por ejemplo, si la Ta es de 28°C, y la Trad de 33°C con viento de 33m/s, no serían únicamente 28°C los que el cuerpo intercambiaría con el medio, sino 34.2°C, por lo que las tensiones en los procesos de termorregulación serán más negativas.

Para el parque Chuburná Inn se corroboró que:

- La TRM fue más elevada cuanto más elevadas fueron la TG y la TS.

- Que la diferencia entre TG y TS junto con la velocidad del viento son determinantes en la TRM. Con viento y una significativa diferencia entre TG y TS, la TRM resulta mayor, pero sin viento la TG es igual a la TRM.
- La estación con mayor TRM fue la de superficie pétreo al sol, en tanto que la de menor TRM fue la superficie vegetal a la sombra.

El gradiente entre las estaciones al amanecer y al anochecer fue casi nulo, mientras que a las 14:00 h se obtuvieron los gradientes mayores; siendo de 18°C entre la PS(4) y la PF(3) en el parque Chuburná Inn; de 10°C entre la VS(1) y VF(2) en el parque Rinconada de Chuburná; y de 14°C entre la PS(4) y PF(3) en el parque Residencial del Norte.

En cuanto al cálculo de la afectación de la TRM en el confort térmico, de acuerdo al primer planteamiento hipotético se determinó el porcentaje de ocasiones que las estaciones de cada parque estuvieron en los rangos del confort, quedando como se muestra en la tabla de resumen por estación de la ZCT (Tabla 30).

Tabla 30. Resumen por estación de la ZCT con base en cálculos de ASHRAE

Resumen por estación de la ZCT y su afectación por la TRM				
Parque	*Porcentaje de ocasiones en que se encuentran las condiciones en la ZCT			
	VS(1)	VF(2)	PF(3)	PS(4)
Chuburná Inn	24%	5%	7%	29%
Rinconada de Chuburná	26%	17%	14%	21%
Residencial del Norte	24%	7%	10%	5%
*Calculado con base en ASHRAE				

Fuente: López, A., 2018.

Puede advertirse con facilidad la cantidad de veces que se presentó la zona de confort de acuerdo a lo expuesto en la carta bioclimática de Olgyay, en comparación con lo propuesto por ASHRAE.

Para el segundo planteamiento hipotético sobre la influencia de la Trad en la sensación de confort, como resultado de los intercambios térmicos, se sometieron las lecturas obtenidas del termómetro de globo a la gráfica para el cálculo directo de la zona de confort de Yaglou y Miller, en donde la TG se sustituye por TS o Ta. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla de resumen por estación de la ZCT (Tabla 31).

Tabla 31. Resumen por estación de la ZCT con base en la propuesta de Yaglou y Miller

Resumen por estación de la ZCT y sustituyendo Ta por TG				
Parque	*Porcentaje de ocasiones en que se encuentran las condiciones en la ZCT			
	VS(1)	VF(2)	PF(3)	PS(4)
Chuburná Inn	33%	10%	10%	36%
Rinconada de Chuburná	17%	12%	21%	21%
Residencial del Norte	29%	12%	17%	12%

*Calculado con base en la propuesta de Yanglou y Miller

Fuente: López, A.

Para este planteamiento, las condiciones se encontraron mayor número de veces en la zona de confort en comparación con la propuesta del incremento de 40% de afectación en la ZCT según ASHRAE, pero, permanece en menor número de ocasiones en comparación con el método de Olgyay.

En este punto, el investigador debe considerar cuál planteamiento sería el más adecuado.

2.5. Síntesis de los resultados

Posterior a los análisis de datos, la tabulación y la presentación de gráficas, debe realizarse la síntesis de los resultados. Esto es un resumen de los fenómenos identificados con base en las premisas o marcos teóricos.

Se observaron constantes claramente definidas en los comportamientos máximos y mínimos de temperatura de radiación y de humedad relativa.

En el caso de la Trad, las temperaturas máximas de los tres parques correspondieron a las estaciones de superficie pétreo al sol; y las temperaturas mínimas se registraron de los tres parques en las estaciones de superficie vegetal a la sombra.

La insolación y propiedades térmicas del espacio fueron condicionantes de la tipificación de las Trad máximas y mínimas, sin embargo, se encontró que tuvo mayor influencia la radiación de onda larga que la radiación de onda corta en el ambiente, ya que las estaciones de superficies con propiedades térmicas de bajo albedo, de alta absorción, y emisividad (propias de los materiales pétreos), indistintamente, expuestas al sol o en sombra, registraron rangos más altos de temperatura que las estaciones con superficie vegetal en condiciones de exposición similares.

Teóricamente se explica por qué las propiedades térmicas de los materiales son las condicionantes para que se susciten flujos de energía con tensiones negativas, puesto que es a través de las ondas largas infrarrojas que se efectúan los intercambios energéticos, independientemente del color del material en el que inciden, y sí en dependencia de la densidad y composición molecular del mismo, además del factor de radiación; por lo que, en presencia de radiación solar directa y materiales de bajo albedo, alta absorción y emisividad, el flujo resultante se verá en un incremento de la temperatura radiante.

También se presentó como constante una menor temperatura de radiación en las estaciones de superficie vegetal a la sombra, esto se explica porque los materiales con altos índices de humedad, es decir, higroscópicos, y capaces de evaporarla, tienen también la capacidad de disminuir las temperaturas de superficie, así como los flujos de energía causantes de elevadas temperaturas de radiación.

De hecho, la relación entre la temperatura y la humedad debe ser considerada en su factibilidad de manipulación en el diseño de espacios y las nuevas normatividades, pues demasiada humedad no será favorable para el logro del confort, como se vio en el análisis de las cartas bioclimáticas de Olgyay. Debe recordarse que la sustitución de suelos permeables y vegetales por materiales pétreos no permeables, modifica los ciclos hídricos y de calor en el clima urbano, agudizando el fenómeno de isla de calor, con todas sus repercusiones ambientales, sociales y económicas.

2.6. Estrategias para el caso de estudio

Todo análisis debe conducir a reflexiones sobre el estado del arte con la intención de que el conocimiento generado conduzca a la mejora del hábitat.

Por los resultados obtenidos y las consideraciones teóricas derivadas de estos, se considera pertinente, al respecto del asolea-

miento en los parques, tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Que las bancas, los arriates y, en general, el mobiliario para el descanso, esté en sombra con el fin de disminuir la incidencia solar.

2. Las canchas tienen una orientación reglamentaria, pero los árboles alrededor pueden modificarse para lograr mejores condiciones, reduciendo los flujos de radiación y cuidando no bloquear el viento.

3. En los estacionamientos, la orientación es primordial. Con árboles dispuestos en uno solo de sus lados puede lograrse un alto nivel de sombra, el sur y el oeste son las ubicaciones más adecuadas para su colocación.

4. En áreas como los juegos infantiles, una sombra vegetal las mantendrá en mejores condiciones para su uso durante el día (Imagen 54a y 54b). Estas áreas tienen muchas ventajas, como la textura del material de superficie, el diseño lúdico, el color de alta reflectividad; sin embargo, los horarios de uso de estas áreas hacen necesaria la protección de los rayos solares, ya que los niños suelen usar los juegos desde el momento que salen de la escuela pasado el mediodía, cuando la radiación es muy alta. Los fines de semana, incluso, el espacio se ocupa durante todo el día, por lo que implementar árboles dentro o alrededor de la zona de juegos es factible e incluso útil como parte del juego.



Imagen 54a y 54b. Áreas funcionales de los parques en prolongadas horas de asoleamiento. Fuente: López, A. Mérida, Yucatán.

Las observaciones sobre la continuidad de los materiales en los parques analizados, conducen a las siguientes recomendaciones:

5. Es preferible que las canchas estén separadas de otras áreas que requieren de materiales pétreos para evitar los puentes térmicos. Los espacios deberán estar convenientemente intercalados con áreas de vegetación.

6. Las áreas verdes son la base física principal de los parques, aunque en los últimos años se han convertido en espacios subutilizados, no debe soslayarse su importancia ambiental. Con el fin de aprovechar las condiciones microclimáticas que generan las áreas verdes, lo recomendable es el equipamiento con mobiliario para el descanso, de manera que no solo los niños ocupen las áreas de juego, sino que la gente adulta tenga opción de descanso en áreas sombreadas, más confortables térmicamente y cómodas.

7. Si bien la vegetación refresca el aire, en el clima estudiado la aportación de humedad puede resultar excesiva, al grado de crear

malestar, por lo que el espesor, tamaño y tipo de hojas, debe manejarse con cuidado. Existen estudios de las características, usos y necesidades de la vegetación para la planeación urbana, que deben ser tomados en cuenta para no provocar exceso de humedad, cuidando en todo momento la conjugación del diseño de vegetación con el aprovechamiento de los vientos.

8. Por las actividades de esfuerzo intenso que se realizan en las canchas, se recomienda conducir los vientos hacia éstas, por medio del acomodo de árboles y setos que amortigüen las tensiones de calor por radiación, y contribuyen a la pérdida de calor por convección.

Las consideraciones sobre propiedades térmicas pueden extenderse a gran parte de los parques en Mérida, por lo que se sugiere lo siguiente:

9. Los andadores son susceptibles de construirse con materiales vegetales y no sólo pétreos, lo que disminuiría el calentamiento por absorción, y alentaría la restitución nocturna; o podría combinarse con materiales pétreos más porosos que el concreto, de manera que la absorción de calor disminuya y el enfriamiento del material sea más eficiente.

10. Para las bancas y arriates, es preciso cuidar y seleccionar los coeficientes de transmisión y retardo térmico de los materiales, de manera que sus propiedades térmicas permitan un rápido enfriamiento o un bajo calentamiento por absorción de la radiación de onda larga. Se debe permitir el enfriamiento rápido de las superficies para utilizarlas cómodamente por las tardes y noches.

11. Un sistema pasivo de enfriamiento que puede ser utilizado en los estacionamientos, tomado de la clasificación de Givoni, es el de enfriamiento del subsuelo, que consiste en emplear materiales que permitan la absorción de agua, los cuales funcionan en climas húmedos y con cielo nublado, siempre y cuando se cuiden las propiedades térmicas de los materiales.

12. Las canchas, por su horario de uso, pudieran con su color, reflejar la radiación y no almacenar calor, de tal forma que, por las tardes y noches, (hora de mayor uso de las canchas), no emitan calor. El hormigón tiene un albedo factor 3, un factor de emisión casi 9 y un factor de absorción 5; en tanto que la pintura blanca tiene un albedo de 8, un factor de emisión 9 y un factor de absorción 2, y se ubica en el cuadrante de los materiales selectivos fríos por lo que la selección del color adecuado de los materiales resultaría en mejores condiciones microclimáticas.

13. El diseño de los estacionamientos debe proyectarse considerando su afectación a las áreas alrededor, pueden funcionar como espejos que reflejan la radiación y elevan la temperatura de las casas alrededor y las banquetas, por lo que se recomienda usar materiales más porosos y claros, en vez del asfalto. Además de que ello permitirá la permeabilidad al subsuelo, un calentamiento menor y un enfriamiento más rápido.

Las recomendaciones pertinentes para la restitución del calor son las siguientes:

14. Con respecto al uso de vegetación para provocar sombra, deberá cuidarse que las especies de árboles sean resistentes

al clima, al uso, que sus copas permitan la restitución nocturna, disminuyan la temperatura del aire y eviten albergar vectores de fauna nociva como moscos.

15. Para los espacios diseñados con superficies de concreto, es recomendable el empleo de sistemas pasivos de enfriamiento por convección nocturna, con la condición que, para su efectividad, se requieren vientos que puedan ser encauzados y elevar su velocidad, lo que se logra con la disposición adecuada de la vegetación en relación a los vientos dominantes del lugar. Otro sistema que puede considerarse es el enfriamiento pasivo por radiación nocturna de onda larga, para lo que se requiere de noches despejadas.

Conclusiones

Sobre los aspectos teóricos del bioclimatismo en espacios abiertos y las observaciones realizadas en la investigación de ejemplo es pertinente hacer las siguientes consideraciones en la intervención de los parques y espacios abiertos en general.

Para cualquier propuesta de diseño debe tenerse en cuenta, además de los parámetros climáticos, las actividades, así como los usos y costumbres que se ejercen en cada espacio.

Cada espacio de la ciudad, sea plaza, calle, o parque, de acuerdo con sus características físicas y su relación con el entorno, constituirá un *microclima*, por lo que, el inicio de implementación de estrategias específicas para el confort térmico, debe hacerse desde el emplazamiento del propio espacio a nivel urbano.

La concepción de los espacios como un “volante regulador” según palabras de Tudela (1982), además de servir para sus objetivos originales, servirá a las zonas aledañas como un atenuante de las condiciones climáticas, evitando convertirse en un generador de más calor en la ciudad, por lo que su disposición deberá pensarse en función de un todo bioclimático, y no solo como requisito numérico de los lineamientos y reglamentos de construcción. Particularmente para el clima cálido húmedo y subhúmedo, esta concepción debe incluirse en la planeación de la ciudad, de tal forma que el diseño urbano favorezca la orientación para el asoleamiento y la canalización de los vientos, buscando el arrastre de aire fresco que beneficie a las zonas inmediatas al espacio abierto.

Cuatro aspectos son importantes a observar como estrategias aplicables al diseño de espacios exteriores.

- a) Asoleamiento
- b) Continuidad de los materiales
- c) Propiedades térmicas de los materiales
- d) Restitución de calor

a) Asoleamiento

Debido a las condiciones de la región estudiada, las ganancias de calor en el intercambio térmico del hombre con el medio ocurren la mayor parte del año, debiendo evitarse al máximo las ganancias por radiación solar, echando mano del adecuado diseño de cada área funcional y considerando sus necesidades de equipamiento, tipo de actividad que se realiza y horarios de uso.

Deberá cuidarse la planeación de la vegetación que proporciona sombra a lo largo del año para cada área. La predeterminación del recorrido del sol y la proyección de sombra son benéficas para las condiciones microclimáticas de los espacios abiertos. Será conveniente realizar estudios y propuestas diferenciadas por temporada, considerar el tiempo de crecimiento, el tamaño y estructura de las copas, la caducidad y las dimensiones adultas. Esto puede realizarse fácilmente con el apoyo de paquetes de programación que muestran el recorrido de las sombras de un objeto para cada día del año y hora en una latitud determinada.

El uso y adecuada orientación de árboles alrededor de las áreas pavimentadas disminuirá los flujos de radiación solar, y serán favorecidas con la proyección de sombra, pero, en todo caso, se cuidará de no bloquear el viento. No solo se observará la orientación de los árboles, sino la de las propias áreas funcionales, de manera que la plantación de especies vegetales debe hacerse en zonas altamente benéficas atendiendo la integralidad del diseño.

Para cada área y, primordialmente para las superficies de materiales pétreos, será conveniente estudiar el coeficiente de asoleamiento, pues no todas son afectadas de igual manera. Este factor influye en la cantidad de calor recibido por el sol, y su estudio permite determinar la sombra requerida para cada lugar, de acuerdo al horario de uso y actividades que en ellos se realizan, de manera que, además de preverse la sombra, puedan controlarse los flujos de energía tensionantes.

Las observaciones sobre el excesivo asoleamiento al que se exponen las áreas funcionales, son afines a la mayoría de los parques en los emplazamientos urbanos y fraccionamientos construidos en las últimas décadas, lo que hace suponer que el diseño se hace de manera improvisada, sin atender las funciones propias de este tipo de espacios.

b) Continuidad de los materiales

Uno de los factores que afecta desfavorablemente los microclimas es la distribución y dosificación de sus diferentes espacios y materiales de construcción, por lo que debe tenerse en cuenta la integralidad del diseño, el uso del espacio y las necesidades

que satisface. A pesar de las tensiones o excesiva radiación que las superficies artificiales y pétreas pueden generar, no debe recurrirse al uso exclusivo de vegetación, por lo que resulta conveniente distribuir e intercalar las áreas de diversas propiedades térmicas para lograr el más favorable equilibrio microclimático local, pues, conforme a lo observado en las investigaciones, se alcanzan mejores condiciones de estabilidad microclimática y bajas tensiones cuando las superficies pétreas están a la sombra o, inclusive cuando las superficies vegetales están expuestas al sol, que cuando las superficies pétreas están expuestas al sol.

Una estrategia recomendable para evitar excesivos calentamientos del espacio abierto y equilibrar los flujos de energía es prescindir de la continuidad de los materiales, pues al haber explanadas en forma continua con superficies pétreas, se generan planchas de calor más grandes. Esto puede resolverse intercalando las áreas que requieran de superficies pétreas entre áreas vegetales y, mejor aún, con árboles que den sombra.

c) Propiedades térmicas de los materiales

Para el diseño del espacio abierto en un ambiente óptimo para el desarrollo de actividades, deberá considerarse el cuidado de materiales a utilizar, así como la selección de superficies selectivas frías, sobre todo porque se observó, durante las investigaciones, que las áreas más utilizadas son las construidas con materiales pétreos.

Los materiales de las diferentes zonas de los parques, como arena, concreto gris, asfalto y adocretos, corresponden al cuadrante

de cuerpos negros de la tabla de albedos presentada en el capítulo 1, mismo que poseen, la capacidad de emitir toda la radiación que absorben. De ahí que se recomiende considerar los coeficientes de transmisión y retardo térmico de los materiales, de manera que permitan un rápido enfriamiento o un bajo calentamiento por absorción de la radiación de onda larga, porque, aunque los elementos y superficies estén en sombra, son proclives a calentarse como resultado de los flujos energéticos por radiación.

El color es otro determinante para la cantidad de energía reflejada o absorbida por los materiales, considerando que el uso de tonos claros derivará en una mayor reflexión y menor absorción, en consecuencia resultará en una menor emisión de calor durante la tarde y la noche.

d) Restitución de calor

El conocimiento, la difusión y utilización de sistemas pasivos de enfriamiento es deseable para tener mejor control en las ganancias de calor y lograr una pérdida eficiente DE éste hacia el espacio, habiéndose observado que la pérdida de calor durante la noche se logró en las áreas que no tenían obstáculo alguno, lo que derivó en mayor acercamiento a la zona de confort, condición que puede ser utilizada para las áreas que tiene mayor utilización en horarios nocturnos.

Los árboles serán, en todo caso, los elementos principales para la viabilidad u obstrucción de la restitución nocturna; de tal forma que debe planearse su inserción en el espacio considerando sus hojas, forma de las copas, frondosidad y caducidad. Un árbol de

hojas pequeñas, copa abierta y poco frondoso hará posible una mejor restitución, en tanto que un árbol muy frondoso, de hojas grandes y copa cerrada, la obstruirá. Deberá someterse a juicio del diseñador o investigador con base en el uso específico del área, si la colocación de árboles y su ubicación, tendrá mejores resultados microclimáticos que si se prescinde de ellos para lograr la restitución nocturna, pero en ningún caso sería conveniente tomar una única decisión para toda la zona del espacio abierto. Estratégicamente, puede realizarse el diseño de la vegetación de manera que proyecte sombra en las áreas pétreas durante los horarios de uso, para que, en la noche, al no estar cubiertas dichas áreas, pueda llevarse a cabo de manera eficiente, la restitución del calor hacia la atmósfera.

Por último, no debe olvidarse que los espacios abiertos son resultado de las construcciones física, legislativa, normativa y social, por lo que no puede planearse desde una sola perspectiva disciplinar.

Referencias

- Alemaný, Alba, et. Al. (1986). Climatología, iluminación y acústica. Aplicación en la arquitectura. La Habana, Cuba: Edición del Departamento de Edición del ISPJAE.
- Bachelard, G. (1978). La formación del espíritu científico. México: Siglo XXI.
- Baldera, R. (1986). Procedimientos simplificados de proyecciones solares. México: UAP.
- Banham, R. (2012). La arquitectura del entorno bien climatizado. Buenos Aires: Infinito.
- Bardou , P. & Arzoumanian, V. (1984). Sol y arquitectura. 3ª edición. Barcelona, España: GG.
- Bazant, J. (2013). Manual de diseño urbano. 7ª edición. México: Trillas.
- Becerril, S. (1987). Del sol a la arquitectura. México: GG.
- Bejarano, M. (2002). Islas de calor Madrid. pág. 775-788. Estudios geográficos, LXIII, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc). Obtenido de <http://estudios-geograficos.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeograficos/article/viewFile/248247>
- Brown, G. (1994). , luz, viento. Estrategias para el diseño arquitectónico. México: Trillas.
- Butti, K., & Perlin, J. (1980). Un hilo dorado. Madrid, España: Hermann Blume.

- Canto, R. (1997). *Arquitectura bioclimática para Yucatán. Principios generales y asealamiento*. Yucatán: UADY.
- Castejón, E. (1983). *NTP 74: Confort térmico - Método de Fanger para su evaluación*. Barcelona, España: Centro de investigación y asistencia térmica.
- Comparán, L., & Germán, A. (1990). Diseño de espacios abiertos y su conformación microclimática, en regiones climáticas árido-secas. II REUNIÓN NACIONAL SOBRE LA ENERGÍA Y EL CONFORT, pág. 186-189. Mexicali, Baja California, México: Universidad Autónoma de Baja California.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (12 de diciembre de 2015). *Paris_agreement_spanish.pdf*. Acuerdo de París. Recuperado el 10 de julio de 2017, de <http://www.cop21.org>
- Cornoldi, A., & Los, S. (1982). *Hábitat y energía*. GG.
- De Hoyos, G. (1985). *Arquitectura bioclimática energía solar*. Azcapotzalco, México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Deffis Caso, A. (1989). *Arquitectura ecológica tropical*. México: Concepto.
- Deffis Caso, A. (1989). *La casa ecológica autosuficiente. Cálido y tropical*. México: Concepto.
- Deffis Caso, A. (1989). *La casa ecológica tropical*. México: Concepto.
- Fernández, A. (1994). *Importancia de la eficiencia energética en el diseño urbano*. Memorias de XVIII REUNIÓN NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR. México.

- García, J. (1995). Viento y arquitectura. pág. 196. México: Trillas.
- García, J., & Fuentes, V. (1995). Viento y arquitectura. El viento como factor de diseño bioclimático. México: Trillas.
- García, A., Chico, P., & Orellana, R. (1999). El Atlas de procesos territoriales de Yucatán, México. Yucatán, México: Facultad de Arquitectura, Universidad de Yucatán.
- García, C. (1997). Tesis de maestría. Calidad de vida en la vivienda de interés social Mérida. Mérida, Yucatán, México: Universidad Autónoma De Yucatán.
- García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Kopen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). México: UNAM.
- García, J. (1996). Diseño bioclimático para ahorro de energía y confort ambiental integral. México: UAM.
- García, J. (1999). La vegetación como elemento de control bioclimático. pág. 193-203. México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Givoni, B. (1976). Man, climate and architecture. pág. 483. Londres: Applied Science Publishers.
- Gobierno del Distrito Federal. (2010). Lineamientos de Sustentabilidad para el diseño de espacios abiertos en el Distrito Federal. México: GDF.
- Gómez, B., & Ramírez, R. (1987). Elementos básicos para el manejo de instrumental meteorológico. México: CECSA.

- Gómez, G., Bojórquez, G., & Pavel, R. (2007). El confort térmico dos enfoques teóricos enfrentados. Vol. 2(No. 1), pp. 45-57. Universidad de Colima, Colima, México: Palapa.
- Gómez, N., Rojas, A., & Higuera, E. (2010). Parámetros (PS) sostenibles en el planeamiento y diseño ambiental del espacio microurbano. pp. 40-52. Pluris. Obtenido de <http://pluris2010.civil.uminho.pt/Actas/PDF/Paper407.pdf>
- González, R., & López, J. (1994). Análisis bioclimático de la arquitectura. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla (ETSAS).
- Griffiths, J. (1976). Applied climatology. An introduction, chapter 14 climate and building. 2^o Edition, pág. 92-100. Oxford University Press.
- Guzmán, F., & Ochoa, J. M. (diciembre de 2014). Confort térmico en los espacios públicos urbanos. Clima cálido y frío semi-seco. 4(2), pp. 52-63. Revista Hábitat Sustentable.
- Hall, E. T. (1966). La dimensión oculta. New York: Edición en inglés por Anchor books.
- Hall, E. T., & Hernández, J. (1973). La dimensión oculta. Enfoque antropológico del uso del espacio, Colección Nuevo Urbanismo. Madrid, España: Instituto de Estudios de Administración Local.
- Hernández, A., Fariña, J., Fernández, V., Gálvez, M., Hernández, A., & Urrutia, N. (2013). Manual de diseño bioclimático urbano. Recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas. Bragança, Portugal: Instituto Politécnico de Bragança.
- Hernández, R., & et. Al. (1991). Metodología de la investigación. (reimpresión 1997), 1^a edición en español. México: Mc Graw Hill.

- Higueras, E. (1998). *Urbanismo Bioclimático. Criterios medioambientales en la ordenación de asentamientos*. Madrid, España: Instituto Juan de Herrera.
- Hinz, E., González, E., Oteiza, P., & Quiros, C. (1986). *Proyecto, clima y arquitectura*. Maracaibo, México: Gustavo Gili, Universidad del Zulia.
- Izard, J.-L. & Alain, G. (1983). *Arquitectura bioclimática*. México: GG.
- Lacomba, R. (1991). *Manual de arquitectura solar*. Trillas.
- Lacomba, R., Ferreira, H., García, R., Fuentes, V., Martínez, R., Olivares, N., . . . Fernández. (1991). *Manual de arquitectura bioclimática*. Editorial Trillas.
- Lara, B. (2011). *Evaluación del bienestar térmico a través de la temperatura operativa*. Servicio de higiene industrial y salud laboral. Murcia, España: Instituto de Seguridad y Salud Laboral.
- Laurie, M. (1983). *Introducción a la arquitectura del paisaje*. Barcelona, España: GG.
- López, R., & Cabeza, A. (2000). *La vegetación en el diseño de los espacios exteriores*. 2ª edición. México: UNAM.
- López, A. (2001). *Diseño Térmico de Espacios Exteriores*. Universidad Autónoma de Yucatán, Posgrado de Arquitectura, Mérida.
- López de Asiaín, J. (2011). *La habitabilidad de la arquitectura. El caso de la vivienda*. Recuperado el 11/09/2020 de <http://dearq.uniandes.edu.co/>
- Martilli, A. (2010). *Modelización del clima urbano a mesoescala*. España: CIEMAT.
- Mazria, E. (1979). *El libro de la energía solar pasiva. Tecnología y Arquitectura*. México: GG.

- Moreno, M. (1994). Intensity and form of the urban heat island in Barcelona. pág. 705-710. *International Journal of Climatology*. Obtenido de Romero y Sarricolea, 2006
- Morin, E. (2003). *Introducción al pensamiento complejo*. Barcelona, España: Gedisa.
- Municipio de Mérida. (1995). *Archivo y catálogo del patrimonio municipal*. Dirección de desarrollo urbano 1995-1998.
- Ochoa, M., & Jaume, R. (2000). Influencias de la vegetación en el balance energético de los espacios exteriores urbanos: Análisis y evaluación de sus efectos microclimáticos. *Memorias de MILLENIUM SOLAR FORUM 2000*, pp. 127-132. México: Asociación Nacional de Energía Solar.
- Oke, T. (1995). The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. In *Wind Climate in Cities*. Cermak JE: Kluwer-Academic Publ. Norwell. Obtenido de Romero y Sarricolea, 2006
- Olgay, V. (1998). *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona, España: GG.
- Oliver, J. (1973). *Climate and man's environment. Climate Architectural analysis, an introduction to applied climatology, appendix 2*. pp. 429-450. Department of geography and geology, Indiana State University: John Wiley & Sons Inc.
- ONU-HABITAT. (2016). *The New Urban Agenda*. Recuperado el 02 de abril de 2018, de <http://www.habitat3.org/the-new-urban-agenda>
- ONU-HABITAT. (2018). *Ciudades-Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 13 de agosto de 2018, de www.un.org/sustainabledevelopment/cities/

- Peña, C. (1990). Usos, funciones y características de las plantas en el diseño del paisaje: Funciones ecológicas. Baja California, México: Universidad Autónoma de Baja California.
- Ramírez, P. (1989). El hábitat y el sol. Manual de arquitectura solar. México.
- Ramón, F. (1980). Ropa, sudor y arquitectura. Madrid, España: Blume.
- Rapoport, A. (1972). Vivienda y cultura. Barcelona, España: GG.
- Rapoport, A. (1974). Aspecto de la calidad del entorno. Barcelona, España: GG.
- Rivero, R. (1988). Arquitectura y clima. Acondicionamiento térmico natural para el hemisferio norte. México: UNAM.
- Rodríguez, F. (1998). El Patio Como Lugar Bioclimático. El caso de Mexicali B. C. Memorias de la 22 SEMANA NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR, pág. 85-89. Mexicali, Baja California, México: SEBS-ISEP.
- Romero, H. (2004). Crecimiento espacial de Santiago entre 1989 y 2003 y la pérdida de servicios ambientales. pp. 179-201. Patricio Tupper, Santiago: Centro Chileno de Urbanismo. Obtenido de Romero y Sarricolea, 2006
- Romero, H., & Sarricolea, P. (2006). Patrones y factores de crecimiento espacial de la ciudad de Santiago de Chile y sus efectos en la generación de islas de calor urbanas de superficie. Santiago, Chile: FONDECYT. Obtenido de http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0074_PU-SA-V-2006-H_ROMERO.pdf
- Roset, J. (2004). Cálculos en confort térmico. Versión para la asignatura: Física del medioambiental. Arquitectura. ETSAB, Universidad de Tucumán: Instituto de acondicionamiento ambiental de la Universidad Tucumán.

- Ruano, M. (1999). *Ecourbanismo. Entornos humanos sostenibles: 60 proyectos*. Barcelona, España: GG.
- Sabady, P. (1982). *Arquitectura solar*. Barcelona, España: CEAC.
- Safe creative. (2018). *Modelo de confort simple*: Obra: 1011047757775. Safe creative. Obtenido de <http://safecreative.org/work/1011047757775>
- Sámamo, D., & Vázquez, B. (1989). *Ahorro de energía en la vivienda en clima cálido-húmedo*. REUNIÓN NACIONAL SOBRE LA ENERGÍA Y EL CONFORT. Mexicali, Baja California: Universidad Autónoma de Baja California y el Instituto de Ingeniería.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. (1983). *Norma básicas de equipamiento urbano*. Subsecretaría de Desarrollo Urbano SEDUE, México: Dirección general de equipamiento urbano y edificios, SEDUE.
- Serra, F. (2000). *Arquitectura y energía natural*. pág. 19.
- Serra, R., & Coch, H. (1995). *Arquitectura y energía natural*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Spreiregen, P. (1973). *Compendio de arquitectura urbana*. Barcelona, España: GG.
- Threlkeld, J. (1973). *Ingeniería del ámbito térmico*. Título original en inglés *Thermal Environmental Engineering 1970, 1973*, New Jersey: Prentice-Hall Internacional, Englewood.
- Toledo, M. (1998). *Estadística*. 1ª edición 1992. México: Addison Wesley Longman de México, SA de CV.

- Tomero, J., Pérez, A., & Gómez, F. (2006). Ciudad y confort ambiental: Estado de la cuestión y aportaciones recientes. (no. 80), pp. 147-182. Valencia, España: Cuadernos de geografía.
- Tudela, F. (1982). Ecodiseño. México: UAM. Colección Ensayos.
- UNE-EN ISO 7730. (2006). Ergonomía en ambientes térmicos. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los PMV y PPD, y especificaciones para el bienestar térmico.
- Vélez, R. (1990). Diseño bioclimático y ecotécnicas. Evaluación y datos prácticos. México: UAM.
- Vélez, R. (1992). La ecología en el diseño arquitectónico. Datos prácticos sobre diseño bioclimático y ecotécnicas. México: Trillas.
- Venegas, C., & Francisco, R. (1990). La vegetación como una estrategia en el uso racional de la energía. II REUNIÓN NACIONAL SOBRE LA ENERGÍA Y EL CONFORT, pp. 296-298. Mexicali, Baja California: Universidad Autónoma de Baja California.
- Vidal, J., & Jáuregui, E. (1990). Evolución de la isla de calor en Toluca, Edo. de México. México: Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM. Obtenido de <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal3/Procesosambientales/Climatologia/07.pdf>
- Voogt, J. (2004). Urban Heat Islands: Hotter Cities. pág. 7. Washington D.C, USA: American Institute of Biological Sciences. Obtenido de Romero y Sarri-colea, 2006
- Wright, D. (1983). Arquitectura solar natural. Barcelona, España: GG.

Wilfrido Miguel Contreras Sánchez
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

Pablo Marín Olán
Director de Difusión, Divulgación Científica y Tecnológica

Analuisa Kú Ortiz
Jefa del Departamento Editorial de Publicaciones No Periódicas