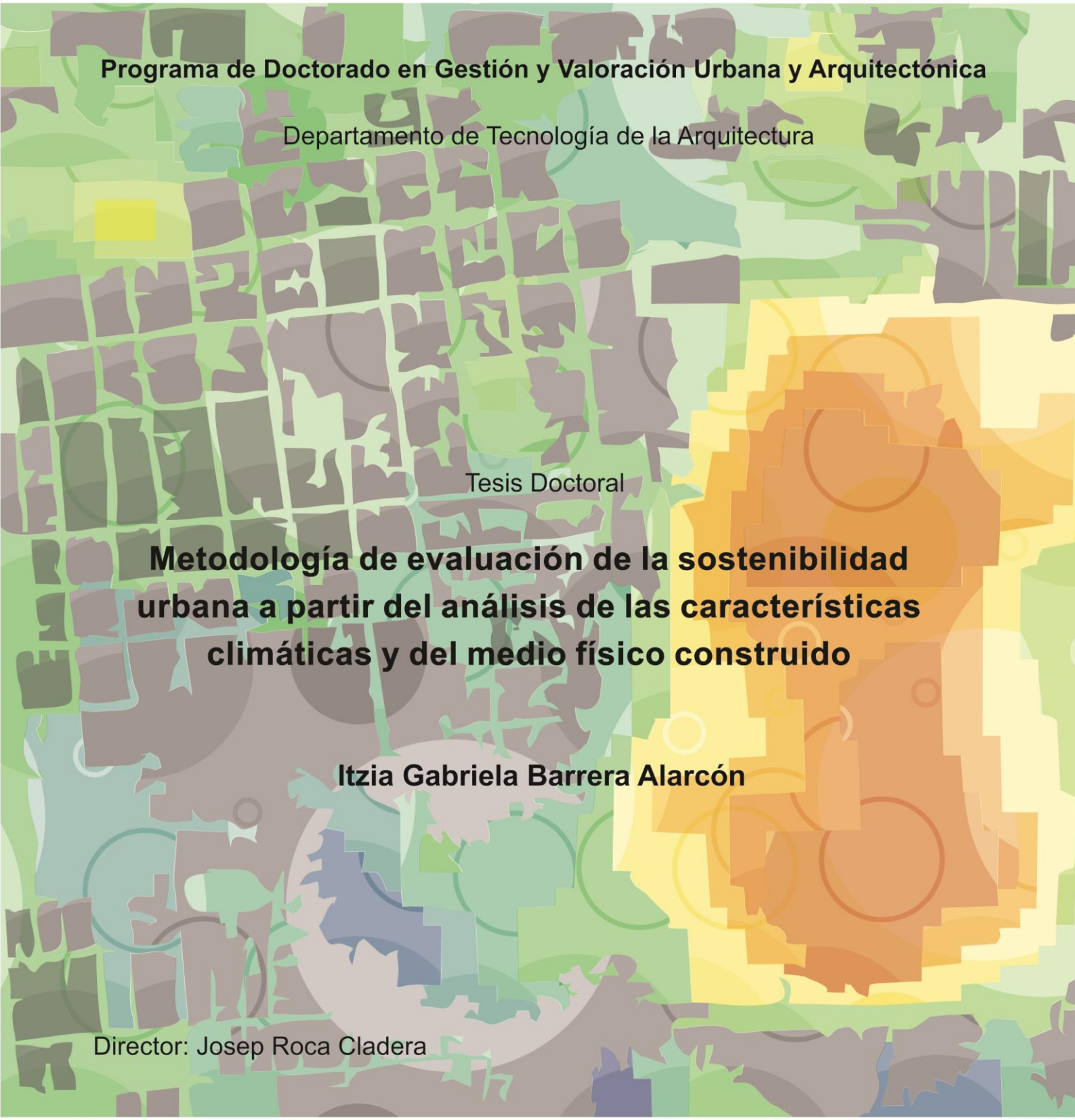
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Programa de Doctorado en Gestión y Valoración Urbana y Arquitectónica

Departamento de Tecnología de la Arquitectura



Tesis Doctoral

Metodología de evaluación de la sostenibilidad urbana a partir del análisis de las características climáticas y del medio físico construido

Itzia Gabriela Barrera Alarcón

Director: Josep Roca Cladera

Barcelona, España, 2018

A Víctor e Irati

Por ser la tierra fértil donde se cultivan y cosechan mis más grandes sueños.
Los amo.

AGRADECIMIENTOS

Nunca habrá las palabras, ni las hojas, ni las tesis suficientes para agradecer a mis padres Marysol y Juán Manuel, todo el amor y todo el apoyo que me han dado desde el primer instante. La esencia de mi vida es el reflejo de todo lo que me han enseñado, los sueños que me han impulsado a lograr, la confianza que me han tenido en cada una de mis decisiones y sobre todo, el amor que día con día me dan. Esto (y todo), no hubiera sido posible sin ustedes. Los amo! Gracias a mis hermanos Tzandi, Ehécatl y Karla, por siempre estar ahí, apoyándome en todo momento.

A mi segunda familia, los Arvizu Cota por todo el apoyo que nos han dado en todo momento, pero sobre todo al final de esta etapa. Porque junto con mi familia, siempre nos motivaron a seguir luchando sin importar los obstáculos del camino.

Agradezco enormemente el apoyo, la guía y el conocimiento compartido por parte de mi Director de Tesis el Dr. Josep Roca Cladera. Por siempre motivarme a ir más allá y orientarme en todo este camino. Asimismo, me encuentro sumamente agradecida con la Mtra. Blanca Arellano, por su confianza, paciencia y guía desde la etapa del máster como la del doctorado, además de su amistad. Muchas gracias a ambos por todo.

Gracias al Dr. Carlos Marmolejo, la Dra. Pilar García, al Dr. Xavier Carceller, a la Lic. Montserrat Moix, al Arq. Carles Pérez Lamas que compartieron conmigo su invaluable conocimiento y experiencia durante la etapa del máster y doctorado. También a la Dra. Helena Coch por sus oportunas observaciones que permitieron disipar las primeras dudas acerca de este trabajo de investigación.

A todo el personal del CPSV y de manera muy especial a Rolando Biere su invaluable apoyo de principio a fin. Por ayudarme a librar los diferentes obstáculos que se me presentaron en este camino y por su valiosa amistad.

Asimismo, quiero agradecer enormemente al Dr. José Manuel Ochoa por haberme incursionado en el tema del medio ambiente en el urbanismo y la arquitectura. Por la sencillez con la que ha compartido su conocimiento conmigo todos estos años, su gran apoyo dentro de mi carrera académica y profesional y sobre todo, por su invaluable amistad.

A mis compañeros y amigos del máster y doctorado Xiao Dou, Elham, Andrew, Marina Milosev, Marina Mollá, Anna Razquin, Vero, Vale, Antonio, Paola, Ahmed. Y de manera muy especial a aquellos que además de ser mis amigos, se convirtieron en la extensión de mi familia en Barcelona: Brenda, Daniela y Raúl, Helen y Mehdi, Gigi, Laura, Carmen y Gerardo, Silvestre y Carmen Castro, Adelaida y Juán José (los cariños). Barcelona no hubiera sido lo que fue, sin ustedes.

Gracias Irati, mi bonita. Por cada instante a tu lado que ha sido la mayor de las motivaciones para concluir este trabajo. Por tu alegría y tu carácter, por hacerme volver a ver el mundo a través de tu mirada maravillada. Por esa sonrisita que nunca me dejó caer. Te amo tanto!.

Finalmente, sabes que todo esto tiene sentido porque lo he hecho a tu lado. Víctor, mi amor, mi amigo y mi colega. Gracias por este camino recorrido tomados de la mano; por las tantas horas de apoyo mutuo en nuestra pequeña oficina; por los sueños compartidos; por el infinito apoyo y la aún más infinita paciencia que me tienes; por los cafecitos que lograron disipar dudas, afianzar proyectos y plantear nuevos retos. Este es el fruto de un trabajo compartido, el nuestro. Te amo.

La presente tesis doctoral se llevó a cabo gracias a la beca otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, la cual me permitió continuar con mi formación como investigadora en el área de la sostenibilidad urbana. De tal modo, reitero mi compromiso en la retribución a la sociedad mexicana, no sólo con este trabajo realizado, sino con las futuras investigaciones que permitan generar más aportaciones al conocimiento en torno a la ciudad y el medio ambiente.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se lleva a cabo con el objetivo de desarrollar una metodología que permita llevar a cabo la evaluación de la sostenibilidad urbana, dentro de la premisa del medio ambiente, a partir del análisis de las características climáticas y del medio físico construido de una ciudad cualquiera, con clima frío, templado cálido-seco y cálido húmedo; y así, determinar si la ciudad evaluada está creciendo o siendo planificada conforme a sus características climáticas. De lo contrario, poder realizar una serie de recomendaciones resultantes del proceso de evaluación para llevar a cabo una adecuada intervención urbana y procurar una configuración acorde al clima.

El trabajo se encuentra dividido en cuatro partes, conformadas por cinco capítulos: 1) La primera parte, Capítulo I, se basa en el desarrollo del estado de la cuestión en torno a las herramientas y modelos de evaluación de la sostenibilidad urbana que se emplean hoy en día para aplicarse en diversos ámbitos y escalas urbanas. De este análisis resultan únicamente 8 de ellas enfocadas en la evaluación a escala de ciudad; pero, ninguna de ellas contempla en su proceso metodológico el empleo de indicadores climáticos que se relacionen con la estructuración del entorno urbano construido. Por tanto, en el Capítulo II, se lleva a cabo la descripción de las implicaciones que tiene la conformación de este último en el microclima urbano y su impacto en el confort térmico. Asimismo, se presentan las características y diferentes enfoques en torno al urbanismo bioclimático como una herramienta de diseño, evaluación y planificación de las ciudades. 2) La segunda parte conformada por el Capítulo III, presenta la metodología de evaluación propuesta en este trabajo y todo su proceso de gestión de la información para poder llevarla a cabo. Esta incluye seis fases: establecimiento de los antecedentes; análisis climático; requerimientos del entorno; análisis del Medio Físico Construido (MFC); evaluación; y recomendaciones. En esta parte se proponen 21 indicadores para llevarla a cabo; 3 de localización, 6 climáticos y 12 del MFC. 3) Esta tercera parte la conforma el Capítulo IV y presenta la aplicación de la metodología propuesta en el capítulo anterior, al estudio de caso de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México. 4) Finalmente, la cuarta parte presenta, a través del Capítulo V, las conclusiones generales y particulares de este trabajo de investigación, así como las aportaciones al estado de la cuestión y futuras líneas de investigación.

Así pues, el objetivo principal de este trabajo de investigación se ha podido lograr al haber desarrollado esta metodología, tomando como guía las premisas del urbanismo bioclimático para evaluar las ciudades, con relación a su clima y MFC, a partir de los 21 indicadores propuestos. Además de proponer una serie de herramientas de procesamiento de la información y de bases de datos de libre acceso, para facilitar lo mayormente posible, la gestión de la misma. Sin embargo, como se presenta de manera desarrollada en el capítulo V, estas pueden presentar una serie de limitaciones, tales como: El nivel de especificidad de los resultados obtenidos del procesamiento de las imágenes satelitales LANDSAT8/OLI; la falta de diferenciación entre cubiertas y vialidades; la disponibilidad y actualización de cartografía oficial; el acceso a bases de datos estadísticos, sociodemográficos y geográficos; etc.

Cabe resaltar que, este trabajo forma parte del proyecto: *LA ISLA DE CALOR URBANA: EFECTOS EN EL CAMBIO CLIMÁTICO Y MODELADO PARA ESTATEGIAS DE PLANEAMIENTO TERRITORIAL Y URBANO. Aplicación a la Región Metropolitana de Barcelona*[1].

[1] El proyecto se puede consultar en la siguiente página web: http://www-cpsv.upc.es/Urban-CLIMPLAN/

ABSTRACT

This research was conducted with the aim of developing a methodological tool, that allows a sustainable urban evaluation within the environmental premise, from the analysis of bioclimatic characteristics and the built environment of any city and kind of climate (cold, temperate, warm-dry and warm-humid). Thus, determine if the analyzed city is developing according to its climatic characteristics. Otherwise, make few recommendations resulting from the evaluation process to carry out an appropriate intervention and seek a climate-friendly configuration.

Therefore, the work is divided into four parts which include five chapters: 1) The first part, Chapter I, develops the state of the art focuses on current tools and models for assessing the urban sustainability, which can be applied in various scopes and urban scales. However, only 8 of them focus on city-scale analysis, but none of them contemplates, in their methodological process, the use of climatic indicators that are related to the formation of the built environment. Therefore, in Chapter II, it is carried out the description of the implications of the formation of the latter, in the urban microclimate and its effect on the thermal comfort of people. Likewise, the characteristics and different approaches to bioclimatic urbanism are presented as a tool for the design, evaluation, and planning of cities. 2) The second part, made up of Chapter III, presents the methodology proposed in this work and all of its information management process in order to carry it out. This includes six phases: background; Climate analysis; Requirements of the urban environment; Built environment analysis (BE); evaluation; recommendations. 21 indicators are proposed to be carried out; 3 from location, 6 climatic and 12 from BE. 3) This third part is made up of Chapter IV, which presents the application of the methodology proposed in the previous chapter, to the case study of the city of Hermosillo, Sonora, Mexico. 4) Finally, the fourth part presents, through chapter V, the general and particular conclusions of this research work, as well as the contributions to the state of the matter and future lines of research.

Thus, the main objective of this research has been achieved by having developed this methodology, taking as a guide the premises of bioclimatic urbanism to evaluate the 21 proposed indicators. In addition to proposing, a number of processing tools and databases of free access, to facilitate as much as possible, the information management. Nevertheless, as introduced in Chapter V, these can present a number of limitations, such as: The results of the data obtained from the processing of LANDSA8 / OLI satellite images; The differentiation between the covers and roads from these; The availability and update of official cartography; Access to socio-demographic and geographic statistical databases; etc.

To highlight, this research is part of the project: *THE URBAN HEAT ISLAD: EFFECTS ON CLIMATE CHANGE AND MODELED FOR TERRITORIAL AND URBAN PLANNING STRATEGIES. Application to the Metropolitan Region of Barcelona.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **ix**

ÌNDICE DE TABLAS ..... **xii**

INTRODUCCIÓN ..... **xvi**

CAPÍTULO I. LA SOSTENIBILIDAD URBANA Y SU EVALUACIÓN **1**

1.1. La sostenibilidad en el marco del urbanismo 2

1.1.1. La ciudad y sus implicaciones en el cambio climático 3

1.2. Los modelos de evaluación como una herramienta de gestión y planeación urbana sostenible 5

1.2.1. Principales herramientas y modelos de evaluación de la sostenibilidad urbana a nivel mundial. 7

1.2.1.1. Comprehensive Plans standars for sustaining places 11

1.2.1.2. STAR Communities Rating Systems 12

1.2.1.3. Emerging and Sustainable Cities Initiative 14

1.2.1.4. Partnership for Sustainable Communities 16

1.2.1.5. Ministry of Environmental Protection: Eco City 17

1.2.1.6. Ministry of Housing and Urban-Rural Development (MoHURD): Eco-Garden City. 18

1.2.1.7. National Development and Reform Comission: Low Carbon City 19

1.2.1.8. The Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (CASBEE for Cities) 19

CAPÍTULO II. CIUDAD Y CLIMA **24**

2.1. Características básicas de las escalas climáticas. 25

2.2.El balance energético 28

2.2.1. Balance energético urbano 30

2.2.1.1. Efectos térmicos de los materiales 31

2.2.2. Isla de calor urbano (ICU) 33

2.2.2.1. Manifestación de la ICU en diferentes macroclimas. 34

2.2.2.2. Implicaciones de la Isla de Calor Urbano en la salud humana. 35

2.3. El Confort térmico en el entorno urbano. 37

2.4. Implicaciones del diseño urbano en el microclima de las ciudades. 41

2.4.1. Densidad e intensidad Urbana 41

2.4.2. Cañón Urbano 43

2.4.3. Espacios abiertos 44

2.4.4. Vegetación 45

2.4.4.1. NDVI 46

2.5. El urbanismo bioclimático. Componentes y enfoques 47

2.6. El proceso de planeación con base en el urbanismo bioclimático. 56
2.6.1. El Libro Blanco de la sostenibilidad en el planeamiento urbanístico español 56
2.6.2. Principios de integración de las estrategias climáticas en los procesos de planificación urbana……..... 59
2.6.3. Mapas climáticos urbanos 60

CAPÌTULO III. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD URBANA A PARTIR DE LAS CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS Y DEL MEDIO FÍSICO CONSTRUIDO. 63

3.1. Fase 1: Antecedentes 66
3.1.1. Localización 66
3.1.2. Características geomorfológicas 66
3.1.3. Sistema de planeación urbana 67
3.1.4. Características Demográficas/urbanas 68
3.2. Fase 2: Análisis climático 68
3.2.1. Variables de localización 68
3.2.2.1. Caracterización climática 70
3.3. Fase 3: Requerimientos del entorno 74
3.4. Fase 4: Análisis del medio físico construido 77
3.4.1. Variables de análisis de edificaciones 78
3.4.1.1. Densidad edificatoria 78
3.4.2. Variables de análisis de vialidades 80
3.4.3. Variables de análisis de espacios abiertos 82
3.4.4. Utilización de la Teledetección para la identificación, clasificación y cuantificación de indicadores del medio físico construido y natural dentro del área de planeación urbana. 85
3.5. Fase 5: Evaluación 91
3.5.1. Establecimiento de requerimientos del entorno de acuerdo a las características climáticas de la ciudad. 91
3.5.2. Proceso de puntuación de los indicadores del medio físico construido en relación con los requerimientos del entorno. 97
3.5.3. Análisis de resultados de la evaluación 152
3.6. Fase 6: Recomendaciones para la planificación urbana. 153

CAPÍTULO IV. LA CIUDAD DE HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO, COMO ESTUDIO DE CASO 155

4.1. Fase 1: Antecedentes 156
4.1.1. Localización 156
4.1.2. Características Geomorfológicas 157
4.1.3. Sistema de planeación urbana 159
4.1.4. Características Demográficas y urbanas 162

4.2 Fase 2: Análisis climático 165
4.2.2.1. Radiación solar 167
4.2.2.2. Agua 172
4.2.2.3. Viento 176
4.3. Fase 3: Requerimientos del entorno urbano 177
4.4. Fase 4: Análisis del medio físico construido de la ciudad de Hermosillo 181
4.4.1. Variables de análisis de edificaciones 181
4.4.1.1. Densidad edificatoria 181
4.4.1.2. Sombreamiento 182
4.4.2. Variables de análisis de vialidades 184
4.4.2.1. Superficie vial 185
4.4.2.2. Tipo de material 186
4.4.2.3. Albedo 188
4.4.2.4. Temperatura superficial 188
4.4.2.5. Vegetación 191
4.4.3.Variables de análisis de espacios abiertos 194
4.4.3.1. Superficie 194
4.4.3.2. Cuerpos de agua 195
4.4.3.3.Temperatura superficial 196
4.4.3.4. Vegetación 198
4.4.3.5. Sombras 200
4.5. Fase 5: Evaluación 202
4.5.1. Establecimiento de requerimientos del entorno de acuerdo a las características climáticas de la ciudad. 202
4.5.2. Proceso de puntuación de los indicadores del medio físico construido en relación con los requerimientos del entorno. 204
4.5.3. Análisis de resultados de evaluación. 222
4.6. Fase 6: Recomendaciones para la planificación urbana de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México. 227

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES 229
5.1. Conclusiones generales 230
5.2. Conclusiones particulares 231
5.3. Aportaciones de la investigación 234
5.4. Nuevas líneas de investigación 235

BIBLIOGRAFÌA 237
ANEXOS 243

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología de la investigación xxi
Figura 2. Emisiones de gases de efecto invernadero a partir del consumo de energía de las ciudades 3
Figura 3. Proceso de evaluación de la sostenibilidad urbana 7
Figura 4. Ranking mundial de herramientas y modelos de evaluación de la sostenibilidad urbana y su escala de análisis 10
Figura 5. continentes donde se aplican herramientas de evaluación de la sostenibilidad urbana a escala de ciudad 11
Figura 6. Principios de habitabilidad del entorno construido. 12
Figura 7. Fases de la metodología de Ciudades Emergentes y Sostenibles 14
Figura 8. Proceso de priorización y participantes 15
Figura 9. Ciudades ICES 2011-2016 16
Figura 10. Límite hipotético implementado en CASBEE-City y definición de BEE 19
Figura 11. Ejemplo de resultados de evaluación mediante CASBEE-City. 20
Figura 12. Clasificación climática mundial de Köppen 27
Figura 13. Regiones climáticas 28
Figura 14. Espectro electromagnético 29
Figura 15. Estimación de la radiación en las superficies 30
Figura 16. Balance hídrico 30
Figura 17. Balance energético urbano 31
Figura 18. Intercambio calorífico al mediodía de verano. 32
Figura 19. Causas de la Isla de Calor Urbano 34
Figura 20. Temperatura urbana-rural para ciudades agrupadas por biomas. 35
Figura 21. Mitigación, estrategias y procesos del efecto de la Isla de Calor Urbano 37
Figura 22. Gráfica propuesta por Víctor Olgyay para determinar las condiciones de confort en espacios exteriores. 40
Figura 23. Morfología urbana de ciudades de clima cálido-húmedo, frío, cálido-seco y templado 42
Figura 24. Regímenes de flujo asociados al flujo de viento a partir de la proporción H/W entre edificios 44
Figura 25.Esquema general de un sistema urbano 48
Figura 26. Elementos del sistema urbano y su relación con los parámetros microclimáticos. 49
Figura 27. Listado de Criterios de sostenibilidad del Libro Blanco de la Sostenibilidad en el Planeamiento Urbanístico Español. 58
Figura 28. Estructura del mapa climático urbano (UCMap) 60
Figura 29. Propuesta metodológica para realizar la evaluación de la sostenibilidad urbana a partir de las características climáticas y del MFC 65

Figura 30. Gráfica bioclimática de Olgyay 75
Figura 31. ejemplo de isopletas con base en Gráfica bioclimática de Olgyay 76
Figura 32. Ejemplo de diagnóstico con COMFORT-EX 77
Figura 33. Proceso de análisis de diagnóstico para llevar a cabo la evaluación 91
Figura 34. Isopletas de requerimientos del entorno para 4 ciudades mexicanas con diferentes climas 92
Figura 35. Ejemplo de gráfica de radar para el análisis de resultados de la evaluación realizada. 152
Figura 36. Localización de la ciudad de Hermosillo a nivel global, nacional y estatal 156
Figura 37. Configuración topográfica del Centro de Población de Hermosillo. 157
Figura 38. Zonas naturales de influencia en la ciudad de Hermosillo 158
Figura 39. Centro urbano, Hermosillo 159
Figura 40. Polígono del Área Metropolitana de Hermosillo 160
Figura 41. Unidades Territoriales de Planeación del Centro de Población de Hermosillo 161
Figura 42. Crecimiento urbano del centro de población de Hermosillo 1900-2015. 162
Figura 43. Crecimiento poblacional y urbano de 1900 al 2010 163
Figura 44. Densidad poblacional del municipio y la ciudad de Hermosillo 163
Figura 45. Comparativa de densidades 164
Figura 46. usos de suelo de la ciudad de Hermosillo 164
Figura 47. Clasificación climática mundial de Köppen y de América del Norte. 165
Figura 48. Mapa de Regiones ecológicas de México 166
Figura 49. Radiación solar directa y difusa promedio mensual en la ciudad de Hermosillo 167
Figura 50. Nubosidad y radiación solar en la ciudad de Hermosillo 168
Figura 51. Nubosidad y temperatura en la ciudad de Hermosillo 169
Figura 52. Gráfica de temperaturas promedio mensual de la ciudad de Hermosillo. 170
Figura 53. Isotermas de Hermosillo, Son 171
Figura 54. Gráfica solar por temporada estacional y con isotermas. 172
Figura 55. Gráfica de humedad relativa promedio mensual de la ciudad de Hermosillo 173
Figura 56. Isohigras de Hermosillo, Son 174
Figura 57. Precipitación pluvial media y humedad relativa media de la ciudad de Hermosillo 175
Figura 58. Precipitación pluvial media y temperatura media de la ciudad de Hermosillo 175
Figura 59. Velocidad del viento media mensual de la ciudad de Hermosillo. 176
Figura 60. Carta bioclimática de Olgyay anual para la ciudad de Hermosillo. 177
Figura 61. Isopletas de requerimientos del entorno para la ciudad de Hermosillo. 178
Figura 62. COMFORT-EX para la ciudad de Hermosillo Sonora 180
Figura 63. Intensidad de uso de la ciudad de Hermosillo. 182
Figura 64. Superficie sombreada calculada 184
Figura 65.Vialidades existentes y futuras de la ciudad de Hermosillo 185
Figura 66. Tipo de material de vialidades 187

Figura 68. Porcentaje de albedo por tipo de material de vialidades 188
Figura 69. Proceso metodológico para el cálculo de temperatura superficial aplicado al caso de estudio.... 189
Figura 70. Mapa de temperatura superficial de la ciudad de Hermosillo 190
Figura 71. Porcentaje de superficie por rango de temperatura superficial..... 191
Figura 72. Vegetación detectada con LANDSAT8 y su tipología de acuerdo al PDMH 192
Figura 73. Vegetación detectada con LANDSAT8 en la ciudad de Hermosillo..... 193
Figura 74. Localización y superficie de los espacios abiertos de la ciudad de Hermosillo 194
Figura 75. Cuerpos de agua que influencian la ciudad de Hermosillo..... 196
Figura 76. Espacios Abiertos con baja temperatura superficial. Parque Madero y Parque La Sauceda. 197
Figura 77. Mapa de temperatura superficial de los espacios abiertos de la ciudad de Hermosillo..... 197
Figura 78. Porcentajes de superficie por rango de temperatura superficial en los espacios abiertos de la ciudad..... 198
Figura 79. Vegetación de Área Verde en UTP Noreste 199
Figura 80. Vegetación detectada con LANDSAT8 en los espacios abiertos de la ciudad de Hermosillo 199
Figura 81. Superficie sombreada calculada en los espacios abiertos de la ciudad de Hermosillo. 201
Figura 82 Requerimientos del entorno urbano de la ciudad de Hermosillo 203
Figura 83. Resultados de evaluación de los parámetros físicos para clima cálido seco de Hermosillo. Condición crítica, límite del control pasivo 222
Figura 84. Resultados de evaluación de los parámetros físicos para clima cálido seco de Hermosillo. Control de la radiación solar (disminución). 223
Figura 85. Resultados de evaluación de los parámetros físicos para clima cálido seco de Hermosillo. Condición de la temperatura radiante (disminución). 224
Figura 86. Resultados de evaluación de los parámetros físicos para clíma cálido-seco de Hermosillo.Confinamiento, enfriamiento evaporativomperatura radiante (disminución)..... 225

ÌNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis LEED-ND xvii

Tabla 2. Análisis FODA para los DUIS xvii

Tabla 3. Principales herramientas y modelos de evaluación de la sostenibilidad urbana y su escala de análisis. 8

Tabla 4. Áreas meta de la evaluación STAR Communities Rating Systems 13

Tabla 5. Relación y aplicación de indicadores del medio físico construido y del medio ambiente en los modelos/herramientas de la sostenibilidad urbana a escala de ciudad. 21

Tabla 6. Escalas climáticas y sus manifestaciones en los fenómenos climáticos. 26

Tabla 7. Grupos climáticos de acuerdo con la Clasificación climática mundial de Köppen 27

Tabla 8. Características básicas de la Isla de Calor urbano superficial y atmosférica 34

Tabla 9. Factores y parámetros que intervienen en la sensación de confort térmico 38

Tabla 10. Variables relacionadas con el medio físico construido y ambiental para el estudio y diseño bioclimático urbano 47

Tabla 11. características de la vegetación, los espacios abiertos, las edificaciones y el medio físico construido en general, por tipo de región climática 51

Tabla 12. Cualidad de diseño urbano, calidad de sustentabilidad y calidad micro-climática 53

Tabla 13. Escala de Permeabilidad 53

Tabla 14. Matriz de interrelación de indicadores climáticos y del medio físico construido 55

Tabla 16. Descripción del indicador de Latitud. 68

Tabla 17. Descripción del indicador de Longitud. 69

Tabla 18. Descripción del indicador de Altitud. 69

Tabla 19. Descripción del indicador de radiación solar. 70

Tabla 20. Descripción del indicador de temperatura. 71

Tabla 21. Descripción del indicador de humedad relativa. 71

Tabla 22. Descripción del indicador de viento. 72

Tabla 23. Descripción del indicador de nubosidad. 72

Tabla 24. Descripción del indicador de precipitación pluvial. 73

Tabla 25. Factores y parámetros que intervienen en la sensación de confort térmico 74

Tabla 26. Descripción del indicador de Densidad edificatoria urbana. 78

Tabla 27. Descripción del indicador de Intensidad edificatoria. 79

Tabla 28. Descripción del indicador de verticalidad 79

Tabla 29. Descripción del indicador de Superficie vial urbana. 80

Tabla 30. Descripción del indicador de, tipo de material de vialidad urbana. 80

Tabla 31. Descripción del indicador de albedo y emisividad del material de vialidades. 81

Tabla33. Descripción del indicador de temperatura superficial 81

Tabla 34. Descripción del indicador superficie con vegetación en vialidades. 82

Tabla 35. Descripción del indicador superficie vial sombreada por vegetación. 82

Tabla 36. Descripción del indicador superficie de espacio abiertos. 83

Tabla 37. Descripción del indicador de cuerpos de agua. 83

Tabla 38. Descripción del indicador de temperatura superficial de los espacios abiertos. 83

Tabla 39. Descripción del indicador de vegetación localizada en los espacios abiertos. 84

Tabla 40. Resolución de las imágenes obtenidas por LANDSAT8 OLI/TIRS 85

Tabla 42. Valores de emisividad para los diferentes tipos de cobertura de suelo 86

Tabla 43. Resumen de las dimensiones, variables, indicadores, fuentes, herramientas y productos que conforman la propuesta metodológica 89

Tabla 44. cuantificación de casillas por tipo de requerimientos del entorno por tipo de clima, de acuerdo con figura 25 93

Tabla 45. Nivel de priorización de requerimientos del entorno de acuerdo al clima y el horario de actividades establecido 93

Tabla 46. Nivel de influencia de los parámetros físicos sobre los requerimientos del entorno 95

Tabla 47. Evaluación de los parámetros físicos conforme al requerimiento: Condición crítica. Límite del control pasivo 98

Tabla 48. Evaluación de los parámetros físicos conforme al requerimiento: CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (DISMINUCIÓN) 105

Tabla 49. Evaluación de los parámetros físicos conforme al requerimiento: CONTROL DE LA TEMPERATURA RADIANTE (DISMINUCIÓN). 110

Tabla 50. Evaluación de los parámetros físicos conforme al requerimiento: CONTROL DE LA HUMEDAD (DISMINUCIÓN) 118

Tabla 52. Evaluación de los parámetros físicos conforme al requerimiento: CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (AUMENTO). 135

Tabla 54. Evaluación de los parámetros físicos conforme al requerimiento: CONTROL DEL VIENTO. CONFINAMIENTO. 147

Tabla 55. Principales elevaciones localizadas dentro de la ciudad de Hermosillo 158

Tabla 56. Superficie total por Unidad Territorial de Planeación del Centro de Población de Hermosillo. 161

Tabla 57. Clasificación de ciudades principales de acuerdo a Regiones ecológicas y climáticas de México. 166

Tabla 58. Distribución mensual de la dirección del viento (%) 176

Tabla 59. Características principales de los MDE del territorio mexicano 182

Tabla 60. Superficie total sombreada 184

Tabla 61. Superficie total de vialidades por UTP de la ciudad de Hermosillo. 185

Figura 62. Superficie y porcentajes por tipo de material de vialidades 187

Tabla 63. Superficie de suelo (ha) por rangos de temperatura superficial 190

Tabla 64. Tipología de vegetación y suelo de acuerdo al PDMH. 191

Tabla 65. Superficie con vegetación por cada UTP 193

Tabla 66. Superficie de Espacios Abiertos por cada UTP 195

Tabla 67. Superficie de suelo (ha) por rangos de temperatura superficial de los espacios abiertos de la ciudad de Hermosillo. 198

Tabla 68. Superficie con vegetación calculada en los espacios abiertos de la ciudad de Hermosillo 200

Tabla 69. Superficie con vegetación calculada en los espacios abiertos de la ciudad de Hermosillo. 201

Tabla 70. Requerimientos del entorno urbano de la ciudad de Hermosillo y su nivel de prioridad 203

Tabla 71. Tabla de secciones de vialidades. Dimensionamiento según su clasificación. 255

INTRODUCCIÓN

Antecedentes de la investigación

Este proyecto surge, como respuesta a una serie de cuestionamientos planteados a partir del trabajo final de tesina del Máster en Gestión y Valoración Urbana, llamado Desarrollos Urbanos Integrales Sustentables: una utopía de la ciudad perfecta. En la cual se llevó a cabo el análisis de un modelo de certificación para desarrollos habitacionales en México, llamado DUIS (Desarrollos Urbanos Integrales Sustentables), impulsado por el gobierno federal en el periodo del 2006 al 2012 y que significó una herramienta clave en la política de vivienda y de desarrollo urbano sostenible del país.

Los DUIS pretendían ser un modelo de certificación que propiciara un entorno sustentable bajo un enfoque sistémico que abarcara la calidad de vida, la productividad, la inclusión social y la sustentabilidad ambiental. Además, una vez lograda la certificación, se accedía a una canasta de incentivos que iban desde la asesoría técnica hasta el financiamiento para infraestructura; lo cierto también era que los costes para iniciar el proceso de certificación DUIS, eran altos, por lo que normalmente las pequeñas empresas no podían acceder a este y por tanto, quedaban fuera de la posibilidad de poder acceder a estos recursos.

Sin embargo, uno de los aspectos que fueron determinantes y que dieron pie a esta investigación, fue el análisis realizado a la metodología de gestión (METDUIS), en la cual, uno de los aspectos que se evaluaban del proyecto era el diseño bioclimático tanto de las viviendas como del entorno urbano.

La hipótesis planteada era que “la certificación de los Desarrollos Urbanos Integrales Sustentables tiene grandes vacíos metodológicos que propician que la generación de estos tenga como motivación principal los beneficios económicos que se pueden adquirir a través de la canasta de incentivos y una mejor venta de vivienda, más que la de un verdadero desarrollo sustentable”.

Esto inicialmente surge a partir de la comparación de uno de los proyectos de la constructora que había logrado obtener la certificación DUIS al norte del país, con uno de la misma empresa que no tenía dicha distinción, se identificó que los patrones de diseño de las viviendas eran muy similares y que carecían de un diseño acorde a las características climáticas del lugar. Lo cual se asumió como un resultado derivado de los requerimientos de la metodología, al establecer el diseño bioclimático de las edificaciones y del entorno urbano, como criterios no obligatorios y que permitía subsanar esa carencia con la implementación de otro tipo de elementos al interior de las viviendas (focos ahorradores, calentadores solares, materiales de aislamiento térmico, etc).

Como parte de dicho trabajo, además de hacer un análisis crítico de la METDUIS, esta se aplicó a un estudio de caso; el desarrollo habitacional El Rehilete, ubicado en la localidad de Villagrán, Gto., México; el cual fue el primer desarrollo en entrar en este proceso, pero el segundo en ser certificado como DUIS. Asimismo, se realizó un análisis climático de manera más profunda de lo que señala o pide la METDUIS, a los espacios exteriores en general y a las viviendas, para determinar si sus características de estructura y morfología urbana eran acorde al clima local.

Además, se aplicó la metodología LEED ND[2] para determinar la puntuación que podría obtener el Desarrollo habitacional de acuerdo a los criterios de este sistema de certificación. En el cual, obtuvo finalmente una calificación de 40 puntos, que representan la puntuación mínima para poder obtener la certificación LEED. En este caso la mayor puntuación se obtuvo en el área de *Neighborhood Pattern and Design* con 19 puntos, seguido *Smart Location and Linkage* con 14 puntos y finalmente Green *Infrastructure and Buildings* con 7 puntos. De esta última puntuación se puede inferir que la METDUIS daba énfasis a otros aspectos a evaluar en torno a la infraestructura y las edificaciones verdes, en comparación con la LEED.

Tabla 1. Análisis LEED-ND

Smart Location and Linkage	Points	Neighborhood Pattern and Design	Points	Green Infrastructure and Buildings	Points
Location	4	Walkable Streets	4	Construction Techniques	1
Ecosystems and Open Spaces	3	Compact Development	3	Energy Efficiency and Conservation	0
Contaminated Sites	3	Neighborhood Connections	1	Energy Production and Distribution	0
Transit-Accessible Locations	3	Mixes Uses	1	Water Efficiency and Conservation	0
Cycling Facilities	1	Affordable and Diverse Housing	3	Stormwater and Wastewater	6
Jobs and Housing Proximity	0	Parking and Transportation Demand	1	Green Building Process	0
		Parks and Recreation	2	Historic and Existing Building Reuse	0
		Universal Design	1	Heat Islands	0
		Community Participation	2	Recycling and Reuse	0
		Local Food	0	Light Pollution	0
		School Access and Design	1		
SUBTOTAL	**14**	SUBTOTAL	**19**	SUBTOTAL	**7**
		CERTIFICATION ESTIMATES		**TOTAL**	**40**
CERTIFIED 40-49 POINTS	**X**	SILVER 50-59 POINTS	**-**	GOLD 60-79 PONTS	**-**
PLATINUM 80+ POINTS	**-**				

Fuente: (Barrera, 2014:73).

Además, se realizó un análisis FODA al modelo urbano DUIS, tomando en cuenta los diferentes lineamientos y procesos que deben seguir para obtener la certificación, así como las dinámicas que surgen entre los diferentes agentes participantes. Se retomó la experiencia obtenida del análisis del caso de estudio de El Rehilete, para determinar los aspectos internos y externos que pudieron llegar a afectar el modelo.

Tabla 2. Análisis FODA para los DUIS

	FORTALEZAS	DEBILIDADES
Análisis Interno	Se tiene una metodología específica	Falta de normatividad especializada; genera ambigüedad
	Incorpora el diseño bioclimático urbano y arquitectónico	sólo criterios, no se exigen estudios específicos
	Se tiene respaldo a los colonos	Se termina cuando salga el desarrollador
	Se impulsa la generación de mejor infraestructura	Puede cambiar dependiendo de los proyectos Municipales, Estatales o Federales

[2] En el Master de Planificación Urbana, Sostenibilidad y Cambio Climático de la UPC, se desarrolla, *Ecobarrios. Evaluación urbana y ambiental a partir de la guía LEED for Neighborhood Develpment* (Arellano et al., 2016), como parte del proceso de formación de los alumnos en esta área.

	Se impulsa el adecuado manejo de los recursos hídricos y energéticos	No en todas las escalas de intervención
	Se tiene seguimiento para cumplir con el proyecto	Si no se cumple se puede cancelar o posponer la canasta de incentivos
	OPORTUNIDADES	**AMENAZAS**
Análisis Externo	El modelo DUIS es el que más consolidado como política pública	Las políticas públicas pueden cambiar cada sexenio
	Gran interés por generar nuevos desarrollos certificados	No es económicamente accesible a todos los desarrolladores
	Varios agentes de los tres niveles de gobierno involucrados y consultores	No se involucra a la sociedad en los procesos
	Se tiene canasta de incentivos	Puede ser el principal motor de gestión y no el desarrollo sustentable.
	Son claros los objetivos del DUIS	La metodología de certificación puede generar ambigüedades
	Se propone como un modelo de ciudad sustentable	Se vende como fraccionamiento sustentable

Fuente: Barrera, 2014:74

Al final se concluyó que los vacíos metodológicos de la certificación DUIS no son los que propician por sí mismos, que la principal motivación de los desarrolladores sean los beneficios económicos, más que el verdadero desarrollo sustentable. Sin embargo, sí es a través de la metodología que se pueden limitar estas intenciones y fomentar el desarrollo sustentable en los DUIS.

Por tanto y a partir de esto, es que se plantearon una nueva serie de cuestionamientos al respecto:

- ¿Bajo qué mecanismo se puede determinar si el crecimiento y la planificación urbana están siendo gestionados adecuadamente conforme al clima local?
- ¿Qué tipo de herramientas de gestión y análisis de la información del medio físico construido y de análisis climático, permiten realizar el estudio a escala de ciudad?
- ¿Cuáles son los indicadores que permiten evaluar a escala de ciudad, el estado del medio físico construido y del medio ambiente, para determinar si en conjunto son adecuados con respecto al clima local?
- ¿Es posible desarrollar un diagnóstico adecuado y lo suficientemente específico de las características del medio físico construido en relación con sus características climáticas a una escala de ciudad?

En un esfuerzo por resolver estas preguntas, es que surge el presente trabajo de investigación, el cual se plantea lo siguiente:

Hipótesis

A partir de una metodología de evaluación de la sostenibilidad urbana que contemple el estudio de toda la ciudad, es posible generar una planificación urbana adecuada conforme a sus características climáticas locales, sin tener que llegar al análisis detallado de una escala urbana más reducida. Es decir, a pesar de que la mayoría de las metodologías actuales se enfocan al análisis de escalas urbanas más pequeñas y el nivel de detalle es mayor, los resultados de esta propuesta son suficientes para generar las pautas de planificación urbana futuras que requiere la ciudad evaluada, ya sea para crecer o reestructurarse acorde a sus características climáticas, geomorfológicas y/o construidas.

Objetivo principal

Desarrollar una metodología en el marco medioambiental de la sostenibilidad urbana, que permita evaluar de la ciudad, su medio físico construido en relación con sus características climáticas, con el objetivo de determinar si su crecimiento y estructura son acorde al clima local de la misma; y que finalmente permita presentar una serie de recomendaciones o pautas de planificación que permitan acercar a la ciudad a cumplir con este objetivo.

Objetivos secundarios

- Establecer un proceso metodológico que pueda ser aplicado a cualquier ciudad y para cualquiera de los cuatro tipos de clima (frío, templado, cálido-seco, cálido-húmedo).
- Desarrollar la metodología de tal modo que pueda ser complementaria a cualquier herramienta o modelo de evaluación de la sostenibilidad urbana vigente.
- Proponer herramientas y fuentes de información preferentemente de acceso abierto para tener una mayor facilidad en la gestión de datos y de procesamiento de los mismos.
- Aplicar la metodología a la ciudad de Hermosillo, Sonora en México, como un estudio de caso. Con el propósito de que pueda ser susceptible a aplicarse a cualquier otro caso.

Estructura y Metodología

El cuerpo del trabajo de tesis se llevó a cabo en cuatro etapas de trabajo que conformaron los cinco capítulos finales que a continuación se describen (ver figura 1):

Etapa 1. Estado de la cuestión
Capítulo I y II

En el primer capítulo se describe de manera general el tema de la sostenibilidad urbana y las implicaciones que tienen hoy en día las ciudades en el cambio climático. Asimismo, se desarrollan los diferentes enfoques y propuestas que hay en torno a los modelos de evaluación, identificando un total de 63 herramientas, modelos y metodologías que actualmente son empleadas para evaluar la sostenibilidad a diversas escalas urbanas.

No obstante, se analizan de manera puntual aquellas que se enfocan al estudio de la escala de ciudad, poniendo énfasis en los indicadores que se emplean para realizar sus diagnósticos, particularmente aquellos enfocados en el estudio de las características climáticas y del medio físico construido, y si metodológicamente generan una relación entre sí.

En cuanto al capítulo II, este desarrolla primeramente el tema de las características básicas de las escalas climáticas y sus diferentes manifestaciones. Posteriormente se desarrollan las implicaciones que llegan a tener ciertos elementos del Medio físico Construido en el microclima urbano, en algunos casos inclusive, dependiendo del tipo de clima. Se desarrolla también el tema del confort térmico y la importancia que este tiene en los espacios abiertos, además de algunas de las formas que se mide e interpreta este aspecto. Asimismo, el balance energético urbano es un tema que se explica brevemente en este capítulo, con el objetivo de esclarecer la importancia conocer los elementos de energía que interactúan en las ciudades y de mantenerlos en equilibrio.

Por tanto, se desarrolla posteriormente el tema del urbanismo bioclimático bajo diferentes enfoques empleado por diversos autores. Finalmente, se plantean las características principales que debería tener un proceso de planificación empleando el urbanismo bioclimático como herramienta para proponer proyectos o estrategias que hagan de los espacios urbanos lugares adecuados de acuerdo a su clima.

Etapa 2. Propuesta
Capítulo III

En este caso, en el capítulo se desarrolla la propuesta metodológica de evaluación de la sostenibilidad urbana que pretende ser una herramienta que pueda aplicarse a cualquiera de los cuatro tipos de clima propuestos por Olgyay (frío, templado, cálido-seco, cálido-húmedo), así como también aplicarlo a cualquier ciudad.

La metodología se conforma de 6 fases: 1) descripción del caso de estudio; 2) análisis climático; 3) Requerimientos del entorno; 4) análisis del Medio físico construido; 5) Evaluación; 6) recomendaciones. En esta propuesta se desarrollan cada uno de los conceptos y elementos que se pretenden medir y evaluar, así como la propuesta de una serie de herramientas y fuentes de información que pueden servir en la recopilación y procesamiento de la información. Además, en la fase de evaluación, se propone un sistema de puntuación de los resultados, basado en el desarrollo de la etapa 1 de esta metodología.

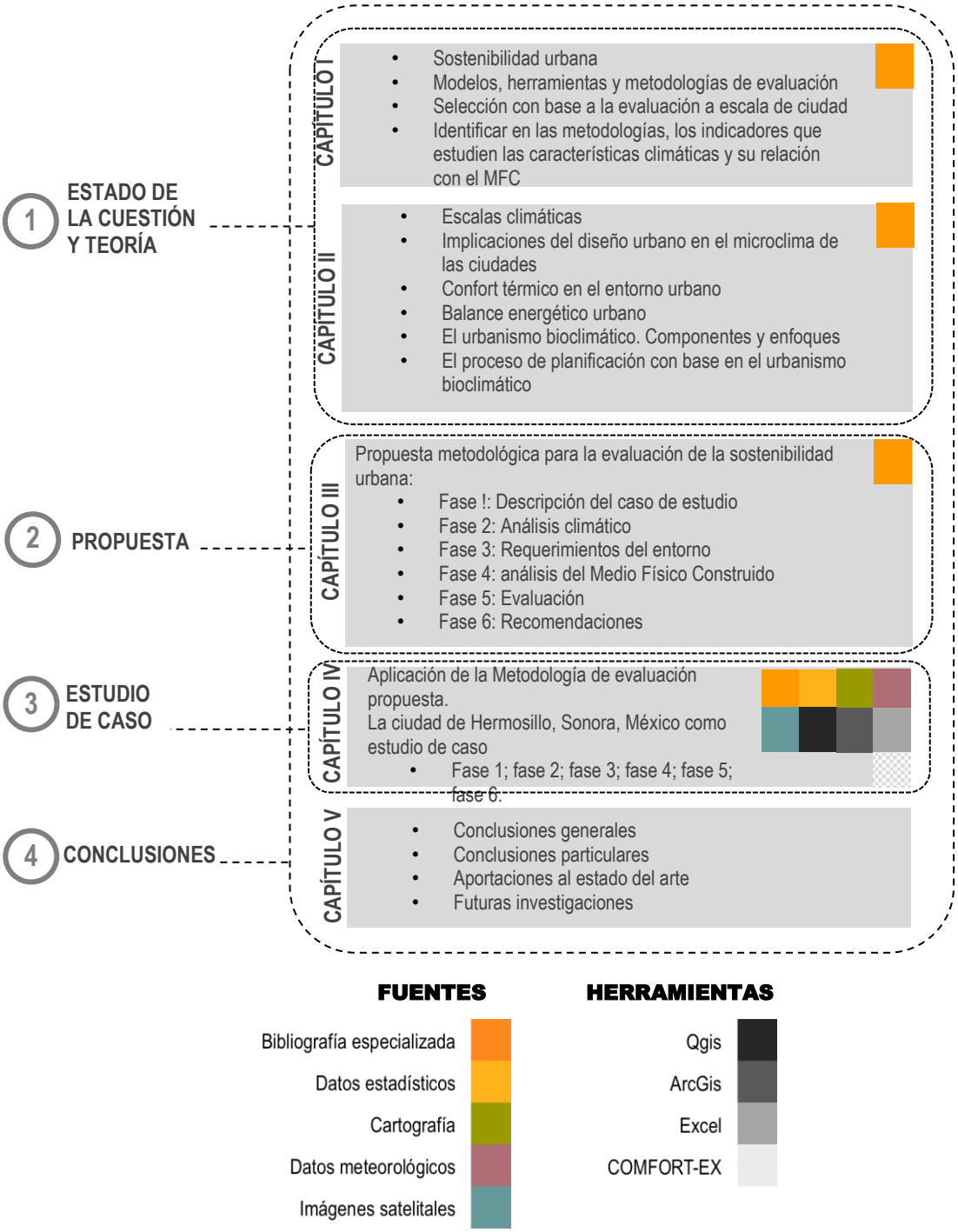
Etapa 3. Estudio de caso
Capítulo IV

Este capítulo presenta la propuesta metodológica aplicada al estudio de caso de la ciudad de Hermosillo, Sonora en México. Donde se llevaron a cabo cada una de las fases propuestas anteriormente y determinar finalmente si son adecuadas para llevar a cabo cada uno de los procesos de la metodología. Es decir, la intención no es únicamente la de mostrar si la ciudad está configurándose conforme a su tipo de clima, sino la de verificar los procesos planteados y determinar las posibles problemáticas que surjan de la misma.

Etapa 4. Conclusiones
Capítulo V

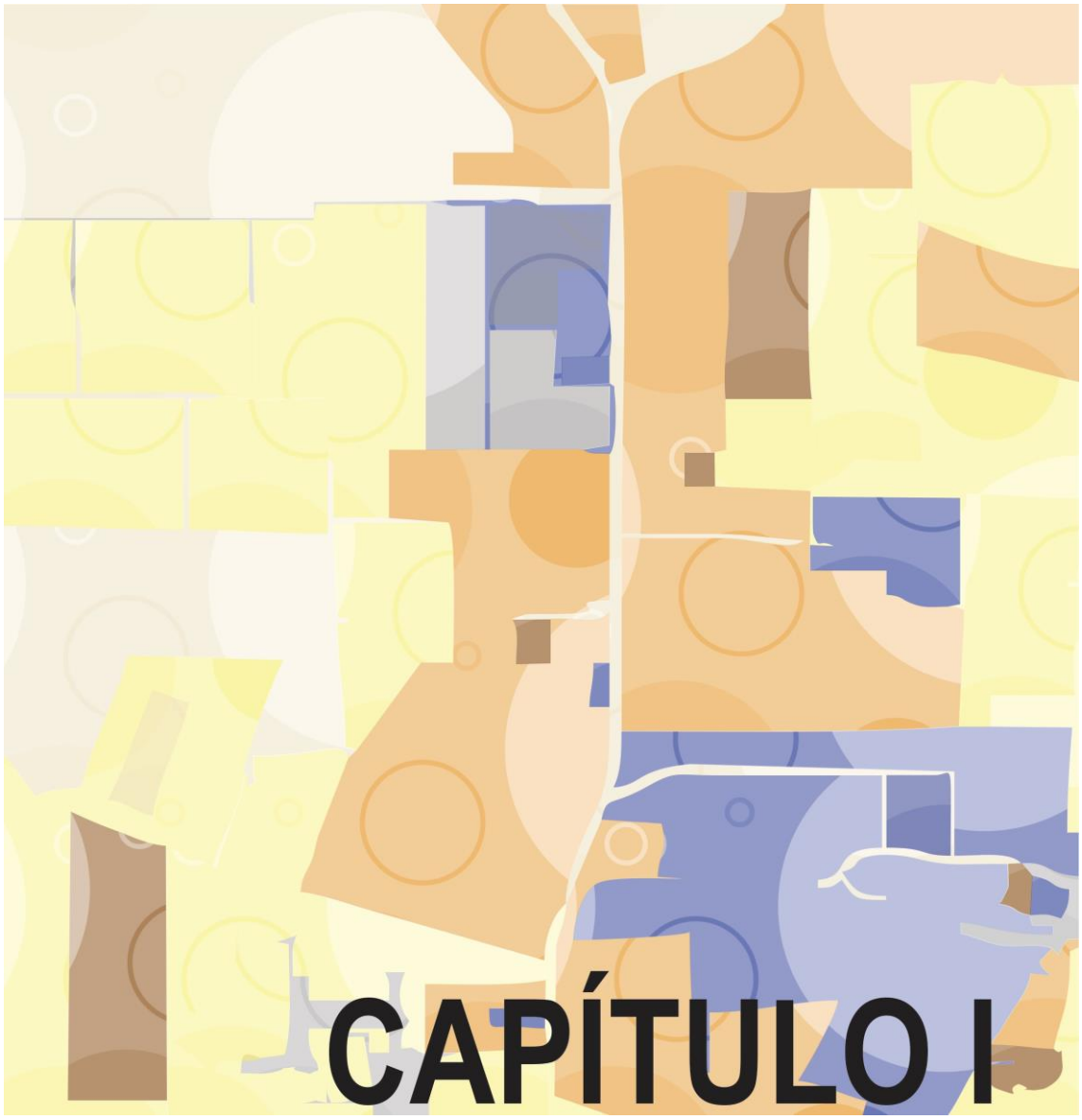
Finalmente, este capítulo presenta las conclusiones generales a las que se han llegado a partir del desarrollo de todo el trabajo de tesis. Además, las conclusiones particulares dan respuesta a cada una de las preguntas de investigación planteadas en un inicio, así como a otros aspectos que permiten complementarlas. Asimismo, se plantea lo que este trabajo de tesis, como nueva contribución al conocimiento, aporta al estado de la cuestión, así como las nuevas líneas de investigación o futuras aportaciones que pueden derivar de la misma.

Figura 1. Metodología de la investigación



Fuente: elaboración propia.

Este planteamiento surge como parte del proyecto, *La Isla de Calor Urbana: Efectos en el cambio climático y modelado para estrategias de planeamiento territorial y urbano. Aplicación a la Región Metropolitana de Barcelona*; cuyo objetivo es el estudiar los factores climáticos, geográficos, territoriales y urbanos que determinan la isla de calor urbano del sistema metropolitano de Barcelona, para ayudar a la toma de decisiones en torno a la planificación y gestión urbana para mitigar los efectos adversos del cambio climático (Urban-CLIMPLAN, 2017)



CAPÍTULO I

LA SOSTENIBILIDAD URBANA Y SU EVALUACIÓN

La primera parte del presente capítulo, se dedica a plantear un escenario general de las características y objetivos que tiene la sostenibilidad en el ámbito urbano y cómo esta ha sido elemento clave en las diferentes propuestas de conservación y/o recuperación medioambiental, social y económica a diferentes escalas de planeación. Sin embargo, se tiene como finalidad principal, hacer un análisis descriptivo y crítico de los diferentes modelos y herramientas de la sostenibilidad urbana empleados en la actualidad en distintas partes del mundo.

1.1. La sostenibilidad en el marco del urbanismo

Desde el inicio, los recursos y factores ambientales han sido la principal fuerza motriz detrás de cada transformación social y territorial en la historia del hombre. El estilo de vida nómada, los primeros asentamientos agrícolas, la industrialización y la globalización, han sido cambios tan significativos en la forma de transformar y administrar los recursos naturales, que han tenido grandes implicaciones en el medio ambiente, la sociedad, la cultura y su forma de gestionarla hoy en día (Mebratu, 1998).

El medio ambiente no está desligado de las acciones humanas, sus necesidades y sus retos, y por tanto no es posible entenderlo y defenderlo de manera aislada. Esto pasa igualmente con el concepto de desarrollo, que este se ha asociado principalmente al nivel de pobreza de las naciones y los procesos que deben hacer para volverse más ricos (Kates, Parris, & Leiserowitz, 2005).

El tema de la sostenibilidad surge como respuesta ante una crisis medioambiental generada a partir del daño infringido por las actividades humanas y que cada vez eran (o son) más insostenibles. Así pues, desde principios del siglo XXI, el tema del desarrollo sostenible ha sido tema clave en innumerables discursos de gestión y planificación del entorno en el que el ser humano se desenvuelve y desarrolla. Dicho término se concibe a partir de la raíz de las palabras que lo conforman, es decir, de acuerdo con Brandon y Lombardi "desarrollo se refiere a mejorar o llevar a un estado más avanzado; mientras que sostener significa continuar sin disminuir, para nutrir, para que florezca" (2011:13). Por lo tanto, el desarrollo sostenible es acerca de facilitar el mejoramiento o progreso sin poner en peligro lo que ya existe.

Al hablar de sostenibilidad no se debe pretender que todo sea estático y sin cambios, ni tampoco de mantener el status quo o de alcanzar la perfección. *Desarrollo* tampoco significa que todo debe ser cada vez más grande, sino más bien al mejoramiento cualitativo. Esta premisa pretendería manifestarse en el momento en que los asentamientos humanos parasen el crecimiento de sus límites y la planificación se enfocara en el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes.

Por tanto, el concepto de desarrollo sostenible emergió como una nueva pauta de planeación con propósitos principalmente económicos y ambientales relacionados al estado de mantenimiento y conservación de los recursos y condiciones existentes, haciendo referencia a la capacidad de garantizar su soporte sin causar deterioro en tiempo y espacio (World Commission on Environment and Development, 1987).

A partir de esta intención, se han desarrollado un sinnúmero de iniciativas a nivel local, nacional y global en un intento de hacer frente a los diferentes desafíos ambientales que enfrenta el planeta actualmente. Se han incrementado significativamente el desarrollo de políticas en todos sus niveles, haciendo de la sostenibilidad, uno de los temas claves de discursos políticos, agendas internacionales y organizaciones de negocios.

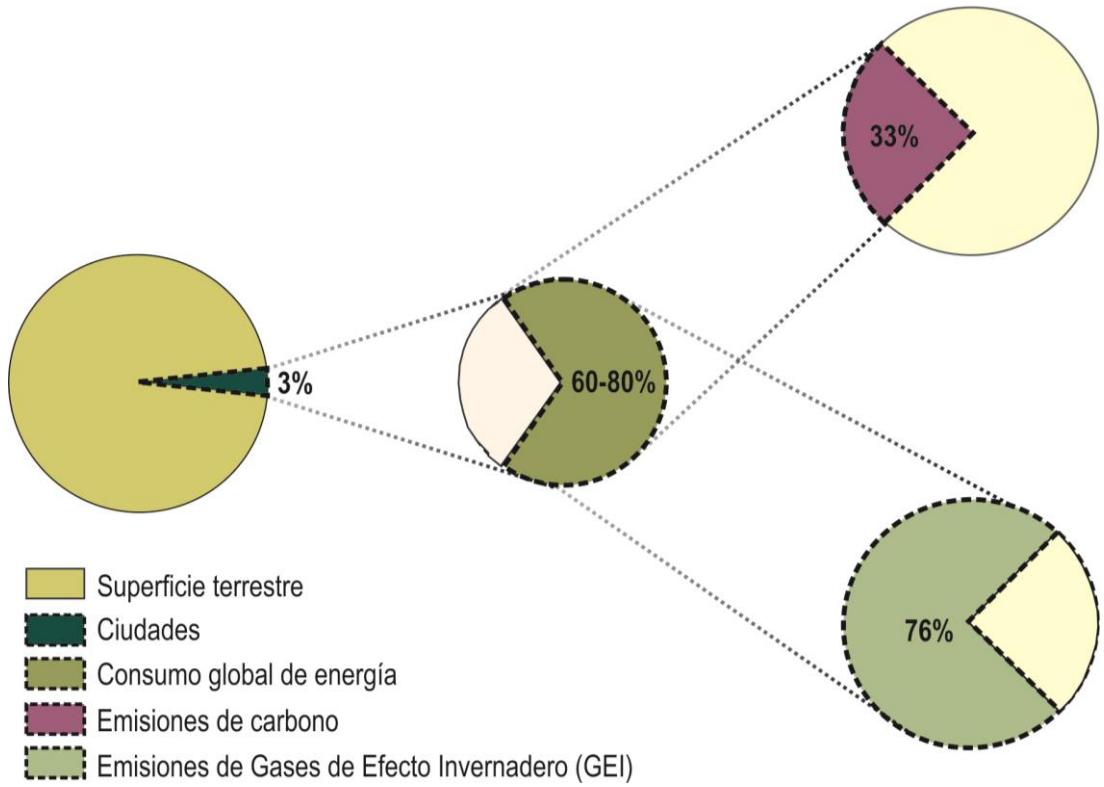
Giuseppe Munda (2001) identifica cuatro tipo de capitales de la sostenibilidad general de la ciudad: el natural, el humano, el social, el lugar donde estos capitales se combinan y el artificial. A estos dos últimos se les ha llamado de diferentes formas: medio físico artificial, medio físico transformado o medio físico construido, que de acuerdo con Sarkis (2009), se refiere a todos los edificios y espacios para vivir que son

creados o modificados por las personas; esto incluye los elementos de infraestructura, los espacios abiertos y el mobiliario urbano.

1.1.1. La ciudad y sus implicaciones en el cambio climático

Actualmente la mitad de la población mundial vive en las ciudades, pero a pesar de que ocupan únicamente un 3 por ciento de la superficie terrestre, estas representan entre el 60 y 80% del consumo de energía global y el 75% de las emisiones de carbono, contribuyendo así a por lo menos un 30 % anual de las emisiones de gases de efecto invernadero globales (Naciones Unidas, 2015; UNEP SBCI & Sustainable United Nations, 2009:9)(ver figura 2). Particularmente en la Unión Europea se identifica a los edificios como los consumidores de un 40% de la energía, mientras que el transporte representa el 30% del consumo de energía final (J. Roca, n.d.)

Figura 2. Emisiones de gases de efecto invernadero a partir del consumo de energía de las ciudades



Fuente: elaboración propia con base en Naciones Unidas, 2015 y UNEP SBCI & Sustainable United Nations, 2009:9.

Por tanto, parte de la estrategia para mitigar el aumento de la temperatura global es la de generar compromisos y políticas que lleven a la eficiencia energética en todos los sectores de consumo a partir del mejoramiento de los servicios, así como la transformación, generación y tipo de fuente energética, en el entendido de que dichas políticas deben ser efectivas evitando el crecimiento del consumo de energía sin afectar los servicios de uso.

En el mismo contexto, uno de los objetivos globales a largo plazo es el de aplicar medidas urgentes para mantener la temperatura media global por debajo de los 2ºC con respecto a los niveles preindustriales, para lo cual, la reducción de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) es necesaria para lograrlo.

A nivel mundial, los GEI son producidos a partir de diferentes fuentes tales como, la generación de energía eléctrica, la industria[3], el transporte, las edificaciones, la agricultura, entre otros (International Energy Agency, 2015).

En cuanto al sector edilicio a nivel global, las mayores emisiones de GEI se originan a partir del consumo de energía para climatización de espacios interiores, especialmente la calefacción, la refrigeración, así como el uso de agua caliente sanitaria y la iluminación.

Por tanto, el consumo de energía durante la fase operacional de un edificio es la que más contribuye a la generación de emisiones GEI, y depende en gran medida de la interrelación de diferentes factores como la localización y el clima; tipo y uso; diseño y tipo de materiales; nivel de demanda, fuente y suministro de energía; y el nivel de ingresos y comportamiento de los usuarios. Sin embargo, son las condiciones climáticas y el tipo de ambiente en el que se encuentra inmerso un edificio, lo que afecta cada aspecto del uso de energía del mismo durante su vida útil (UNEP SBCI y Sustainable United Nations, 2009).

En Estados Unidos por ejemplo, el consumo energético medio anual para climatización de edificios residenciales puede variar entre el 26 y el 58 por ciento entre un clima cálido y uno frío (International Energy Agency, 2015); por otro lado, en España varía entre el 40.1 y el 55.3 por ciento dependiendo de la región climática (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2011).

Aunado a lo anterior, los procesos de transformación y consumo de energía para proveer este tipo de servicios, suelen estar asociados al incremento de temperatura en las zonas urbanas conocidas como el efecto de la Isla de Calor Urbano (ICU), donde se puede llegar a tener una diferencia de hasta 7ºC entre algunas zonas de la ciudad y sus áreas circundantes.

Algunas investigaciones han demostrado que los requerimientos de energía para la climatización de edificios, pueden estar influenciados por el efecto de la ICU, en la cual, la mitigación de la misma puede significar una importante reducción en el consumo de energía (Magli, Lodi, Lombroso, Muscio, & Teggi, 2014).

En este caso, los factores climáticos locales, la vegetación, el agua, la morfología y los materiales (Kleerekoper, van Esch y Salcedo, 2012), son elementos que bajo determinada disposición y características, pueden mitigar el efecto de dicho fenómeno y generar microclimas que permitan no únicamente un menor consumo de energía que a su vez lleve a una disminución en las emisiones de GEI, sino también, propiciar un mejoramiento en el confort higrotérmico urbano.

En este sentido, evaluar el impacto potencial de las intervenciones de la planeación de estos y otros componentes que interactúan en el medio ambiente natural y urbano, puede significar una gran contribución al desarrollo sostenible y a la mitigación de los efectos del cambio climático. Por tanto, se entiende que los métodos de evaluación de la sostenibilidad urbana van más allá de únicamente analizar y aplicar los principios generales de la misma para determinar en qué medida, ciertas acciones podrían hacer avanzar o retroceder en sus objetivos de sostenibilidad.

[3] los procesos para fabricar cemento y acero son los que más GEI producen en comparación con cualquier otro proceso industrial.

1.2. Los modelos de evaluación como una herramienta de gestión y planeación urbana sostenible

El término de la evaluación de la sostenibilidad se utiliza tanto en la teoría como en la práctica en dos contextos diferentes. El primero sirve para comprobar si una comunidad está avanzando hacia la sostenibilidad, ya que funcionan como un sistema de auditoría o de rendimiento; y por otro lado, el segundo contexto sirve para evaluar los impactos de los procesos de los proyectos propuestos, planes, legislación y políticas, antes y después de su implementación (Adinyira, Oteng-seifah y Adjei-kumi, 2007).

En este contexto, el autor identifica tres grupos de metodologías de evaluación de la sustentabilidad urbana de acuerdo a sus fundamentos:

- **Métodos para el medio ambiente en general:** se identifican principalmente por el uso de check list o matrices y evaluaciones llevadas a cabo utilizando métodos de marcos lógicos, análisis costo-beneficio y evaluaciones multicriterio. Se centran en los flujos de energía y materia y son bastante limitadas para poder aplicarse a las políticas de planeación, programas de desarrollo y diseño urbano.

- **Métodos de evaluación de Ciclo de Vida:** en este se intenta abordar la problemática de la sostenibilidad tales como los límites ambientales, la equidad social y la participación de los interesados. Los métodos LCA (Life Cicle Assessment) a diferencia de los métodos para el medio ambiente, analizan un rango más amplio de actividades y escalas urbanas (económicas, sociales y ambientales), sin embargo, fallan al tratar de integrarlas en una sola evaluación.

- **Métodos de indicadores de sostenibilidad:** este tipo de metodologías utiliza un gran rango de indicadores para caracterizar las diferentes dimensiones y aspectos del desarrollo urbano, mediante los cuales se puede dar seguimiento a los progresos en torno a la sostenibilidad. Estos indicadores se basan en interacciones clave y mecanismos de retroalimentación entre la infraestructura y los sistemas ambientales, sociales y económicos circundantes. Asimismo, utiliza criterios de sostenibilidad e indicadores como una manera de entender y cuantificar los efectos de las interacciones. Este tipo de métodos no sirven cuando los indicadores son considerados de forma aislada.

Por otro lado, (Singh, Murty, Gupta, & Dikshit, 2009:194) se identifica que las metodologías de evaluación de sostenibilidad se clasifican en dos categorías, en aquellas que se basan en la corriente principal económica y las basadas en indicadores físicos.

Además, se tiene también aquellas que se basan en los procesos energéticos de la ciudad a partir del **balance de energías entrantes y saliente**s. El cual engloba todas las formas de energía en una unidad común de cuantificación y manifiesta las relaciones entre las entradas, salidas y transformaciones de energía de los diferentes sectores de un lugar (Gómez-Ceballos & Richard, 2015).

A partir de la Emergía, es que se puede cuantificar y medir la calidad de las diferentes formas de energía y recursos empleados en los diferentes procesos que generan un producto o servicio, tales como el agua, la radiación solar, los combustibles fósiles, etc. (J. Roca, n.d.).

Por tanto, un sistema de metabolismo urbano puede ser examinado a través de sus flujos, incluyendo los de agua, materiales y nutrientes, para desarrollar y cuantificar las cargas que soportan los sistemas urbanos y los desperdicios generados por los diferentes procesos de las ciudades. Las principales actividades urbanas que se estudian son: a) nutrición y recuperación; b) limpieza; c) residencia y trabajo; d) transporte y comunicación; los cuales son evaluados a partir de los principales componentes del metabolismo urbano: agua, comida (biomasa), materiales de construcción y energía (Holmes & Pincetl, 2012)

Así pues, en las últimas tres décadas se han desarrollado diferentes tipos de herramientas y modelos de evaluación, con el objetivo de detectar los nichos de oportunidad para corregir o mejorar las estrategias de planificación y diseño de las ciudades que conlleven a esa mejora. Entendiendo estas como un proceso técnico-científico que emite un juicio basado en valores acerca de los impactos de una política o una acción físico-ambiental, o para evaluar los efectos de estos impactos en la comunidad (Brandon & Lombardi, 2011), para posteriormente planificar con perspectivas a corto, mediano o largo plazo (Singh et al., 2009). Dentro de las cuales, la mayoría de estas prácticas se enfocan en el análisis de 4 dimensiones: la ambiental, la económica, la social y la gubernamental (Shen, Ochoa, Shah, & Zhang, 2011).

En este contexto, otras (Gago, Roldan, Pacheco-Torres, & Ordóñez, 2013; Perini & Magliocco, 2014; Quan, Economou, Grasl, & Yang, 2014; Schiller, 2001; Taha, 1997; Taslim, Parapari, & Shafaghat, 2014) han estudiado la interrelación de características más específicas del medio físico construido y aspectos ambientales, tales como:

- Materiales de las superficies: tipología, albedo y características térmicas.
- Vegetación: tipología y distribución dentro de la ciudad
- Factores Climáticos: Radiación solar, Humedad relativa, viento, nubosidad.
- Densidad edificatoria: tanto en altura como en extensión de superficie
- Morfología urbana: Geometría, orientación, skyview factor
- Sombreamiento: generado a partir de edificaciones, vegetación, infraestructura, etc.
- Uso de suelo: industrial, comercial, residencial, áreas verdes, etc.

A partir de lo cual, se ha establecido una importante relación con la generación o mitigación de la ICU; el consumo energético; el cambio climático; el confort higrotérmico en espacios abiertos; etc., demostrando que la interrelación de este tipo de elementos puede generar grandes cambios en la apreciación, operación y desarrollo del espacio urbano, así como sus implicaciones en las edificaciones que contiene. De acuerdo a un estudio realizado por Gago (Gago et al., 2013), la optimización del espacio urbano a través del diseño y la planeación en relación con el consumo de energía de los edificios, permite un ahorro de hasta un 30%.

Actualmente, las metodologías basadas en el uso de indicadores han ido ganando mayor importancia y reconocimiento al funcionar como una herramienta útil en la generación de políticas públicas para el mejoramiento ambiental, social, económico y tecnológico, ya que este tipo de métodos permite simplificar, cuantificar y analizar la gran complejidad del medio ambiente dinámico para utilizar la información más significativa (Godfrey and Todd, 2001 citado en Singh, Murty, Gupta, & Dikshit, 2012). Sin embargo, un

indicador no dice nada acerca de la sostenibilidad, a menos que se tenga un valor de referencia, tales como los umbrales que le son dados.

En este sentido se han desarrollado un sinnúmero de modelos y herramientas de la sostenibilidad urbana que, en común, buscan mejorar las condiciones de vida de los habitantes, la protección y eficiente administración de los recursos naturales, la mitigación y adaptación al cambio climático, entre otros objetivos.

En general, este tipo de evaluaciones se llevan a cabo en cuatro etapas (ver figura 3):

- Diagnóstico: presenta el estado actual de los aspectos a evaluar, estos pueden ser cualitativos y/o cuantitativos;
- Estrategias: a partir de los resultados presentados en el diagnóstico, se establecen estrategias en torno a la planeación, las políticas, proyectos específicos y/o programas.
- Implementación: en esta etapa se llevan a cabo las estrategias
- Monitoreo: una vez que han sido implementadas las estrategias, se realizan revisiones periódicas de los avances que se van teniendo de manera paulatina en los compromisos adquiridos

Figura 3. Proceso de evaluación de la sostenibilidad urbana

Fuente: elaboración propia.

1.2.1. Principales herramientas y modelos de evaluación de la sostenibilidad urbana a nivel mundial.

En la tabla 3, se presentan las principales herramientas y modelos de evaluación de la sostenibilidad urbana empleados en los diferentes continentes y países del mundo. A partir de lo cual, se muestra que la mayoría de estos, han sido desarrolladas en América del Norte, especialmente en Estados Unidos con un total de 28 herramientas, de las cuales la LEED for Neighborhood Development se aplican también en Canadá y México, además de en otros países de Latinoamérica.

En el caso de Europa, la herramienta BREEAM Communities es la que se emplea mayormente en el continente, ya que países como Reino Unido, Alemania, Austria, Noruega, Holanda España y Suecia, la utilizan actualmente para la planeación de nuevos barrios urbanos con características sostenibles.

Por otro lado, en Asia, si bien se tiene una menor cantidad de herramientas, la variedad de la escala de aplicación de las mismas, ha permitido abarcar un rango mayor de estudio que Europa y otros continentes. Finalmente, en Latinoamérica, India, Australia, Oceanía y Asia/Medio Oriente, la cantidad del herramientas desarrolladas y aplicadas varía entre 1 y 3, a excepción de este último que contempla 5.

Tabla 3. Principales herramientas y modelos de evaluación de la sostenibilidad urbana y su escala de análisis.

AMÉRICA	EUROPA	ASIA
Estados Unidos	Reino Unido	China
Comp Plans for Sustaining Places	BREEAM Communities	MEP Eco-City
STAR Communities	One Planet Communities	MOHURD Eco-Garden City
Sustainable Communities	CEEQUAL	NDRC Low-Carbon City
Climate Positive Development	Francia	BEAM Plus Neighborhood Development (HK)
Enterprise Communities	HQE for Urban Planning & Develoment	Singapur
Green Land Development	CertiveA	Green Mark for Districs
LEED for Neighborhood Development	Alemania	Green Mark for Parks
Signature	BREEAM Communities	Green Mark for Infraestructure
2030 Districts	DGNB for bussiness Districs	Japón
Livability Index	DGNB for industrial Locations	CASBEE for Cities
Living Community Challenge	DGNB for Urban Districs	CASBEE for Urban Area + Buildings
Cooperative Sanctuary	Austria	CASBEE for Urban Development
SITES	BREEAM Communities	CASBEE for Heat Islands
BE2ST in Highways	Noruega	Philippines
BRT Standard	BREEAM Communities	BERDE for Clustered Development
Density VMT Calculator	Holanda	Malaysia
Envision	BREEAM Communities	GBI Townships
Greenroads	España	**AUSTRALIA**
INVEST	BREEAM Communities MCSPU[4]	EnviroDevelopment
PEER	Suecia	Green Star Communities
TOD Estándar	BREEAM Communities	IS Rating Tool
WalkScore	INDIA	**OCEANÍA**
Coastal Resilience Index	Green Townships	Nueva Zelanda

[4] Métodos de Certificación de la Sostenibilidad en Proyectos Urbanos, es una metodología que retoma las bases de la certificación LEED-ND y BREEAM Communities pero bajo la normatividad y desarrollo urbano Español. Una propuesta que se enfoca en la perspectiva de proyectos de nueva creación (Baeza, 2011)

H+T Affordability Index	**LATINOAMÉRICA**	Neighborhood Sustainability Framework
Local Energy Scoring Tool	Emerging and Sustainable Cities Iniciative	**INTERNACIONAL**
SEED	Brasil	GRI Const & Real Estate
STARS-AASHED	Aqua for Neighborhoods	**ASIA/MEDIO ORIENTE**
TBL Tool	LEED for Neighborhood Development	Qatar
Canadá	México	GSAS for Districts
LEED for Neighborhood Development	LEED for Neighborhood Development	GSAS for Parks
ÁFRICA		GSAS for Railways
Sudáfrica	DUIS/DECERT	Emiratos Árabes
Green Star Communities		Pearl Community for Estidama

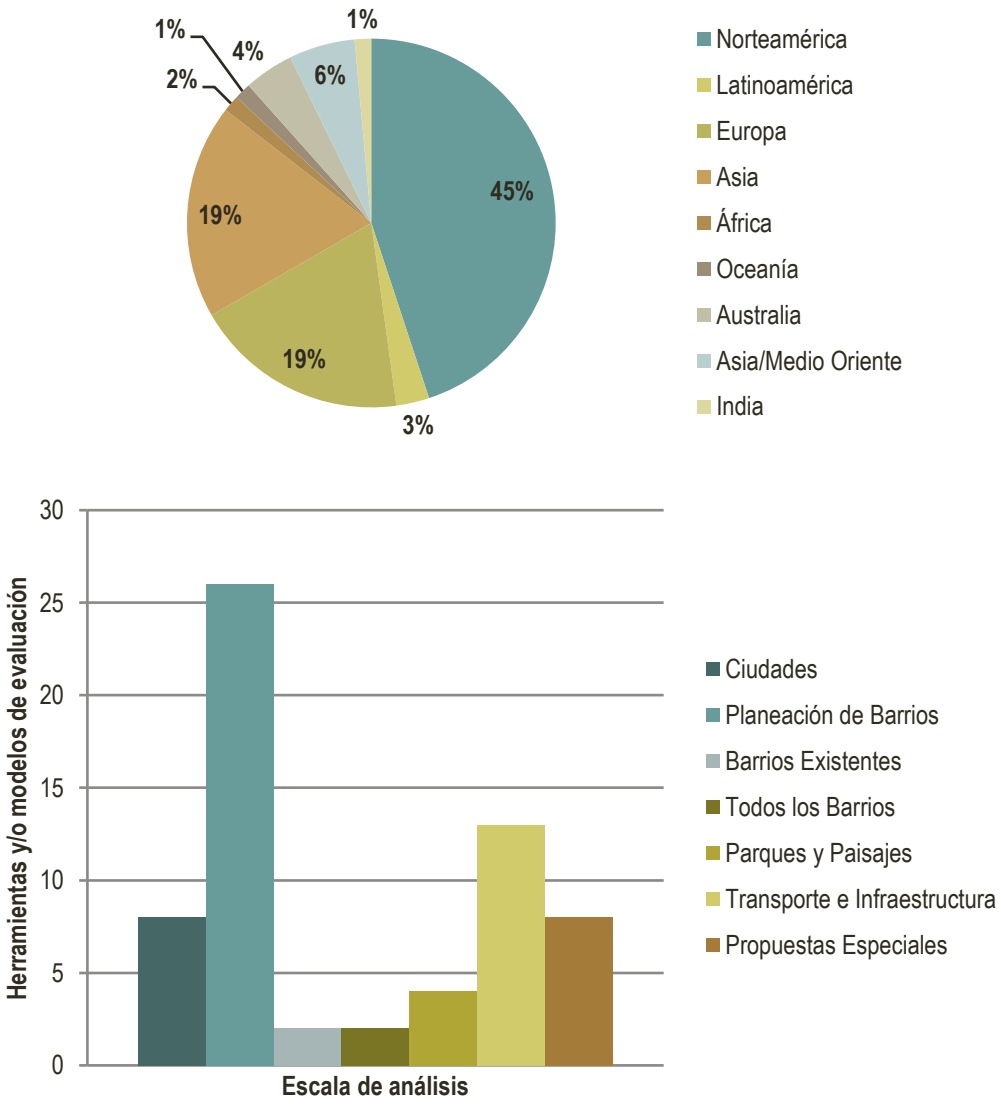
Ciudades
Planeación de Barrios
Barrios Existentes
Todos los Barrios
Parques y Paisajes
Transporte e Infraestructura
Propuestas Especiales

Fuente: elaboración propia a partir de los trabajos de investigación: Criterion Planners., 2014. A Global Survey of Urban Sustainability Rating Tools. Bakar, A.H. y Cheen, K.S., 2013. A Framework for Assessing the Sustainable Urban Development. Baez, 2011; La política Nacional de Vivienda en México 2013; y la metodología publicada por el Banco Interamericano de Desarrollo Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles, 2014.

En este caso se identificaron 63 diferentes herramientas o modelos[5], de los cuales 26 de ellos se enfocan en la planeación de barrios; 25 son para barrios ya existentes; 2 son para todo tipo de barrios; 4 para parques y paisajes; 13 para transporte e infraestructura; 8 para propuestas especiales; y únicamente 8 se aplican a escala de ciudad. Norteamérica concentra el 45% de estas herramientas, seguido de Asia y Europa con un 19% (ver figura 4)

[5] Se cuantificaron las herramientas y/o modelos de evaluación por cada tipo. Sin embargo, la clasificación de estos se hizo a partir de la propuesta del estudio *A Global Survey of Urban Sustainability Rating Tools* publicada por Criterion Planners en 2014.

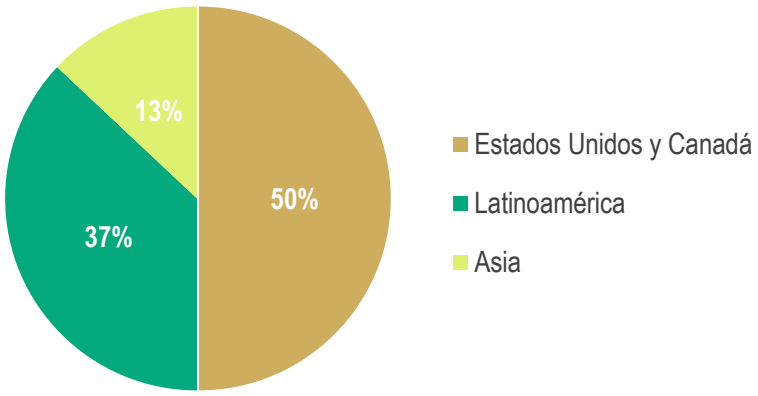
Figura 4. Ranking mundial de herramientas y modelos de evaluación de la sostenibilidad urbana y su escala de análisis



Fuente: elaboración propia con base en tabla 3.

A simple vista se puede ver en la figura 5, que Asia es el continente que más énfasis ha puesto en el desarrollo y aplicación de herramientas de evaluación para la escala de ciudades con un 50% de ellas, seguido de Estados Unidos y Canadá con un 37% y finalmente Latinoamérica con 13%; que en realidad este último porcentaje incluye únicamente la metodología de evaluación ICES del Banco Interamericano de Desarrollo.

Figura 5. continentes donde se aplican herramientas de evaluación de la sostenibilidad urbana a escala de ciudad



Fuente: elaboración propia con base en tabla 3

A partir de esta clasificación, se han seleccionado para su revisión, las 8 herramientas que son empleadas en la evaluación a escala de ciudad, enfocando el análisis en la dimensión ambiental de cada una de ellas y su manera de evaluar los efectos del cambio climático, las emisiones de GEI y la eficiencia energética, a través del uso de indicadores del medio físico construido y climáticos de las ciudades, en el entendido de que los modelos de evaluación actuales tendrían que abordar dentro de sus procesos de diagnóstico, aquellos que permitieran determinar el grado en que la actual estructura y conformación física de las ciudades en concordancia con sus características climáticas, inciden en este fenómeno.

Por tanto, para el análisis de las herramientas de evaluación a escala de ciudad, se han seleccionado 15 indicadores generales derivados de diferentes investigaciones que han establecido una relación de estos con el cambio climático, tales como el Confort térmico en edificaciones; Confort térmico en exteriores; Consumo/eficiencia energética en edificaciones; Consumo/eficiencia energética en espacios exteriores; Emisiones GEI en edificaciones; Emisiones GEI en exteriores; Factores climáticos; Vegetación; Adaptación al cambio climático; Topografía; Morfología urbana; Materiales de superficies; Orientación; Densidad; y la Isla de Calor Urbano. Entendiendo esta última como el resultado de la relación de varios de los indicadores antes mencionados.

Las evaluaciones enfocadas al estudio de las ciudades son:

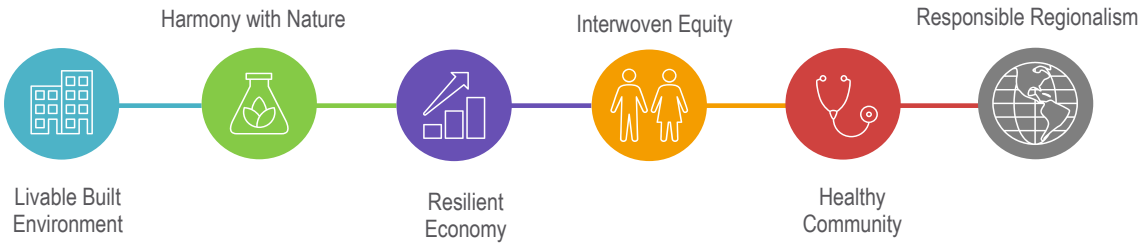
1.2.1.1. Comprehensive Plans standars for sustaining places

En general, el plan contiene un conjunto coherente de metas, objetivos, políticas y acciones basadas en las condiciones actuales de la comunidad o la ciudad, identificando sus fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas; estableciendo objetivos medibles; programas de acción; diseño con visión a futuro; especificación de políticas; y monitoreo y evaluación de los resultados del plan (American Planning Association, n.d.).

El sistema de desarrolla bajo seis principios enfocados en la habitabilidad del entorno construido, la armonía con la naturaleza, la resiliencia económica, la equidad, la comunidad saludable y el regionalismo

responsable, lo cual es medido a través del uso de indicadores. El resultado de estos se integran a un plan de puntuación que dependiendo del porcentaje total obtenido, se pueden clasificar en: Designado (básico) 70%; plata (medio) 80%; Oro (alto) 90% (Wason, 2014).

Figura 6. Principios de habitabilidad del entorno construido.



Fuente: elaboración propia.

Abordando aquellos aspectos que anteriormente se habían descrito como factores que influenciaban en la mitigación del cambio cli
mático, se tiene que, el objetivo del análisis del medio físico construido se enfoca en que todos los elementos del entorno urbano (incluyendo el uso de suelo, transporte, vivienda, energía y la infraestructura) trabajen de manera conjunta para proveer de espacios verdes y que permitan desarrollar todas las actividades humanas con una mayor calidad de vida.

Particularmente en el tema de energía propone la implementación de diseño verde y conservación de energía en edificios. Mientras que las estrategias para fomentar la adaptación al cambio climático, se enfocan en proveer energía a través de fuentes renovables y alentar el desarrollo que respete la topografía natural del lugar.

En términos generales, esta metodología está enfocada en incrementar la calidad de vida de la ciudad en términos económicos y sociales a partir de elementos sociales y la disposición del medio físico construido y el cuidado de los recursos naturales.

1.2.1.2. STAR Communities Rating Systems

Este es el primer programa de certificación nacional de Estados Unidos de América para evaluar la sostenibilidad local, cuyo sistema empleado se basa en dos tipos de medidas de evaluación: nivel de resultados comunitarios y acciones locales.

Los primeros son indicadores medibles que muestran el progreso de una comunidad hacia el estado ideal con respecto a los objetivos planteados por el programa STAR, cuyos resultados se representan como líneas de tendencia, metas o umbrales en un sistema de calificación (STAR Communities, 2015). Los segundos, las acciones locales, describen el rango de decisiones e inversiones que un gobierno local o de la comunidad pueden hacer, o las actividades en las que pueden participar y que son esenciales para el logro de los resultados deseados.

La metodología se basa en la aplicación de puntuaciones y ponderaciones a partir del análisis de cada uno de los indicadores propuestos por la metodología y dependiendo del estado actual, se le otorga una

puntuación de 0 a 20 dependiendo del record máximo por indicador, hasta llegar a sumar entre 50 a 100 puntos por cada área meta.

Las áreas meta son: medio físico construido (100 puntos); clima y energía (100 puntos); Empleo y economía (100 puntos); Educación, arte y comunidad (70 puntos); Equidad y empoderamiento (100 puntos); seguridad y salud (100 puntos); sistemas naturales (100 puntos); e innovación y procesos (50 puntos) (ver tabla 4).

Tabla 4. Áreas meta de la evaluación STAR Communities Rating Systems

Built Environment	Climate & Energy	Economy & Jobs	Education, Arts & Community	Equity & Empowerment	Health & Safety	Natural Systems
Ambient Noise & Light	Climate Adaptation	Business Retention & Development	Arts & Culture	Civic Engagement	Active Living	Green Infrastructure
Community Water Systems	Greenhouse Gas Mitigation	Green Market Development	Community Cohesion	Civil & Human Rights	Community Health & Health System	Invasive Species
Compact & Complete Communities	Greening the Energy Supply	Local Economy	Educational Opportunity & Attainment	Environmental Justice	Emergency Prevention & Response	Natural Resource Protection
Housing Affordability	Industrial Sector Resource Efficiency	Quality Jobs & Living Wages	Historic Preservation	Equitable Services & Access	Food Access & Nutrition	Outdoor Air Quality
Infil & Redevelopment	Resource Efficient Buildings	Targered Industry Development	Social & Cultural Diversity	Human Services	Indoor Air Quality	Water in the Environment
Public Spaces	Resource Efficient Public Infrastructure	Workforce Readiness		Poverty Prevention & Alleviation	Natural & Human Hazards	Working Lands
Transportation Choices	Waste Minimization				Safe Communities	

Fuente: (Starcommunities.org, 2017)

En cuanto a aquellos elementos que se analizan dentro de los indicadores del medio físico construido que puedan influenciar en el cambio climático, se considera la compacidad de la estructura urbana que permita la peatonalización de las calles del centro y los vecindarios para tener una mayor conexión entre los espacios.

Respecto al clima y la energía, esta se enfoca en el fortalecimiento de la resiliencia de las comunidades en torno al cambio climático y los impactos que genera en los sistemas económicos, sociales y el medio natural y construido, así como en la mitigación de los GEI.

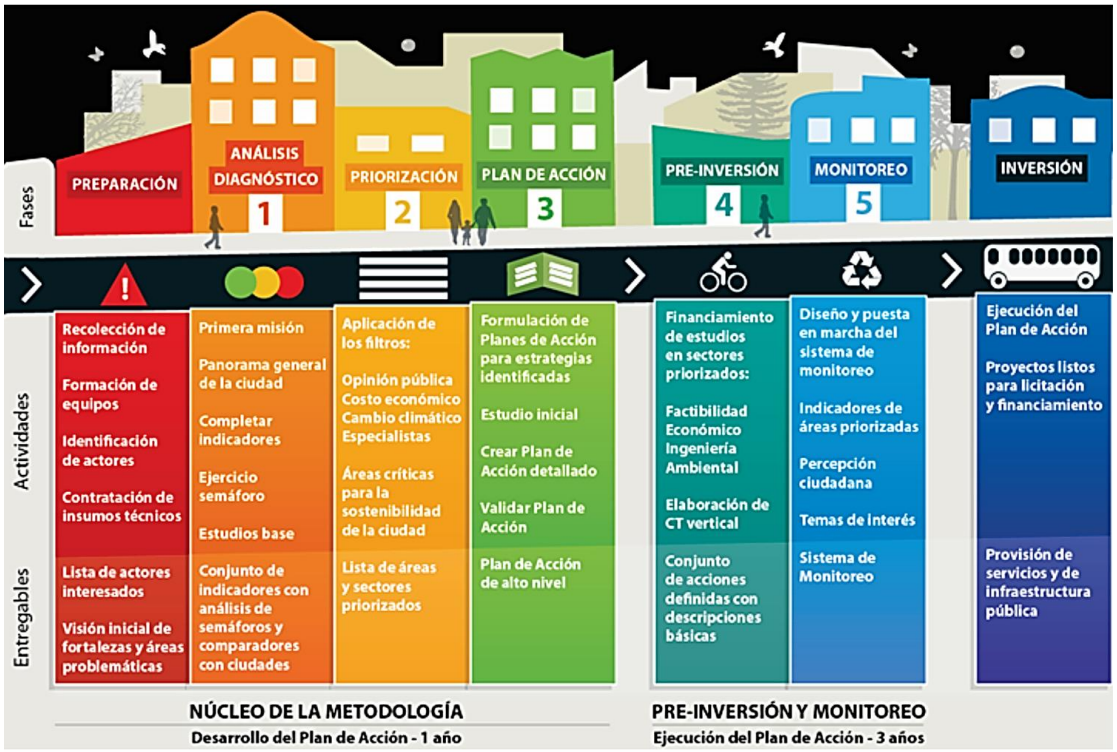
En este sentido, la resilencia también se enfoca en la protección de los recursos naturales, mejorando y restaurando los ecosistemas naturales y los paisajes culturales, para promover el agua y el aire limpio, el suministro de alimentos y la seguridad pública. Esto a través del desarrollo de un plan para proteger y restaurar los recursos naturales a través de la conservación del suelo, corredores de conectividad y restauración de la función y la integridad biológica.

1.2.1.3. Emerging and Sustainable Cities Initiative

Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES) es un programa de asistencia para ciudades intermedias de América Latina y el Caribe, llevado a cabo por parte del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), que a través de una serie de herramientas evalúa la sostenibilidad ambiental y el cambio climático, el desarrollo urbano integral, la sostenibilidad fiscal y la gobernabilidad (Banco Interamericano de Desarrollo, 2014a).

La metodología se desarrolla en dos etapas conformada por seis fases. La primera se lleva a cabo a partir del desarrollo de un diagnóstico a través del análisis de 120 indicadores (distribuidos en 3 dimensiones, 23 temas, 59 subtemas), empleando un sistema de ponderación y puntuaciones que permiten identificar las áreas locales de atención prioritaria a través de la utilización de semáforos. A partir de lo cual, se establecen los planes de acción (Banco Interamericano de Desarrollo, 2014b) (ver figura 7).

Figura 7. Fases de la metodología de Ciudades Emergentes y Sostenibles

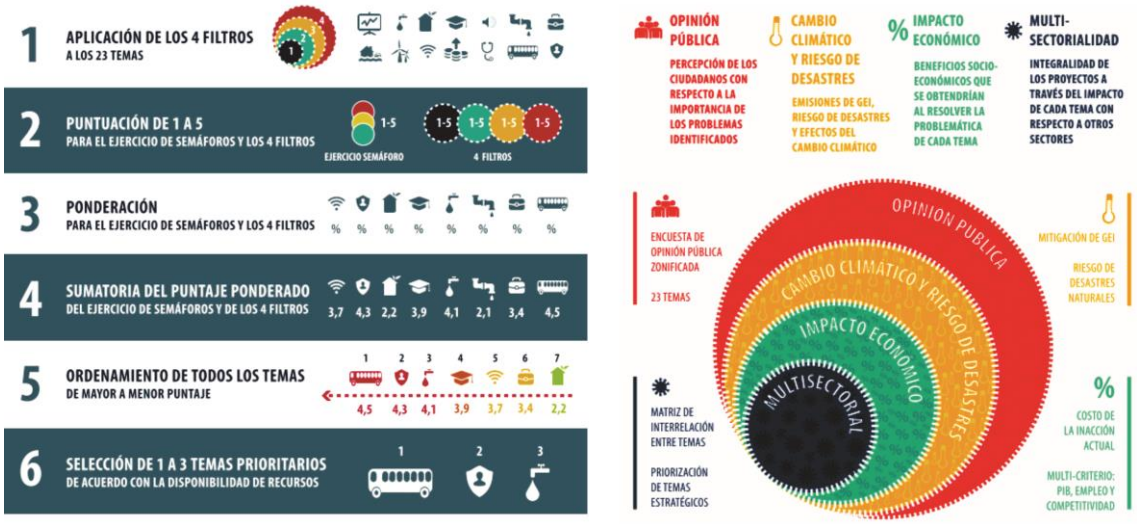


Fuente: (Banco Interamericano de Desarrollo, 2014a:13).

La segunda etapa se enfoca en diseñar los procesos de inversión y factibilidad económica de los proyectos de manera conjunta con los sectores público y privados, así como el asesoramiento en la implementación de métodos de monitoreo de los resultados; y finalmente se ejecuta el plan de acción.

En materia de energía y medio ambiente, tiene indicadores que analizan el control de GEI a través del monitoreo de inventario, determinando la cantidad que se emite per cápita, sector y PIB, además de las emisiones de CO^2 debido al consumo eléctrico por habitante. Asimismo, mide la eficiencia del uso de la energía tomando en cuenta la continuidad del servicio de energía eléctrica; consumo anual per cápita; uso por sector; intensidad energética de la economía; PIB por unidad de uso; gasto en energía por sector; presupuesto del sector; y la existencia, monitoreo y cumplimiento de regulaciones de eficiencia energética. En cuanto al medio físico construido, a partir del tema de uso de suelo, estudia y mide la densidad urbana y la cantidad de área verde por habitante (ver figura 8).

Figura 8. Proceso de priorización y participantes

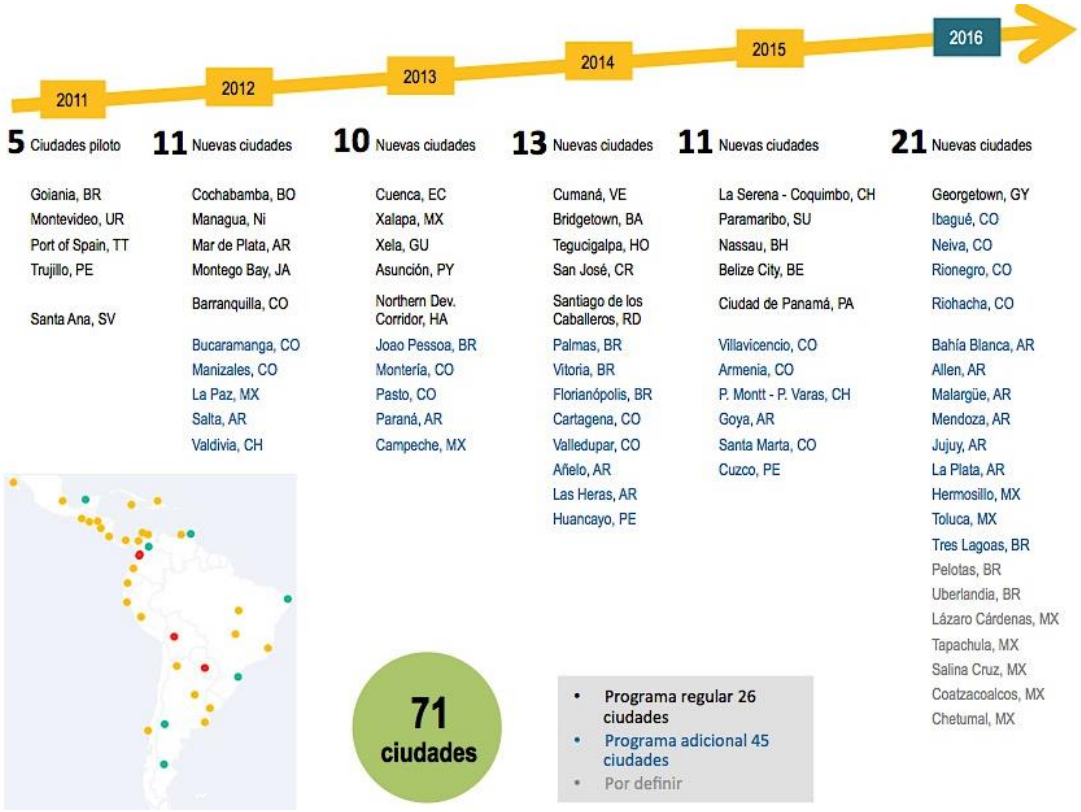


Fuente: (Banco Interamericano de Desarrollo, 2014a:60-62).

En términos generales, es un modelo de evaluación que aborda varios temas importantes en el desarrollo sostenible, sin embargo, en materia de cambio climático, los indicadores quedan desligados de la eficiencia energética y las características del medio físico construido. Es decir, este tema se aborda desde el punto de vista cuantitativo para determinar si se está dentro de los parámetros pertinentes establecidos en los diferentes compromisos de Agendas Globales, pero sin establecer su relación con el origen de los mismos y sus implicaciones en el medio ambiente natural y construido.

Este programa inició con cinco ciudades piloto en el año 2011, once nuevas ciudades en 2012, diez en 2013, 13 en 2014, once en 2015 y 21 en 2016 (siete están por definirse). Esto da un total de 71 ciudades latinoamericanas que han entrado en este proceso de evaluación con el ICES de Banco Interamericano (ver figura 9).

Figura 9. Ciudades ICES 2011-2016



Fuente: (Servicesaws.iadb.org, 2017)

1.2.1.4. Partnership for Sustainable Communities

Comunidades Sostenibles es una alianza de agencias federales de E.U.A. entre el Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano, el Departamento de Transporte y la Agencia de Protección Medioambiental. El objetivo de tal, es asegurar que las políticas, programas y fondos de dichos organismos, propicien que la vivienda, el transporte y la protección del medio ambiente en conjunto, sean asequibles a todos los norteamericanos y hacer un uso más eficiente de las contribuciones fiscales (United Stated Environmental Protection Agency, 2012).

Esta iniciativa se basa en tres acciones claves: 1) uso de los recursos de la alianza para mejorar las oportunidades de cada norteamericano, 2) ayuda a las comunidades a adaptarse al cambio climático, al mismo tiempo que se mitigan las pérdidas por futuros desastres, 3) apoyo al desarrollo de prioridades de la comunidad (Partnership Sustainable Communities, 2015).

A su vez, estas acciones parten de 6 principios de habitabilidad (Sustainable Communities, 2017):

1. **Oportunidad económica avanzada y de movilidad**
    a) Apoyo a las conexiones de transporte. Con el objetivo de medir el grado con el que el sistema de transporte permite el acceso al trabajo y servicios básicos, principalmente para la población más desfavorecida.

b) Promoción de la vivienda justa. En la cual se identifican las áreas de alineamiento con los esfuerzos de conectividad y justicia ambiental.
c) Dar asistencia técnica en construcción local y sistemas regionales de alimentos. Es esta iniciativa provee de asistencia técnica a las comunidades que buscan orientación y asistencia en el uso de sistemas de alimentación para la rehabilitación de su economía.
d) Aprovechar alianzas en comunidades piloto regionales específicas. En este caso se han identificado 51 comunidades con estas características en las cuales se han conjuntado esfuerzos para el mejoramiento ambiental, salud pública y resultados económicos mediante la mitigación de los efectos del cambio climático, a partir de promocional la infraestructura verde, y promoviendo el desarrollo equitativo.

2. **Ayuda a comunidades a adaptarse al cambio climático**
   a) Incorporación de la relación de riesgos climáticos en la planeación.
   b) Apoyo al Departamento de Desarrollo Urbano y Vivienda de Estados Unidos en la competencia Nacional de desastres y resiliencia. En esta se incluye la evaluación de riesgos y planeación bajo la implementación de proyecnos de innovación en resiliencia para preparar a las comunidades a dar una mejor respuesta ante eventos extremos.
   c) Apoyo en la administración de infraestructura verde colaborativa. A partir de la colaboración entre agencias federales, ONG´s y otras entidades del sector privado, con el fin de promocionar e implementar infraestructura verde colaborativa.
3. **Apoyo en la implementación de la inversión de la "Partnership´s Community"**
   a) Apoyo en la implementación de la alianza para las comunidades sostenibles.
   b) Aprovechamiento de las regiones para proporcionar soporte continuo a las comunidades.

Su metodología se basa en el uso de 400 indicadores enfocados en la relación entre el uso de suelo, vivienda, transporte, salud y medio ambiente, que a su vez pueden ser aplicados o no a la escala geográfica de condado, municipio, vecindario, proyecto o región, a un nivel de urbanización rural, suburbano o urbano (Partnership for Sustainable Communities, 2014).

A pesar de la gran cantidad de indicadores empleados en esta herramienta, sólo dos de ellos miden aspectos del medio físico construido, clima y eficiencia energética que pueden estar ligados al cambio climático. El primero emplea la densidad, asociada al acceso de varios destinos de calidad peatonal, así como el uso de transportes suaves (bajo o nulo consumo energético). El segundo se refiere al uso de energía residencial por tipo de actividades.

Actualmente tienen 25 casos de estudio donde se han aplicado estos principios, en donde finalmente se desarrollan proyectos de edificación verde, tránsito, vivienda asequible, desarrollo de uso de suelo mixto, re-desarrollo de Brownfield y administración del agua.

1.2.1.5. Ministry of Environmental Protection: Eco City

En la búsqueda de promover el desarrollo de una sociedad respetuosa con el medio ambiente y el ahorro de los recursos, en el 2003 el Ministerio chino de Protección Ambiental (MEP) inició un programa para establecer eco-condados, ciudades ecológicas y eco-regiones en todo el país (Zhou, He y Williams, 2012).

La Eco City es un modelo que se enfoca en el mejoramiento del bienestar de los ciudadanos y la sociedad a través de la gestión y la planificación urbana integral, así como el aprovechamiento, cuidado y protección de los sistemas ecológicos.

A partir de esta iniciativa, se han establecido una serie de criterios de evaluación para las entidades participantes que, para considerarse como ciudades ecológicas, deben cumplir con las siguientes normas: tener un plan de construcción eco-ciudad considerado, promulgado y ejecutado por la Asamblea Popular Municipal; tener agencias ambientales independientes; superar las metas de ahorro de energía asignada por el gobierno; y recibir una puntuación que establezca que se encuentra entre las mejores ciudades de la provincia en un índice de la calidad ecológica del medio ambiente. Además, el 80% de la ciudad debe alcanzar los objetivos nacionales de construcción ecológica y ser nombrado Ciudad Modelo de Protección al Medio Ambiente Nacional.

Su metodología de evaluación se basa en el uso de 22 indicadores que a través de un sistema de puntuación porcentual evalúa la brecha entre el puntaje obtenido y lo que establece la norma. Estos a su vez, se dividen en tres categorías: desarrollo económico; protección ambiental; y desarrollo social (Jong et al., 2016).

En materia de energía, emplea indicadores para medir la productividad energética y el consumo de energía por PIB; en cuanto al medio físico construido, mide el porcentaje de área pública verde per cápita, además del área de cubierta forestal (en el tema de paisaje).

Por tanto, si bien es un modelo que sus áreas objetivo son la económica, la social y la ambiental, este se enfoca principalmente en aspectos ambientales dentro de la ciudad sin desarrollar aquellos relacionados al transporte y las cuestiones térmicas ambientales.

1.2.1.6. Ministry of Housing and Urban-Rural Development (MoHURD): Eco-Garden City.

Este programa de evaluación nace en 1992 como un programa nacional de ciudad jardín promovido por el entonces Ministerio de construcción de China.

Los requisitos generales para ser considerada una Ciudad Eco-Jardín son: el desarrollo de un amplio conjunto de estrategias ecológicas de desarrollo urbano, medidas y planes de acción; la formación de un sistema completo de espacios urbanos verdes; la priorización de los paisajes culturales y naturales; la mejora de la infraestructura de la ciudad; proporcionar un buen ambiente de la vida urbana; lo que demuestra que la comunidad participa activamente en las políticas y medidas que formular y aplicar la Ciudad Eco-Jardín; y presentar una implementación ejemplar de la planificación urbana nacional y local, así como las leyes y reglamentos de protección ecológica y ambiental (Zhou et al., 2012).

Los principios del modelo Eco-Garden City se centran principalmente en el paisaje y el espacio verde, utilizando criterios más rigurosos en la calidad y cobertura de los mismos dentro de la infraestructura de servicios públicos y el control de la contaminación. Las ciudades o distritos deben cubrir al menos 3km2 de superficie incluyendo un mínimo de área rural. Sin embargo no debe exceder los 30 km de distancia entre un nuevo desarrollo urbano (poblado) y no más de 100 km de la ciudad más cercana que provea de infraestructura necesaria (Jong et al., 2016:14).

Utiliza un sistema de 19 indicadores distribuidos en tres categorías: entorno urbano ecológico; condiciones de vida urbana; y la infraestructura urbana. De estos, ninguno se enfoca en el consumo y/o eficiencia energética, a pesar de que en el medio físico construido mide el efecto de la isla de calor, el porcentaje de superficie permeable, la cobertura verde, el porcentaje de suelo verde y en área construido per cápita los espacios verdes públicos. Es decir, toma en cuenta elementos urbanos que se han demostrado que tienen un efecto en el consumo energético de los edificios, pero los analiza de manera independiente.

Hasta el año 2012, se había aplicado este sistema a 2 provincias, 2 ciudades, 6 ciudades bajo la iniciativa de cooperación internacional Sino-Americana y 10 ciudades bajo la iniciativa Sino-Europea.

1.2.1.7. National Development and Reform Comission: Low Carbon City

El enfoque de esta práctica es la de hacer frente al cambio climático reduciendo la intensidad de las emisiones de carbono y promover el desarrollo económico verde, disasociando el crecimiento del mismo por del uso de combustibles fósiles, pero redireccionándolo a la promoción del uso de energías renovables, la eficiencia energética y el transporte verde.

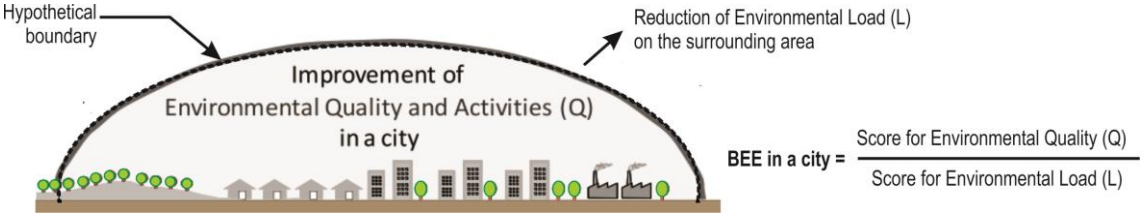
En comparación con los dos modelos anteriores, la metodología de evaluación de las Low Carbon Cities no emplea indicadores, sino que se basa en el desarrollo de una serie de tareas a desarrollar que incluyen: la preparación de planes de desarrollo enfocados en las bajas emisiones de carbono; la formulación de políticas para fortalecer el desarrollo verde; acelerar el establecimiento de un sistema industrial que produzca menos emisiones de carbono; el establecimiento de un sistema de recogida y gestión de datos de emisiones de GEI; y la promoción de estilos de vida de consumo de bienes y servicios de bajas emisiones de carbono (Zhou et al., 2012).

1.2.1.8. The Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency (CASBEE for Cities).

Es una herramienta que evalúa el desempeño ambiental de las ciudades, a partir del análisis de factores sociales, económicos y ambientales. Asimismo, reconoce las políticas y herramientas locales y las emplea como una herramienta para enfrentar problemas urbanos y ambientales específicos de cada sitio.

Como parte de la metodología de evaluación, se establece un límite hipotético que coincide con el ámbito de la escala urbana a analizar y poder evaluar la eficiencia del Medio físico construido (Built Environmental Efficiency, BEE) de la ciudad, y a partir de ello mejorar la calidad y las actividades del medio ambiente dentro del límite establecido y la reducción del impacto ambiental negativo fuera del mismo (ver figura 10).

Figura 10. Límite hipotético implementado en CASBEE-City y definición de BEE

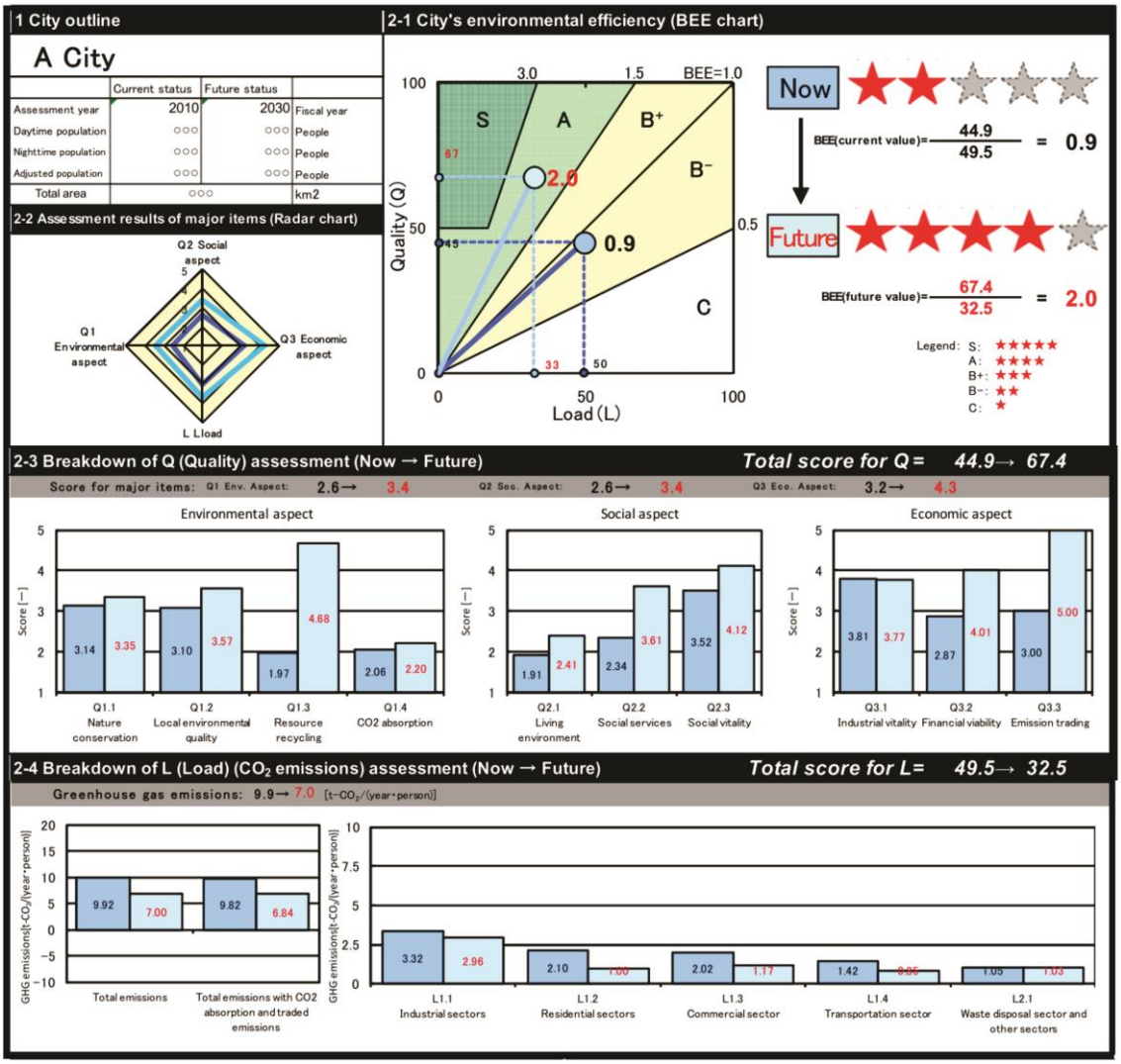


Fuente: (Murakami et al., 2013:2)

Los indicadores que utiliza los clasifica en 1) cualidades y 2) cargas ambientales. Las primeras evalúan aspectos ambientales (la conservación de la naturaleza, calidad ambiental local, reciclado de recursos y la absorción de CO2), sociales (condiciones de vida, servicios sociales y vitalidad social) y económicos (vitalidad industrial, vitalidad financiera y comercio de emisiones). Las cargas evalúan las emisiones de CO2 por tipo de fuente de energía (sector industrial, residencial, comercial y de transporte) y las emisiones de CO2 por fuentes no energéticas (sector de disposición de residuos, entre otros) (Murakami et al., 2013).

Posterior a una serie de graficaciones de los resultados, estos se clasifican en cinco rangos: S (Excelente), A (muy bueno), B + (Bueno), B- (Regular[6]) y C (pobre) basándose en el valor BEE. Una vez implementadas las políticas y herramientas de planeación resultantes de este análisis, se estima un futuro BEE para realizar una comparación de los dos valores y así determinar la efectividad de dichas políticas (ver figura 11).

Figura 11. Ejemplo de resultados de evaluación mediante CASBEE-City.



Fuente: (Murakami et al., 2013:3)

[6] El texto original lo establece como *Fairy Poor*

Conclusiones

La tabla 5 resume el análisis previo y muestra que en general todas las herramientas analizadas contemplan entre dos y cinco de los indicadores en torno al medio ambiente y el medio físico construido. Por ejemplo, STAR Communities es la que emplea una mayor cantidad de estos en su proceso de evaluación tomando en cuenta indicadores relacionados al consumo y eficiencia energética, las emisiones de GEI por edificaciones, la adaptación al cambio climático, el estudio de la morfología urbana y la densidad. y CASBEE for Cities la que emplea una menor cantidad de los mismos. Por el contrario, CASBEE for Cities, emplea indicadores enfocados únicamente en dos áreas; a las emisiones de GEI por edificaciones y por espacios exteriores. Así como también la herramienta de Sustainable Communities que estudia el consumo /eficiencia enerética y la densidad urbana.

Por otro lado, la Emerging and Sustainable Cities Iniciative emplea indicadores de consumo y eficiencia energética, de emisiones de GEI por edificaciones, el uso de vegetación y la densidad.

En cuanto al estudio del fenómeno de la Isla de Calor Urbano, MOHURD Eco-Garden City es la única metodología de evaluación que la evalúa y por tanto, también toma en cuenta los materiales de las superficies, el empleo de la vegetación y las emisiones de GEI por edificaciones. Sin embargo, no emplea indicadores asociados a la densidad, la morfología urbana, la orientación, entre otras.

Tabla 5. Relación y aplicación de indicadores del medio físico construido y del medio ambiente en los modelos/herramientas de la sostenibilidad urbana a escala de ciudad.

Modelos/Herramientas de evaluación de la sostenibilidad urbana a escala de ciudad	Indicadores														
	Medio ambiente (clima y energía)									Medio físico construido					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Comprehensive Plans for Sustaining Places					x				x	x					
STAR Communities			x		x				x		x			x	
Sustainable Communities			x											x	
Emerging and Sustainable Cities Iniciative			x		x			x						x	
MEP Eco-City			x		x			x							
MOHURD Eco-Garden City					x			x				x			x
NDRC Low-Carbon City			x		x			x							
CASBEE for Cities					x	x									

1. Confort térmico en edificaciones; 2. Confort térmico en exteriores; 3. Consumo/eficiencia energética en edificaciones; 4. Consumo/eficiencia energética en espacios exteriores; 5. Emisiones GEI en edificaciones; 6. Emisiones GEI en exteriores; 7. Factores climáticos; 8. Vegetación; 9. Adaptación al cambio climático; 10. Topografía; 11. Morfología urbana; 12. Materiales de superficies; 13. Orientación; 14. Densidad; 15. Isla de Calor Urbano.
Fuente: elaboración propia.

En términos generales existe un interés en el estudio de algunos elementos que influyen en el cambio climático como lo son las emisiones GEI, el consumo y la eficiencia energética al interior de los edificios, pero de manera aislada o bien de manera cuantitativa, es decir, no se realiza ningún. Sin embargo, ninguna de las metodologías evalúa el confort térmico, la eficiencia energética y/o consumo en espacios exteriores, los factores climáticos, la orientación de las calles, y en algunos casos apenas se emplea el análisis de la morfología urbana, los materiales de las superficies (su permeabilidad) y la isla de calor urbano, pero esto

es sin establecer una relación de los efectos que estos indicadores tienen en medio ambiente natural y construido.

En este caso, es evidente que los modelos de evaluación descritos anteriormente, muestran gran interés en establecer las posibilidades y capacidades que tienen las ciudades para afrontar los diferentes retos sociales, económicos y ambientales en virtud de establecer pautas que permitan una adecuada adaptación a los efectos que genera el cambio climático, entre otras cosas.

Sin embargo, a pesar de que varias investigaciones han destacado que gran parte de las emisiones de GEI del sector edilicio de las ciudades, se generan a partir del consumo de energía para la climatización de interiores, y que las características climáticas y la composición del medio físico construido[7] tienen una gran influencia en ese consumo, ninguna de las herramientas de evaluación analiza la relación de estos componentes en un sistema que permita determinar cuantitativa y cualitativamente sus implicaciones en el medio ambiente natural y construido.

[7] ya sea por su orientación, su densidad, su nivel de compacidad, porcentaje de áreas con vegetación, el efecto de isla de calor urbano, etc.

CAPÍTULO II

CIUDAD Y CLIMA

Este capítulo desarrolla los temas y subtemas en torno a la ciudad y el clima, tales como las escalas climáticas; las implicaciones de ciertos elementos urbanos en la generación de características microclimáticas; el balance energético y sus diferentes escenarios; la isla de calor urbano y sus repercusiones en la salud humana; el confort térmico; las consideraciones que se deben tener al realizar recomendaciones en la planificación urbano tomando en cuenta las características climáticas de la ciudad; el empleo de los mapas urbanos climáticos; etc..

Hoy en día, el diseño y la planificación urbana responden principalmente a las nuevas tendencias globalizantes, mismas que se relacionan con la estructura, la morfología, los materiales, etc. de las ciudades y que provocan importantes impactos ambientales. Estos a su vez, dependen de las características climáticas, las tendencias históricas del desarrollo urbano y los cambios de hoy en día (Schiller, 2001).

El clima es la síntesis de las características de las condiciones atmosféricas de un lugar en particular en el largo plazo. Es expresado por los promedios de varios elementos del clima tales como la temperatura, la humedad del aire, la lluvia, el viento, la nubosidad, la insolación, etc (Erell, Pearlmutter, & Williamson, 2011:5), además de las probabilidades de otras condiciones como eventos extremos. Por tanto, el diseño de los espacios urbanos exteriores requiere el entendimiento del medioambiente local.

Debido a lo anterior, desde tiempos remotos, el interés por el estudio del clima en los asentamientos humanos ha estado ligado a una cuestión de salud y bienestar, tanto físico como psicológico; la necesidad de adaptar el refugio a las condiciones de la intemperie, es algo que ha sido determinante en el desarrollo y supervivencia de la raza humana y de cualquier otra especie de seres vivos del planeta.

De tal manera que, incluso en la actualidad, la calidad de vida de las personas que viven en ciudades puede ser mejorada si se tienen en cuenta los factores que afectan el microclima urbano, y el medio físico construido responde ante ellos de manera apropiada (E. Erell et al., 2011b).

2.1. Características básicas de las escalas climáticas.

Los parámetros principales de la climatología, tales como la temperatura y la humedad de un lugar, son en realidad, medidas indirectas de otros elementos más fundamentales. Es decir, estos son en realidad un indicador de la energía térmica y el estado del agua en la atmósfera; los cuales están fuertemente vinculados a los ciclos fundamentales de energía y agua del sistema atmosférico. Por tanto, los flujos de energía son la base del clima, manifestándose en la atmósfera terrestre en cuatro formas: radiante, térmica, kinética y potencial, las cuales son continuamente transformadas de una a otra. Además, los intercambios de estas dentro del sistema atmosférico es posible a partir de la conducción, convección y radiación (Oke, 1988).

El clima de un lugar es entendido como el conjunto de un número de aspectos físicos tales como: temperatura, humedad contenida en el aire, lluvia, viento, niebla, nieve, insolación, nubosidad y la calidad del aire (E. Erell, Pearlmutter, & Williamson, 2011b). Por tanto, cuando se refiere al clima de una zona en las características formales y físicas de los elementos que conforman la ciudad provocan modificaciones en el clima general de su región, produciendo lo que se denomina microclima urbano. Mismo que puede ir cambiando rápidamente sus características de una zona a otra, debido a factores tales como el tipo de suelo, la orientación e inclinación de la superficie, la cobertura vegetal, la humedad contenida en el suelo, etc.

Así pues, las condiciones climatológicas como el viento, la temperatura y la humedad del aire están sujetas a sufrir rápidos cambios conforme se alejan de la superficie terrestre (Oke, 1976). Por tanto, el clima zonal se genera a partir de las condiciones climáticas de una zona específica de la ciudad con características particulares, como puede ser el tipo de trama urbana, la densidad y tipo de construcción o la presencia de zonas verdes, lagos, etc.

Por tanto, la aportación meteorológica en la elaboración del diseño urbano y arquitectónico se ha tenido que realizar a diferentes escalas, variando los estudios desde la macro-escala del clima regional; los estudios de meso-escala modificado por la orografía y el desarrollo urbano; y las investigaciones de micro-escala a partir

de cambios inducidos por elementos individuales del diseño urbano. Sin embargo, es importante primeramente establecer las diferencias entre las escalas de análisis del clima y las características de los fenómenos climáticos que se manifiestan. En la tabla 6, Oke (1987:3-5) presenta cuatro clasificaciones: la macro-escala, meso-escala, escala local o urbana y la micro-escala.

Tabla 6. Escalas climáticas y sus manifestaciones en los fenómenos climáticos.

Escala	Límite aproximado	Características de los fenómenos climáticos
Macro-escala (macroclima)	> 100 km	Chorros de aire rápido
		Huracanes
		Anticiclones
Meso-escala (mesoclima)	10km-200km	Vientos locales
		Tormentas eléctricas
		Grandes acumulaciones de nubes
Escala local/urbana (clima local)	100m-50km	Tornados
		Pequeñas acumulaciones de nubes
Micro-escala (microclima)	1cm-1km	Remolinos de polvo
		Pequeñas turbulencias

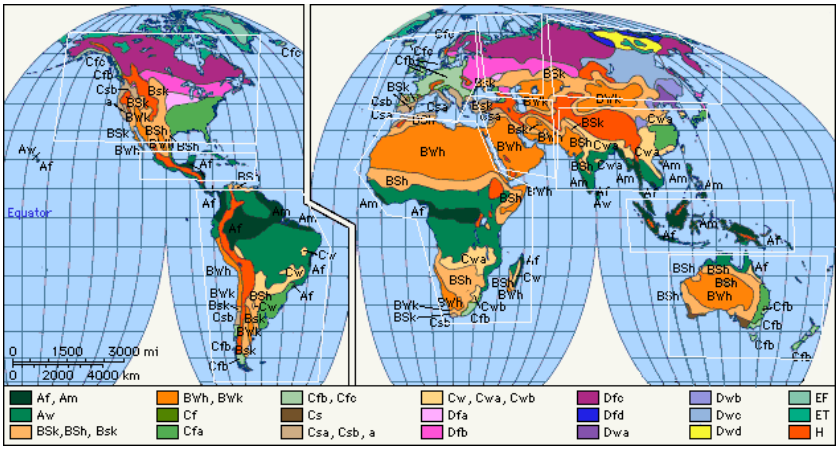
Fuente: (T.R. Oke, 1987:3-5).

De lo anterior, Erell y Ochoa (Erell et al., 2011b:17; Ochoa J., 2012:42-43) sintetizan:

a) el **microclima,** como una zona específica que cambia sus características climáticas al momento de desplazarse hacia otra zona, esto debido a la orientación, pendiente topográfica, cobertura vegetativa etc;
b) el **clima zonal**, se refiere a las características climáticas particulares de un lugar dentro de la ciudad que surgen como resultado de la estructura urbana, la densidad edificatoria, la presencia de áreas verdes, lagos, etc:
c) el **clima local**, cuyo mismo nombre lo define como el clima de una localidad, el cual se encuentra definido por cambios en la superficie a gran escala, la distribución de la tierra y el agua, y la topografía;
d) el **mesoclima**, que se refiere al clima de una región que puede abracar varias ciudades, pueblos e incluso países. Se define por sus grandes accidentes topográficos, océanos y mares, además de su ubicación geográfica;
e) finalmente, el **macroclima**, que es aquel definido a nivel continental, provocado por los sistemas de circulación atmosférica a gran escala.

En este sentido, se han generado varias clasificaciones de mesoclimas en todo el planeta; tal está la clasificación climática de Köppen que fue desarrollada sobre una relación empírica entre el clima y la vegetación existente, la cual, a partir del uso de la temperatura y precipitación mensual, definió los límites de los diferentes climas en todo el mundo (Chen & Chen, 2013:71) (ver figura 12).

Figura 12. Clasificación climática mundial de Köppen



Fuente: Tutiempo Network, S. (2017)

En esta clasificación, los climas son definidos por los valores medios anuales y mensuales de temperatura y precipitación. Con estos criterios quedan definidos cinco grandes grupos, reconocidos por las letras mayúsculas A: Clima tropical; B: climas secos; C: Climas templados y húmedos; D: climas templados de invierno frío; E: Climas polares (ver tabla 7).

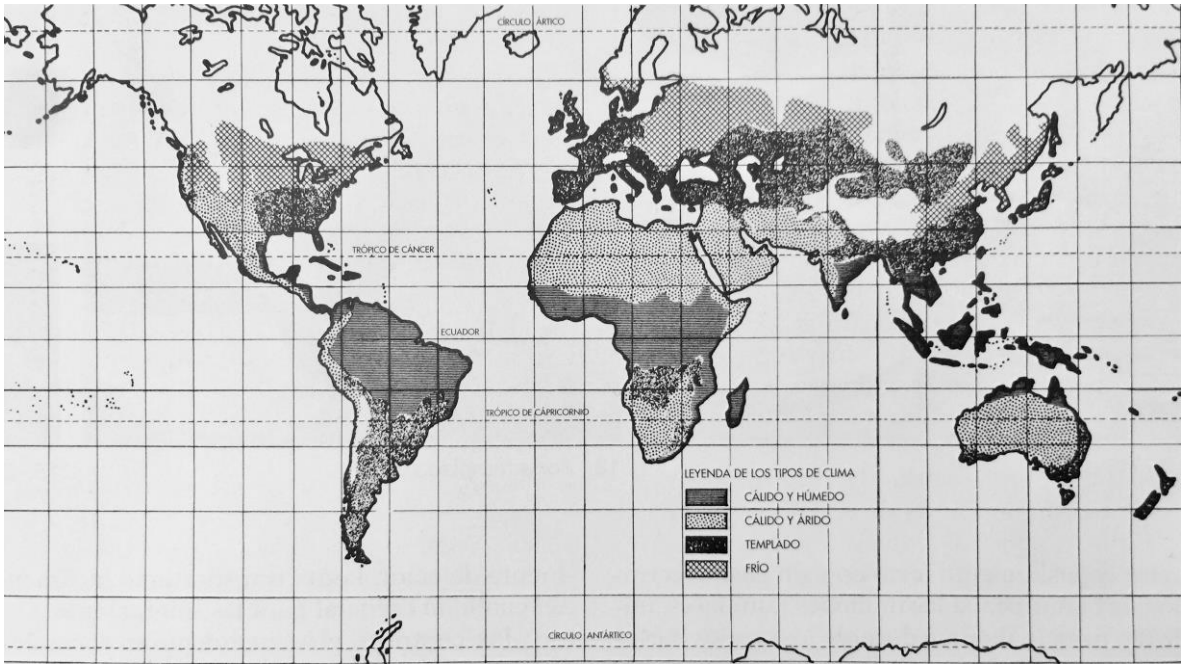
Tabla 7. Grupos climáticos de acuerdo con la Clasificación climática mundial de Köppen

1st	2nd	3rd	Description	Criteria*
A			Tropical	$T_{cold} \geq 18$
	f		- Rainforest	$P_{dry} \geq 60$
	m		- Monsoon	Not (Af) & $P_{dry} \geq 100 - MAP/25$
	w		- Savannah	Not (Af) & $P_{dry} < 100 - MAP/25$
B			Arid	$MAP < 10 \times P_{threshold}$
	W		- Desert	$MAP < 5 \times P_{threshold}$
	S		- Steppe	$MAP \geq 5 \times P_{threshold}$
		h	- Hot	$MAT \geq 18$
		k	- Cold	$MAT < 18$
C			Temperate	$T_{hot} > 10$ & $0 < T_{cold} < 18$
	s		- Dry Summer	$P_{sdry} < 40$ & $P_{sdry} < P_{wwet}/3$
	w		- Dry Winter	$P_{wdry} < P_{swet}/10$
	f		- Without dry season	Not (Cs) or (Cw)
		a	- Hot Summer	$T_{hot} \geq 22$
		b	- Warm Summer	Not (a) & $T_{mon10} \geq 4$
		c	- Cold Summer	Not (a or b) & $1 \leq T_{mon10} < 4$
D			Cold	$T_{hot} > 10$ & $T_{cold} \leq 0$
	s		- Dry Summer	$P_{sdry} < 40$ & $P_{sdry} < P_{wwet}/3$
	w		- Dry Winter	$P_{wdry} < P_{swet}/10$
	f		- Without dry season	Not (Ds) or (Dw)
		a	- Hot Summer	$T_{hot} \geq 22$
		b	- Warm Summer	Not (a) & $T_{mon10} \geq 4$
		c	- Cold Summer	Not (a, b or d)
		d	- Very Cold Winter	Not (a or b) & $T_{cold} < -38$
E			Polar	$T_{hot} < 10$
	T		- Tundra	$T_{hot} > 0$
	F		- Frost	$T_{hot} \leq 0$

*MAP= mean annual precipitation, MAT= mean annual temperature, T_{hot}= temperature of the hottest month, T_{cold}= temperature of the coldest month, T_{mon10}= number of months where the temperature is above 10, P_{dry}= precipitation of the driest month, P_{sdry}= precipitation of the driest month in summer, P_{wdry}= precipitation of the driest month in winter, P_{swet}= precipitation of the wettest month in summer, P_{wwet}= precipitation of the wettest month in winter, $P_{threshold}$= varies according to the following rules (if 70% of MAP occurs in winter then $P_{threshold}$= 2 x MAT, if 70% of MAP occurs in summer the $P_{threshold}$= 2 X MAT + 28, otherwise the $P_{threshold}$= 2 X MAT +14), summer (winter) is defined as the warmer (cooler) six month period of ONDJFM and AMJJAS.
Fuente: (Peel, Finlayson, & McMahon, 2007:1636).

Por su parte, Víctor Olgyay (1998), basado en la clasificación de Köppen, simplificó dicha clasificación en cuatro grandes regiones climáticas (fría, templada, cálido-seco y cálido-húmedo). Parte de ello surge a partir del análisis de las similitudes que muestran algunas tipologías de edificaciones en diferentes partes del mundo, que concuerdan con el tipo de clima (ver figura 13).

Figura 13. Regiones climáticas



Fuente: Víctor Olgyay, 1998:6

En cuanto a las implicaciones que tiene el microclima urbano en el desarrollo cotidiano de los habitantes de las ciudades, Erell (2008:98-99) las resume en dos categorías:

1) El efecto del microclima en la actividad humana, principalmente los peatones en los espacios entre edificios. Donde el acceso del peatón a los espacios abiertos es considerado de gran valor, por lo que estos espacios deberían de proveer de óptimas condiciones de acuerdo a las condiciones climáticas locales.
2) El efecto del microclima en el desempeño de los edificios, principalmente lo referente a la energía de conservación.

En resumen, los efectos del clima de las ciudades son el resultado de la forma urbana (extensión, materiales, dimensión de las edificaciones, la densidad, etc), del paisaje y la función urbana (energía, el uso de agua y materiales a través del metabolismo urbano). Sin embargo, se tienen elementos clave que también generan efectos en el clima urbano y que están asociados a la localización (latitud y características topográficas e hídricas (Oke, Mills, Christen, & Voogt, 2017).

2.2. El balance energético

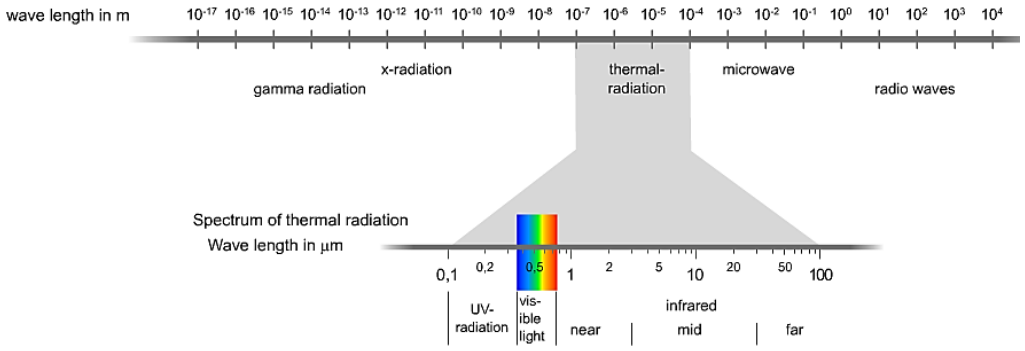
A partir de la Primera Ley de Termodinámica: La energía no se crea ni se destruye, sólo se transforma; se entiende que la cantidad de energía de entrada a un sistema, es la suma de la energía de salida más la energía almacenada en el sistema. El conocimiento del balance energético es fundamental para el

entendimiento de la meteorología y climatología de un lugar. Que en conjunto con el viento, provee de fuerzas energéticas motrices para el flujo vertical de calor, masa y momento (Oke, 1988), volviéndose básico en el entendimiento de ciertas características como el comportamiento termodinámico del aire, la temperatura superficial y la humedad.

2) Radiación

La radiación solar es la forma de energía resultante de la rápida oscilación de los campos electromagnéticos. En cuestión de aplicaciones atmosféricas el rango de interés las longitudes de onda, se centran de 0.1 a 100µm, lo cual representa una sección muy pequeña del total del espectro electromagnético (ver figura 14). La porción visible del espectro sensible al ojo humano va del 0.36 (violeta) al 0.75µm (rojo). Sin embargo, todos los cuerpos poseen energía que emite radiación. Si un cuerpo a determinada temperatura emite la máxima cantidad posible de radiación por unidad de su superficie de área en unidad de tiempo, entonces es llamado cuerpo negro o radiador total. Dicho cuerpo tiene una emisividad igual a la unidad (Oke, 1987).

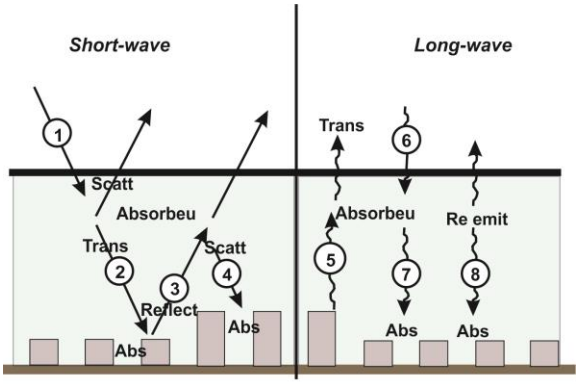
Figura 14. Espectro electromagnético



Fuente: Clim-CAP en Webgeo.de, 2016.

La radiación observada dentro del rango de 0.15 a 3.0 µm corresponde a la de onda corta o radiación solar, y aquella que se localiza dentro del rango de 3.0 a 100 µm se refiere a la radiación de onda larga (ver figura x). Además, radiación de onda corta difusa se refiere a la porción entrante de radiación solar que es reflejada y dispersa conjuntamente, es a su vez multiplicada y reflejada entre la superficie y la atmósfera. Por otra parte, la longitud de onda λ de radiación incidente sobre una sustancia o cuerpo, debe también ser transferida a través de ella o reflejada desde su superficie, o bien, ser absorbida; siendo esta la declaración de la conservación de la energía expresada en la proporción transmitida, reflejada y absorbida como ratios de la energía incidente, los cuales se han definido como transmisividad, reflectividad y absortividad (propiedades radiativas) (Oke, 1987:9-12).

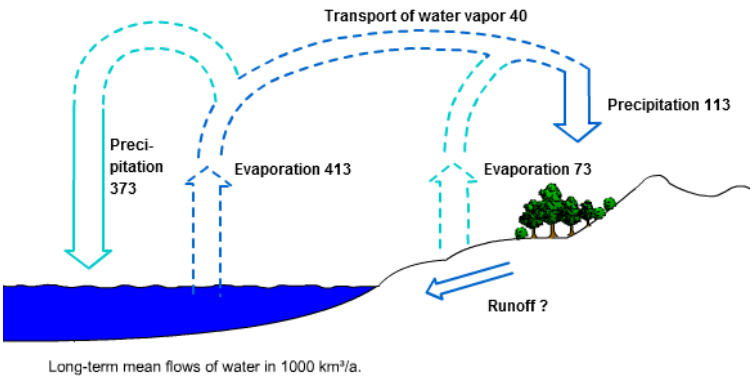
Figura 15. Estimación de la radiación en las superficies



b) Agua

Las propiedades térmicas y dinámicas de los cuerpos de agua, tales como los oéanos, lagos, ríos, etc., los convierte en elementos de suma importancia para el transporte de energía y masa. De acuerdo con Oke, los intercambios ocurridos en la interface del aire/agua, son complicados debido a que el agua es un fluido. Esto significa que el calor transferido dentro del agua es posible no únicamente a la conducción y la radiación, sino también por convección y advección. Así pues, estos son dos facilitan el transporte y la mezcla de calor en la atmósfera y permiten las ganancias o pérdidas de calor a través de un gran volumen (Oke, 1987, 1988).

Figura 16. Balance hídrico



2.2.1. Balance energético urbano

La morfología compleja de un área urbana, resulta en un rango de efectos en la capa límite y el balance de energía. Esta se da a partir de "*la radiación solar y atmosférica recibida, la radiación emitida por la superficie urbanizada y edificada, los diferentes flujos energéticos debidos a la actividad humana y el intercambio higrotérmico propio de las masas vegetales y superficies ajardinadas*" (Hernández, 2013:60). En dado caso, el entorno urbano recibe tanto las entradas de energía natural como las antropogénicas[8]. Lo cual se expresa:

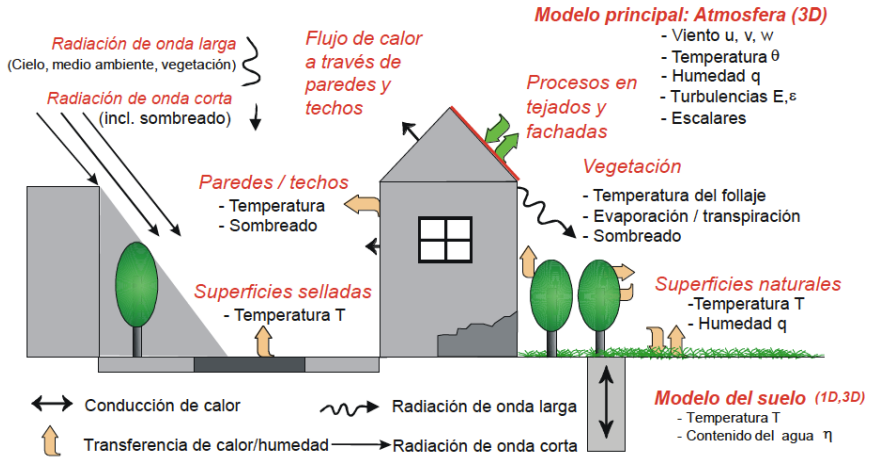
[8] La mayoría del calor antropogénico es generado fuera de las ciudades y liberado a través de la infraestructura tales como las redes eléctricas y gasoductos para el uso industrial, comercial y habitacional (Doherty, Nakanishi, Bai, Meyers, & Ecosystems, 2009:2)

$$\pm Q_n = (Q_D + Q_d)\,(1\text{-}A) + Q_{L\downarrow} - Q_{L\uparrow} = \pm Q_S \pm Q_H \pm Q_E + Q_P$$

Donde:

Q_n: balance de radiación neta, **A:** albedo del objeto de estudio (reflectividad), Q_D: radiación directa de onda corta, Q_d: radiación difusa de onda corta, $Q_{L\downarrow}$:radiación de onda larga emitida por la atmósfera, **$Q_{L\uparrow}$:** radiación de onda larga emitida por la superficie, Q_S: flujo de calor en la superficie procedente del suelo, Q_H: intercambio de calor sensible entre la superficie y la atmósfera, Q_E: intercambio de calor latente en la superficie (evaporación de las plantas y masa de agua; rocío), Q_P: flujo de calor producido por la actividad humana.

Figura 17. Balance energético urbano



Fuente: (M. Bruse and H. Fleer, 1998).

Así pues, la energía consumida en el entorno urbano puede ser agrupada en tres categorías:

1) Energía incorporada: es la consumida en la manufactura, distribución y despliegue de materiales usados en la construcción de vivienda y su respectiva infraestructura.
2) Energía operacional: consumida para la climatización de vivienda y el funcionamiento de electrodomésticos.
3) Energía de transporte: aquella consumida tanto en transporte público como en privado, a partir de la generación de viajes hechos por razones de trabajo y con propósitos domésticos[9].

2.2.1.1. Efectos térmicos de los materiales

Las propiedades térmicas de los materiales que constituyen las superficies tanto de vialidades como de la envolvente de los edificios, generan un efecto capaz de alterar el microclima urbano.

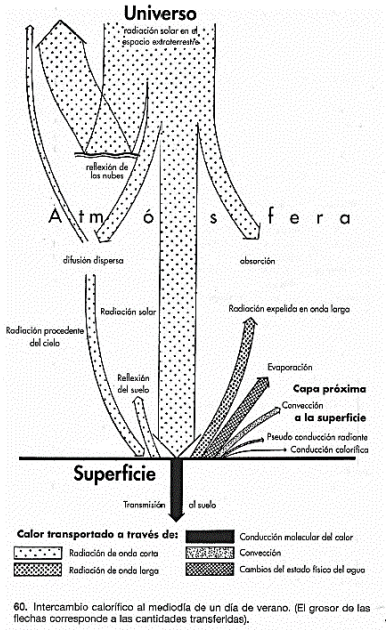
Por tanto, las modificaciones realizadas en la superficie terrestre suponen cambios climáticos; por ejemplo, el sobrepastoreo en las praderas o la deforestación de grandes áreas pueden aumentar el albedo causando un incremento en la desertificación del suelo (Asimakopoulos et al., 2011:24). Las fuerzas térmicas que actúan sobre el entorno urbano son una combinación de los impactos por convección y radiación. La radiación total está compuesta por la solar incidente y por el intercambio de calor con la temperatura del aire del entorno y con el cielo.

[9] En este último caso también se deberían incluir los viajes por cuestiones recreativas y de esparcimiento.

De acuerdo con Olgyay (1998:33), la transferencia de la radiación calorífica que afecta al entorno urbano y a las edificaciones, se divide en cinco tipos diferentes (ver figura 18):

1) Radiación de onda corta directa del sol
2) Radiación difusa de onda corta procedente de la bóveda celeste
3) Radiación de onda corta producto de la reflexión en los terrenos adyacentes
4) Radiación de onda larga procedente del suelo y de los objetos cercanos cuya temperatura es elevada
5) Radiación de onda larga expelida en intercambio desde el edificio hacia el cielo.

Figura 18. Intercambio calorífico al mediodía de verano[10].



60. Intercambio calorífico al mediodía de un día de verano. (El grosor de las flechas corresponde a las cantidades transferidas).

Fuente: (Olgyay V., 1998:33).

Una de las propiedades físicas de los materiales, es el albedo. El cual se define por su hemisfericalidad y longitud de onda integrada (Taha, 1997:100). En este caso, la radiación solar incidente sobre las superficies del entorno urbano es absorbida y transformada en calor sensible. "Las cubiertas, las fachadas de las edificaciones, las calles, los parques, etc forman un gran cuerpo donde el calor se acumula. Además de que la intensidad de onda depende del porcentaje de cañón urbano, el tipo de material de las superficies, tal como el albedo, la emisividad, la inercia térmica, etc" (Gago, Roldan, Pacheco-Torres, & Ordóñez, 2013:753).

Algunas investigaciones han demostrado que el uso de materiales con un alto porcentaje de albedo, disminuyen la radiación solar absorbida por la envolvente de las edificaciones y estructuras urbanas. En este caso incluso, en climas cálidos en una latitud mediana, la temperatura del aire, en días de verano, puede ser disminuida hasta en 4ºC si se modifica el albedo de la superficie por lo menos en un 0.15[11].

[10] El grosor de las flechas corresponde a las cantidades transferidas.
[11] De 0.25 a 0.40

2.2.2. Isla de calor urbano (ICU)

La Isla de Calor Urbana (ICU) se manifiesta a partir de la diferencia de temperaturas entre las áreas urbanas y/o suburbanas, y los alrededores rurales (Magli et al., 2014; Wong, 2008). Fenómeno generado principalmente por las superficies artificiales que componen las calles, los andenes, los edificios, las cubiertas, etc. y se manifiesta en un aumento de temperatura en comparación con las áreas circundantes con mayor cobertura vegetal.

En un estudio realizado por Magli et al. (2014), al haber este tipo de modificaciones en el microclima urbano, se puede llegar a afectar el desempeño del consumo de energía de los edificios, donde las necesidades energéticas pueden variar hasta en un promedio de 25% entre las áreas urbanas y los suburbios. En este caso, las propiedades de los materiales del entorno urbano como las superficies sobre terreno y envolvente de edificios (además de la densidad y proporción del cañón urbano, entre otros factores) pueden influir de manera importante en la generación de la ICU. Principalmente la reflectancia solar, la emisividad térmica y la capacidad calorífica ya que, a partir de estas, se determina en qué medida el sol refleja, emite y absorbe la energía.

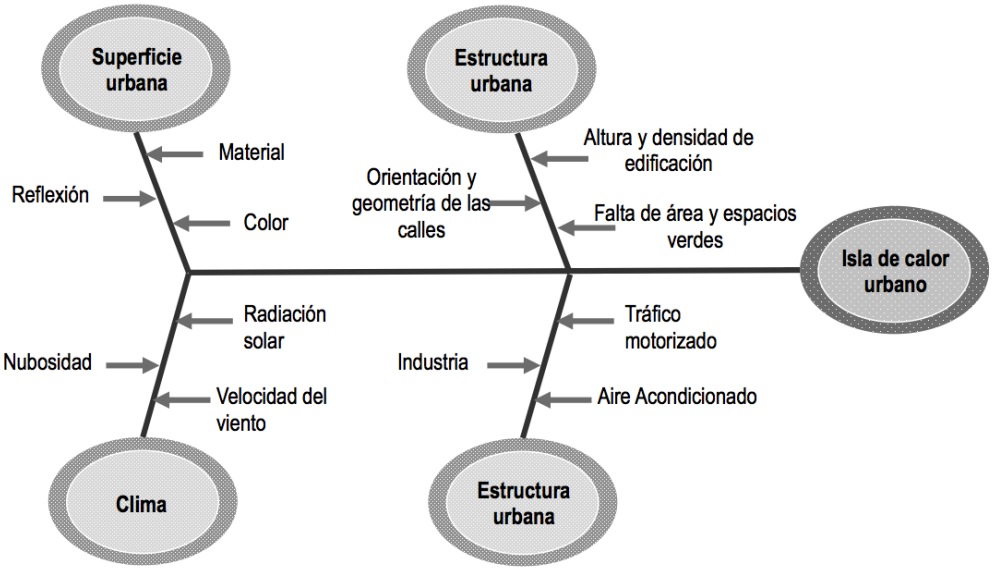
La vegetación y las áreas verdes, también tienen un impacto considerable en la temperatura del aire, ya que estas suelen incrementar la evapotranspiración y la generación de sombras en las superficies, produciendo efectos de enfriamiento. O, por el contrario, al haber carencia de las mismas, provocan calentamiento de ciertas áreas de la ciudad, ayudando a la aparición de la ICU (Taslim et al., 2014).

La altura promedio de los edificios con bloques continuos de estructuras pueden llegar a bloquear el aire fresco y el movimiento del aire fresco; además de presentar una mayor superficie de fachada que refleja y absorbe la radiación solar, provocando igualmente el aumento de temperatura. Sin embargo, se debe poner atención en las características climáticas propias del lugar, ya que este factor puede resultar beneficioso o no.

Un estudio realizado por Perico-Agudelo (2009), analiza el comportamiento térmico de los espacios públicos y su relación con las condicionantes climáticas, partiendo de tres elementos de estudio: sus características morfológicas, físicas, ambientales y de uso del espacio. A partir de lo cual se obtienen las pautas de planificación urbana bajo un enfoque ambiental, en el entendido que la interrelación del clima y la morfología urbana generan un impacto en el comportamiento térmico de la ciudad.

Además, Taslim et al. (2014), también identifica las actividades humanas que implican el uso de climatización en las edificaciones, el tráfico motorizado, la producción industrializada, entre otros (ver figura 19).

Figura 19. Causas de la Isla de Calor Urbano



Fuente: (Taslim et al., 2014).

Lo cual puede manifestarse en dos tipos: la ICU superficial, que se basa en la temperatura de las superficies, y la ICU atmosférica, basada en la temperatura del aire (ver tabla 8).

Tabla 8. Características básicas de la Isla de Calor urbano superficial y atmosférica

PARÁMETRO	ICU SUPERFICIAL	ICU ATMOSFÉRICA
Desarrollo temporal	Presente las 24 hr	Puede ser insignificante o no existe durante el día
	Es más intenso durante el día y en verano	Intenso durante la noche, el atardecer y el invierno
ICU en condiciones extremas	Mayor variación espacio temporal	Menor variación
	- Día de 10 a 15 ºC	- Día de -1 a 3 ºC
	- Noche de 5 a 10 ºC	- Noche de -7 a 12 ºC
Método de identificación más utilizado	Medición directa:	Medición directa:
	- Percepción remota	- Estaciones climáticas fijas - Atravesadores móviles
Representación	Imagen térmica	Mapas de isotermas
		Gráfica de temperaturas

Fuente: (Wong, 2008:2).

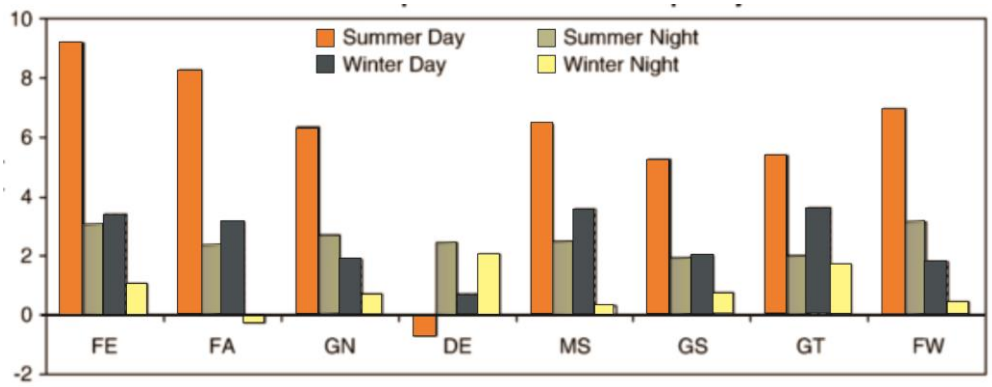
2.2.2.1. Manifestación de la ICU en diferentes macroclimas.

Partiendo de que la evaluación de la ICU se lleva a cabo fundamentalmente a partir de la diferencia de temperaturas entre la ciudad y las áreas circundantes no urbanizadas; estas diferencias son controladas considerablemente por las características de las propiedades térmicas del paisaje natural y su cambio con las estaciones del año (Oke et al., 2017).

En un estudio realizado por Imhoff et al (2010), se emplearon imágenes satelitales Landsat TM-based NLCD 2001 para detectar la superficie impermeable e imágenes MODIS para detectar la temperatura superficial de 38 de las ciudades más pobladas en Estados Unidos. Estas se clasificaron de acuerdo al tipo de bioma que pertenecen [12]y su elevación, para asegurarse comparaciones objetivas y permitiendo el establecimiento de zonas ordenadas jerárquicamente a través de áreas urbanas en diferentes escalas y entornos eclógicos.

Los resultados demostraron que el contexto ecológico influye significativamente en la amplitud de la ICU durante el día, habiendo una diferencia de temperatura entre lo urbano y lo rural de hasta 8°C promedio en ciudades donde predomina el bioma de bosques templados. Por otro lado, la superficie impermeable es el principal elemento impulsor del aumento de temperatura, por lo que las áreas urbanas son sustancialmente más cálidas que las franjas no urbanas en 2.9°C, a excepción de las áreas urbanas en biomas con climas áridos y semiáridos (ver figura 20).

Figura 20. Temperatura urbana-rural para ciudades agrupadas por biomas.



Fuente: (Imhoff, Zhang, Wolfe, & Bounoua, 2010:503).

En latitudes medias, la capa dosel[13] de las zonas más densas de las ciudades, normalmente es más fuerte durante las noches cuando la tasa de enfriamiento de la superficie después de la puesta de sol, es más lenta. Sin embargo, en las ciudades con un clima extremadamente frío, se observa que la capa dosel es mucho más fuerte durante los días de invierno, cuando no hay suficiente radiación solar, pero se tiene la mayor demanda de calefacción en las edificaciones (Imhoff et al., 2010; Oke et al., 2017).

2.2.2.2. Implicaciones de la Isla de Calor Urbano en la salud humana.

Si bien, el fenómeno de la Isla de Calor Urbano genera diversas implicaciones en el entorno urbano, el medio ambiente, los consumos energéticos, etc., la salud en los seres humanos es uno de los aspectos que se ven seriamente afectados.

La aparición de temperaturas extremas y estrés térmico como resultado de los efectos de la ICU, conducirán a riesgos cada vez más elevados asociados con el calor; tales como el salpullido por calor, calambres, agotamiento por calor, insolación e incluso la muerte, especialmente en personas vulnerables. Asimismo, las

[12] FE: Bosque templado y mixto de hoja ancha (grupo septentrional); FA: Bosque templado latifoliado y mixto; GN: Pastizales templados, sabanas y matorrales; DE: Desierto y matorral xérico; MS: Bosques mediterráneos, arbustos; GS: Pastizales templados, sabanas y matorrales; GT: Pastizales, sabanas y matorrales tropicales y subtropicales; FV: Bosque templado de coníferas.
[13] Canopy layer.

personas con enfermedades mentales, niños, ancianos y aquellas con ocupaciones asociadas al estrés térmico, también son vulnerables (Jandaghian & Akbari, 2017).

En este sentido, Basu (2009) ha identificado que existen otros factores relacionados directamente con las afectaciones de la salud a partir de las altas temperaturas, tales como:

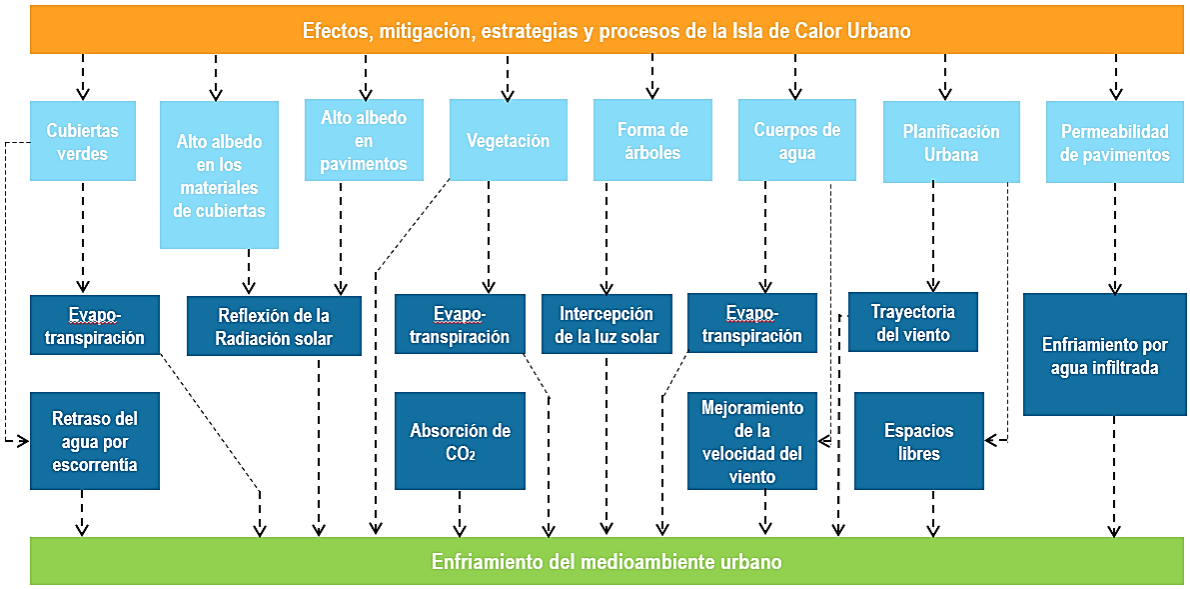
- **La edad:** las personas mayores (65, 70 o 75 años) se han reportado como el grupo de mayor riesgo de muerte después de las olas de calor, así como en ambientes con temperaturas altas. Además, los niños por debajo de los 15 años hasta los infantes de un año, han sido identificados como uno de los grupos en el cual se ha incrementado el riesgo de mortalidad por las altas temperaturas.
- **El género:** Se han reportado que las mujeres tienen un mayor riesgo de muerte debido a causas específicas de circulación sanguínea y los efectos de las altas temperaturas.
- **Grupos étnicos:** Se ha reportado que en resientes estudios epidemiológicos, las personas con color de piel negra tienen un mayor riesgo de mortalidad con respectos a las personas de piel blanca. Sin embargo, los subgrupos de personas hispánicas no se identificaron como uno de alto riesgo.
- **Factores socioeconómicos:** Se identificaron otros factores que provocan un mayor riesgo como un bajo status socioeconómico, una menor educación, personas viviendo en lugares precarios, la pobreza y la falta de aire acondicionado. Sin embargo, tanto e nivel socioeconómico como el de educación no se encontraron como factores de riesgo en todos los estudios.
- **Variaciones en la latitud:** Las personas que viven en lugares donde normalmente se tienen altas temperaturas, tienen un menor riesgo de muerte.

Así pues, conforme se han ido realizando investigaciones acerca de este fenómeno y sus diferentes implicaciones, también se han establecido los elementos, procesos y estrategias para mitigar sus efectos (ver figura 21), tales como (Nuruzzaman, 2015):

- **Materiales para cubiertas con alto porcentaje de albedo**. Esto permite reflejar la radiación solar reduciendo el calentamiento de las mismas.
- **Pavimentos con alto porcentaje de albedo**. Igualmente, una mayor cantidad de radiación solar puede ser reflejada si los materiales de las superficies de vialidades tienen un albedo que oscile entre el 0.41 al 0.77. Sin embargo, esto podría afectar la visibilidad debido al deslumbramiento que este puede causar durante el día.
- **Vegetación.** El incremento de la cantidad de vegetación es uno de las estrategias más efectivas para mitigar los efectos de la ICU. Sin embargo, es importante tomar en cuenta las características físicas de la misma, ya que esta puede interferir en la disipación de la radiación de onda larga, el flujo de viento y la movilización de aire contaminado. Así pues, la implementación de superficies frescas y vegetativas tienden a reducir la temperatura, particularmente durante el día y, por tanto, reduce la tasa de mortalidad. Por ejemplo, los resultados de algunos modelos de simulaciones muestran que, en clima cálido seco, el aumento de la reflectividad de la superficie y las cubiertas vegetativas son favorables; mientras que en un clima húmedo, el aumento del albedo es más apropiado (Jandaghian & Akbari, 2017).
- **Sombreamiento por medio de árboles**. La sombra arrojada por árboles de copa grande, provee de protección solar a los peatones y a las edificaciones. Además, también ayudan a bajar la temperatura mediante la evapotranspiración.
- **Pavimentos permeables**. Esto permitirá la infiltración de agua y la evapotranspiración, y por tanto, reducir la temperatura superficial.

- **Cuerpos de agua**. El incremento de cuerpos de agua puede reducir la temperatura debido a la acción evaporativa, mejorada por la velocidad del viento. Como se mencionó anteriormente, debido a la alta capacidad de absorción del agua, esto ayuda a reducir la temperatura del entorno urbano.
- **Planeación urbana**. Esta juega un papel vital en la mitigación del fenómeno de la ICU ya que esta puede establecer las pautas para la configuración de la ciudad y los elementos que estén orientados mitigar o prevenir la generación de dicho efecto.

Figura 21. Mitigación, estrategias y procesos del efecto de la Isla de Calor Urbano



Fuente: (Nuruzzaman, 2015:72)

2.3. El Confort térmico en el entorno urbano.

El término *confort* es definido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como un *"estado de completo bienestar físico, mental y social"*, sin embargo, dentro de la arquitectura y el urbanismo, este concepto es generalmente asociado a una serie de procesos perceptivos relacionados con las características ambientales de un determinado espacio (interior o exterior). En este sentido, se puede establecer que la sensación de confort de un espacio puede ser influenciada simultáneamente por los estímulos recogidos por todos los sentidos (Coch Roura & Serra Florensa, 1995). Es así que en el ámbito de la arquitectura, el estudio del confort suele dividirse en visual, acústico, olfativo, y térmico o climático (Coch Roura & Serra Florensa, 1995; Fuentes Freixanet, 1984). No obstante, para efectos de este trabajo, se considerará el confort desde el punto de vista térmico exclusivamente.

De acuerdo con normas internacionales como la ISO 7730 o la ANSI/ASHRAE Standard 55, el confort térmico es *"el estado de ánimo que expresa satisfacción con el ambiente térmico"*. Sin embargo, de acuerdo con Ochoa de la Torre (2009), esta definición se limita a una cuestión subjetiva, dejando de lado un complejo proceso cognitivo que involucra factores físicos, fisiológicos y psicológicos. Es por esto que el confort es determinado sobre todo por una combinación de variables físicas y fisiológicas. Coch Roura, Helena y Serra Florensa (1995) establecen que estas variables se pueden clasificar en dos grupos: *parámetros y factores de confort*.

Los *parámetros de confort* se refieren a las características físicas de un espacio habitable. Dentro de este grupo, Ochoa de la Torre (2009) hace una subclasificación: parámetros ambientales y de los materiales. Los primeros se refieren a la temperatura del aire, humedad relativa, velocidad y dirección del viento; mientras que los segundos abarcan las propiedades termo-físicas de los materiales, como la reflectividad, absortividad, transmisividad, conductividad térmica, emisividad y capacitancia (ver tabla 9).

Por otro lado, Ochoa de la Torre (2009) también hace una subclasificación para los *factores de confort*, dividiéndolos en personales, arquitectónicos, y cognitivos. Los factores personales se refieren a las características físicas y fisiológicas del sujeto, como edad, sexo, constitución corporal, actividad física, estado de salud e historial térmico. Los factores arquitectónicos se refieren a la configuración espacial del sitio, y donde en un momento dado, el usuario tiene cierta capacidad de modificación, como pueden ser toldos, persianas, ventanas, aberturas, entre otros.

Los factores cognitivos indican sobre todo el nivel de conocimiento que un individuo tiene sobre el espacio y la manera en que se ha adaptado a él. Se incluyen aspectos como la vestimenta, el conocimiento sobre el entorno y el clima, y las expectativas de confort. En el trabajo de Chávez del Valle (n.d.) "La percepción del ambiente térmico, la ciudad como entorno", se hace un amplio análisis de la influencia de cada uno de los parámetros ambientales y factores personales en el confort. La siguiente tabla muestra un resumen de las variables antes referida.

Tabla 9. Factores y parámetros que intervienen en la sensación de confort térmico

Parámetros de confort		Factores de confort		
Ambientales	**Materiales**	**Fisiológicos**	**Cognitivos**	**Arquitectónicos**
Temperatura del aire	Reflectividad	Sexo	Aclimatación	Movilidad del sujeto
Humedad relativa	Absortividad	Edad	Vestimenta	Dimensiones y proporciones del espacio
Velocidad del viento	Transmisividad	Constitución corporal	Expectativas de confort	Dispositivos de control pasivos
Radiación solar	Conductividad térmica	Actividad	Conocimiento del clima	Dispositivos de control activos
Temperatura radiante	Emisividad	Estado de salud	Conocimiento del entorno	
	Capacitancia	Historial térmico		
		Tiempo de permanencia		

Fuente: Ochoa (2012:114).

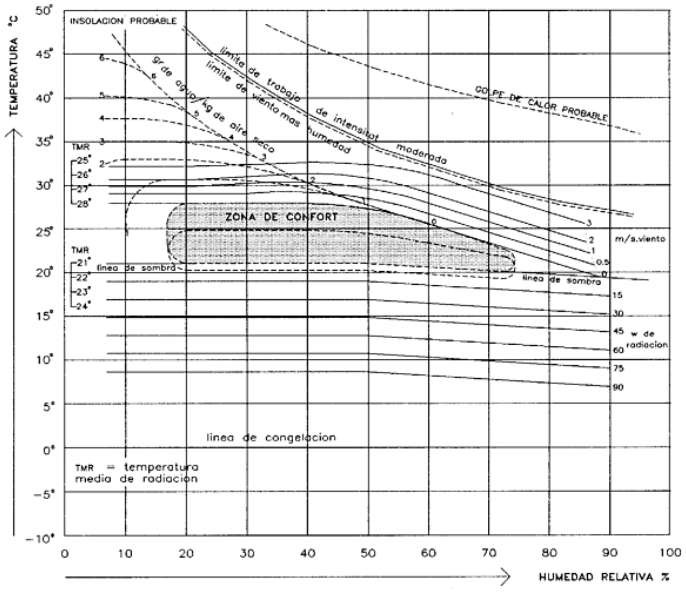
A pesar que estos factores y parámetros influyen en espacios interiores y exteriores, las condiciones en las que se llega al confort en ambos tipos de espacio son diferentes. Ochoa de la Torre (2009) señala que esto se debe entre otras cosas, a diferencias en la variabilidad climática, que suele ser mayor en espacios exteriores, como la variación día-noche, o la que hay entre las estaciones del año. Estos cambios también se pueden dar conforme un sujeto se mueve a través del espacio (en una ciudad, por ejemplo). La capacidad de aclimatación de un sujeto (adaptación al clima local, uso de ropa adecuada o costumbres), y las expectativas de confort (predisposición de un sujeto a ciertas condiciones climáticas debido al lugar), son también factores que influyen en la capacidad de lograr confort en un espacio exterior.

De acuerdo con Morgan & Baskett (1974), existen dos tipos de índices o enfoques generales mediante los que se pretende estimar el confort térmico: los índices *sintéticos o empíricos*, y los índices *analíticos o racionales* (Tornero, Pérez Cueva, & Gómez Lopera, 2006). Los índices empíricos se basan en encuestas a una muestra representativa sobre la sensación de confort de los sujetos. Aunque en estos índices se considera la vestimenta, las expectativas de confort, y la aclimatación de los sujetos, se dejan de lado aspectos como la fisiología humana, la actividad y otros datos personales como la altura, el peso, edad o el sexo de la persona (J. Ochoa, 2009; Tornero et al., 2006).

Los índices analíticos son más recientes y se basan en modelos que calculan el balance térmico de una persona, en relación a sus respuestas fisiológicas según las condiciones ambientales. En este enfoque se considera como punto de partida la teoría de la transferencia de calor para describir los diversos intercambios de radiación sensible y latente (Höppe, 1993; J. Ochoa, 2009; Tornero et al., 2006). Ochoa de la Torre (2009) señala que existe un tercer tipo de índice, los *híbridos,* que determinan el confort de una manera analítica y después se complementa con una relación empírica, o a la inversa, que parte de un enfoque empírico, y que se complementa con cálculos de transferencia de calor. Con base en estos índices, se han establecido diversos esquemas para determinar el grado de confort de las personas. Dentro de los índices racionales, uno de los más aceptados y utilizados es el propuesto por Víctor Olgyay, y que precisamente está enfocado en los espacios exteriores.

El modelo propuesto por Víctor Olgyay está basado en una gráfica que considera los parámetros de temperatura del aire y humedad relativa como punto de partida (eje 'Y' y 'X' respectivamente). Olgyay propone una zona de confort (sin tomar en cuenta los parámetros personales) entre los 21ºC y 25ºC, y entre el 19% y 75% de humedad relativa aproximadamente. El rango de temperatura disminuye conforme aumenta la humedad relativa (ver figura 22). De manera indirecta, y como factores de corrección, considera también los otros dos parámetros ambientales: radiación solar y movimiento del aire. Con estos dos parámetros, y según las condiciones de temperatura y humedad relativa, Olgyay propone las medidas de corrección necesarias para alcanzar la zona de confort antes mencionada. De acuerdo con H. Coch y R. Serra (1995), esta gráfica resulta útil también para estudiar la variación climática diaria o anual de un determinado lugar, y con esto, observar también los momentos del año en que se está dentro o fuera de la zona de confort. En caso de esto último, se pueden observar también las estrategias necesarias para alcanzar dicho confort.

Figura 22. Gráfica propuesta por Víctor Olgyay para determinar las condiciones de confort en espacios exteriores.



Fuente: V. Olgyay & Olgyay (1963) y modificado por H.Coch & R. Serra (1995).

A pesar que los índices de confort se han aplicado en diversos campos como la salud, la morbilidad, el trabajo, el sueño, el turismo, o los deportes, Tornero et al. (2006) señala que quizá el más importante es el de la planificación urbana. Diversos estudios muestran que la planificación urbana tiene una importante influencia en el confort térmico. Al respecto destacan investigaciones sobre el microclima en la ciudad, y las islas de calor (Chang, Wang, & Lin, 1971; Nunez & Oke, 1977). Estos trabajos se han centrado sobre todo en los efectos de los cañones urbanos en el almacenamiento de calor, las velocidades del viento, la dispersión de los contaminantes, y los balances de energía. Es decir, es una línea de trabajo que se centra en cómo la ciudad modifica los parámetros meteorológicos (Tornero et al., 2006) o climáticos. Las áreas verdes han sido ampliamente estudiadas por su efecto en la generación de microclimas más confortables (sobre todo en climas cálidos), por su influencia positiva en las islas de calor, o incluso su papel en la arquitectura directamente (Givoni, 1989; Gómez, Gil, & Jabaloyes, 2004; Gómez, Tamarit, & Jabaloyes, 2001; Terjung & O'Rourke, 1981).

Sin embargo, diversos autores también señalan que los aspectos climáticos tienen todavía un bajo impacto en la planificación urbana (Lindqvist & Mattsson, 1989; Pielke & Uliasz, 1998). Thamm, Gossmann, Richter, & Röckle (1999) señalan que probablemente esto se debe a que el factor climático es sólo uno de los muchos parámetros considerados en este proceso de planificación urbana. A pesar de esto, a lo largo de la historia, se pueden encontrar casos en los que los espacios exteriores o abiertos se fueron diseñando de manera intuitiva, respondiendo a las condicionantes climáticas de las diferentes regiones o ciudades.

Esto se traduce en que el diseño de un espacio abierto debe partir necesariamente de un profundo conocimiento del clima del lugar. Tornero et al. (2006) señala que esto no se limita al tema de la temperatura, sino que se deben incluir en este análisis todas las variables que intervienen en el balance térmico del individuo, como ya se ha mencionado antes: humedad del aire, radiación solar, velocidad y dirección del viento. Además, el autor señala que este análisis debe ser complementario de un análisis climático urbano, pues como se ha mencionado, la ciudad puede alterar –para bien o para mal- las condiciones de confort de los ciudadanos.

2.4. Implicaciones del diseño urbano en el microclima de las ciudades.

Además de las características climáticas propias del lugar donde se encuentra la ciudad, la toma de decisiones en el diseño de los espacios urbanos también tiene repercusiones en el microclima urbano, tales como se describen a continuación.

2.4.1. Densidad e intensidad Urbana

El concepto de densidad dentro del entorno urbano, está dotado de una gran variedad de significados, pero normalmente se refiere a la cantidad de vivienda o personas por unidad de área. No obstante, cuando se trata de identificar las implicaciones que tiene la densidad en el consumo energético, no es una tarea sencilla de desarrollar (Doherty, Nakanishi, Bai, Meyers, & Ecosystems, 2009:3-4).Por tanto, en este caso, más allá de hablar únicamente de la densidad urbana como un mero dato estadístico, se hablará de ella, enfocada a la morfología, su estructuración física y la intensidad de uso del suelo que tiene la ciudad.

La densidad tiene un efecto directo en la exposición de las superficies urbanas a la radiación solar, la iluminación, la acústica y el sombreamiento en diversas condiciones climáticas, por lo que este es uno de los factores claves para poder lograr una ordenación urbana adecuada y sostenible (E. Higueras, 2014:134).

En este caso, la exposición solar de los edificios y espacios abiertos, ha sido un tema de importancia entre los planificadores y diseñadores, sobre todo para aquellos cuyo emplazamiento se localiza en las latitudes altas. En donde la distancia entre edificios suele ser muy grande debido a que, regularmente se toma en cuenta el estado más crítico de acceso a la radiación solar (solsticio de invierno), cuando el sol es más bajo. Sin embargo, Erell (2008:102) argumenta que, es precisamente en este periodo donde las horas de acceso al sol son muy pocas, por lo que los beneficios pueden llegar a ser marginales; en cambio sí se garantiza la exposición al sol durante un periodo de horas más grande, en proporción, podría procurarse un requerimiento menor de calefacción, pero las limitaciones geométricas serían menos estrictas en cuanto a la altura de los edificios.

Por otro lado, en los lugares de clima cálido-húmedo, normalmente lo que se busca es controlar la exposición a la radiación solar, pero maximizar el flujo de aire, además de proporcionar sombras en los espacios públicos. Por tanto, en este caso los planificadores se deben enfocar en crear una geometría de la ciudad tal, que proporcione sombra pero que su densidad sea menos densa para permitir el flujo de aire.

Caso contrario a los espacios abiertos en zonas con clima cálido seco, donde se busca calles estrechas y una estructura urbana densa (E. Erell et al., 2011b; E. Higueras, 2014; V. Olgyay, 1998). En este sentido, en un estudio realizado por R. Emmanuel (E. Rohinton & F. H.J.S., 2007) muestra que se puede llegar a tener una pequeña mejoría en el confort térmico en exteriores en espacios con altas densidades (además del albedo, flujo de aire, etc).

En lo referente a los lugares con clima templado, el diseño puede depender de la temporada del año a la que se enfoque el mismo; el acceso solar puede resultar beneficioso en una temporada, pero causar un leve disconfort en otra.

Así pues, como se muestra en la figura 23, la configuración y densidad urbana está estrechamente ligada con el tipo de clima que se tiene. En este caso, se emplearon como ejemplo los barrios tradicionales de la ciudad

de Villahermosa, Mex (clima cálido-húmedo), de Praha, Czech República (clima frío), Marrakech, Marruecos (clima cálido.seco) y finalmente la ciudad de Querétaro, Mex (clima templado); todas las imágenes de los barrios obtenidas a una altura de 149 m para poder apreciar la misma escala visual en todas ellas.

A partir de lo cual, se puede apreciar como la configuración cumple con las condiciones de los requerimientos básicos de cada tipo de clima; por ejemplo, Villahermosa presenta una estructura consolidada, pero con una estructura vial y volumetría de edificios que aparentemente propician el flujo de aire en los espacios abiertos.

Por otro lado, la zona de Praha, presenta importantes agrupaciones de edificaciones sobre una estructura viaria con grandes secciones, permitiendo así una mayor captación de radiación en las fachadas. Además de tener grandes patios interiores en los bloques de edificios para tener una captación de radiación solar durante la mayor parte de las horas diurna.

En el caso de Marrakech, que corresponde a un clima cálido-seco, se puede apreciar la gran densidad y compacidad que presenta la estructura de sus barrios antiguos, además de los patios interiores de las edificaciones, en este caso, de tamaño mucho más reducido en comparación con los de Praha. De esta manera se tiene una menor exposición y control de la radiación solar, que es lo que se busca en este tipo de clima.

Finalmente, la ciudad de Querétaro con clima templado, muestra una estructura medianamente densa, con una serie de espacios abiertos, aunque con secciones de vialidades no tan amplias como las de Praha, ni tan reducidas como las de Marrakech. Además, se puede observar que igualmente se emplea el uso de patios interiores, que suele ser muy característico en las viviendas tradicionales de México.

Figura 23. Morfología urbana de ciudades de clima cálido-húmedo, frío, cálido-seco y templado

Fuente: Google Earth.

Así pues, la densidad y la altura de las edificaciones en la ciudad, generan una influencia en la temperatura potencial y la temperanjmtura radiante media; la altura de las edificaciones juega un importante papel en la determinación del potencial de temperaturas a 1.6m desde el nivel de tierra ya que dependiendo de la altura

de los mismo, será el sombreamiento que genere y por tanto se verá reflejado en la temperatura del aire y superficial también (Perini & Magliocco, 2014:12).

Otro factor asociado a la densidad, es el uso eficiente de la energía. Normalmente las ciudades más pobladas del mundo usan la mayor cantidad de recursos globales de energía; sin embargo, sus habitantes están entre los usuarios de energía más eficientes, ya que consumen/liberan una relativa menor cantidad de energía per cápita. Las principales razones son (Oke et al., 2017)

2.4.2. Cañón Urbano

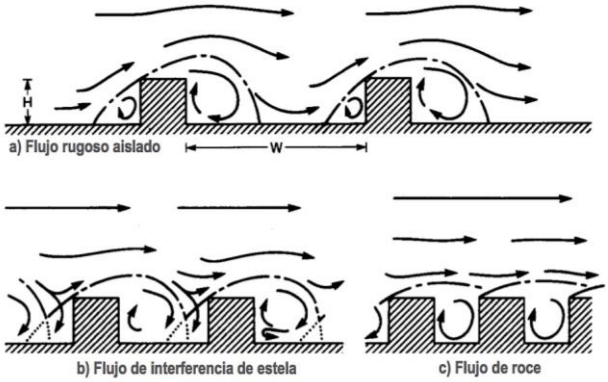
El cañón urbano es el modelo de una calle semi-infinita con una sección rectangular que incluye los extremos los edificios con la misma altura. "La relación entre la altura de los edificios (H) con el ancho de la calle (W), es uno de los elementos más importantes para el control de las condiciones microclimáticas en una calle, ya que afecta el intercambio radiante durante el día y la noche" (Erell et al., 2011b:104). Durante el día, los edificios altos pueden generar sombra, reduciendo la superficie y la temperatura del aire. Además, los edificios altos generan cañones urbanos más profundos. Para una anchura determinada de la vialidad, esto tiende a aumentar la reflexión y la absorción de la radiación entre las fachadas de los edificios y así es como se reduce el albedo. Esta es la razón principal por la que los valores máximos diurnos de radiación neta tienden a ser más altos para superficies urbanas con cañones más profundos en comparación con aquellos con edificios bajos (Perico-Agudelo, 2009).

Asimismo, cuando las superficies de las cubiertas de los edificios en un bloque de la ciudad son de la misma altura, es menos probable que los reflejos de cualquier superficie del tejado sean interceptados en otro edificio. Por lo tanto, la uniformidad de las alturas de edificios, tendrá como resultado un albedo más elevado, mientras que los edificios con alturas variadas van a generar superficies más rugosas (y menos reflectivas), absorbiendo más radiación solar entrante.

Sin embargo, cuando la radiación solar alcanza la superficie del cañón, esta es reflejada y absorbida por los muros de los edificios, lo cual podría generar un aumento de temperatura dependiendo del albedo de la superficie y la geometría urbana. Asimismo, durante la noche, los cañones urbanos suelen obstruir la liberación de calor lo que complica en enfriamiento de las diferentes superficies (Wong, 2008:13). Por lo tanto, calles profundas presentan un factor de vista de cielo bajo y, por lo tanto, pierde menos calor durante la noche mediante la radiación de onda larga. No obstante, es importante tener en cuenta la función de la configuración y masa térmica de los edificios ya que estos se presentan con una geometría tridimensional y por tanto, con mayor área superficial, en comparación con las zonas rurales. Por tanto, la masa térmica efectiva es mucho mayor en la primera, dando como consecuencia una reducción en la oscilación térmica diurna (E. Erell & Williamson, 2006:1254).

Esto, demuestra que la estructura urbana densa encontrada normalmente en los barrios tradicionales de las ciudades desérticas, tengan una reducción en los extremos de las temperaturas diurna característicos de estos climas. Por tanto, el efecto de la geometría del cañón urbano en el intercambio de radiación, puede llegar a tener importantes implicaciones en el confort térmico de las personas dentro de las ciudades; no obstante, actualmente es común que este aspecto sea pasado por alto en el diseño urbano. Además de lo anterior, el flujo de viento es otro aspecto relacionado con la configuración del cañón urbano. Para el cual, se ha realizado una clasificación para este fenómeno que se divide en tres: a) flujo rugoso aislado, b) flujo de interferencia de estela y b) flujo de roce (ver figura 24).

Figura 24. Regímenes de flujo asociados al flujo de viento a partir de la proporción H/W entre edificios



Fuente: (Oke, 1988:105).

Varios autores explican que los caudales de viento pueden variar dependiendo de la uniformidad o variación de la altura de los edificios y su relación con la anchura de la calle, generando a su vez los diferentes patrones de movimiento del mismo (tal como muestra Oke en la figura x) (Baik & Kim, 1998; Yamartino & Wiegand, 1967).

Por otro lado, además de que la orientación afecta la penetración de la luz solar directa a nivel de calle, a partir de patrones, el efecto global sobre el albedo urbano parece ser insignificante. Sin embargo, mientras que la reflectividad de las superficies más naturales es casi independiente del ángulo de incidencia, el albedo de un área urbana cambia sustancialmente con la posición solar. Esto es debido a que el albedo de una ciudad no es simplemente el promedio de un área de superficies individuales, sino que es afectado por la relación geométrica entre las superficies, tales como muros, cubiertas y la tierra. (Erell et al., 2011b:33).

2.4.3. Espacios abiertos[14]

El efecto local que generan los espacios abiertos en la ciudad, ha sido llamado Isla de Parque Fresco[15], el cual hace referencia a la similitud de un efecto de oasis dentro de la misma, donde la diferencia de temperatura con las superficies urbanas puede ser mucho menor. En sí, es el efecto contrario a la Isla de Calor Urbano (Evyatar Erell, 2008:107).

Asimismo, la presencia de cuerpos de agua en estos lugares, incluso más que la presencia de plantas, permiten el aumento de la evaporación, propiciando una temperatura superficial y del aire más baja que las áreas circundantes. Por tanto, una amplia superficie dedicada a estos espacios, puede reducir las temperaturas máximas durante el día. Sin embargo, durante la noche tienen poco o casi nulo efecto en la ciudad (Rohinton & H.J.S., 2007).

Durante el día, las temperaturas de las superficies son afectadas por la presencia o ausencia de sombras, el porcentaje de albedo de la misma, la disponibilidad de agua y por las características térmicas de los materiales del suelo. En la noche, las propiedades térmicas de las superficies y la geometría radiante son los controles de enfriamiento más importantes. En el caso de los espacios abiertos, la temperatura se regula principalmente por la presencia de vegetación, debido a las sombras y humedad que proporcionan (E. Erell, 2008:108).

[14] Parques, áreas verdes y áreas deportivas exteriores
[15] Park Cool Island (PCI)

Por tanto, se requieren de extensas áreas con vegetación para generar un efecto en la temperatura del aire. En este caso, algunos autores han demostrado que la diferencia de temperatura intraurbana entre los parques y sus alrededores durante la noche, se incrementó conforme el aumento del tamaño de las áreas abiertas, además de haber grandes diferencias entre el interior de los parques y las áreas construidas; lo cual se atribuyó al grado de exposición al cielo, y por tanto, a la intensidad de enfriamiento radiante (E. Erell, 2008b; Upmanis, Eliasson, & Lindqvist, 1998). No obstante, estos efectos también dependerán del tipo de clima e igualmente de la disposición y tipo de vegetación que se encuentren en estos espacios.

En resumen, algunos de los beneficios de la presencia de los espacios abiertos dentro de la ciudad son (ClimCAP Training Pilot, 2015:15):

- Regulan la temperatura diurna del aire y las velocidades y flujo del viento
- Generan efectos locales de enfriamiento en debido a la sombra y a la evaporación
- Propician la reducción de estrés térmico y bioclimático durante el día
- Grandes extensiones de espacios verdes, actúan como zonas de enfriamiento en la ciudad (>50 ha); superficies más pequeñas generan su propio microclima (1-10ha).
- Sirven como filtro de los contaminantes del aire, por deposición seca y húmeda

2.4.4. Vegetación

De todos los elementos del entorno urbano, la vegetación es el más versátil para generar modificaciones en el clima. Es un elemento clave en el control de la temperatura, la humedad, la exposición y control de la radiación (corta y larga), el control del flujo del viento, ventilación para disipar los contaminantes del aire, la erosión y control acústico (Oke, Mills, Christen, & Voogt, 2017:433).

La especie puede diferir de manera importante en la habilidad para reducir la temperatura del aire y de la superficie, así como en incrementar la humedad relativa. Por ejemplo, las diferencias de temperatura superficial que se encuentran sombreadas por árboles, son más pronunciadas comparadas con la temperatura del aire de las superficies sin sombra por vegetación (Gillner, Vogt, Tharang, Dettmann, & Roloff, 2015).

En dado caso, la respuesta que tiene un conjunto de árboles, al incremento de las cargas energéticas en una gran extensión de superficie pavimentada, va a variar dependiendo del tipo de especie, la humedad de la atmósfera y la magnitud de la copa del árbol expuesta. Por ejemplo, en climas áridos, puede ser capaz de disipar el calor a partir de una especie de hojas pequeñas. Pero la evapotranspiración generada por parte de ese tipo de árboles, puede ser menor que la que generaría uno de hoja ancha, y por tanto, tienen un menor efecto en la temperatura del aire a su alrededor.

Algunos autores argumentan que el descenso de la temperatura del aire por el uso de árboles, se debe a la evapotranspiración que generan; no obstante, hay otros que comentan que se debe en realidad a la sombra que proyectan (E. Erell, Leal, & Maldonado, 2005).

Por otro lado, los efectos de la vegetación en los edificios cercanos suelen manifestarse en el consumo de energía de los mismos. En este caso Erell (2008:108) argumenta lo siguiente:

- La vegetación puede influir en la reducción del consumo de energía de los edificios que se encuentran el clima cálido, si la temperatura del aire es reducida cerca del área plantada.
- La vegetación debe sombrear las superficies de los edificios. Reduciendo las cargas radiantes de la envolvente. Lo cual puede ser beneficioso en climas cálidos, pero perjudicial en climas fríos.
- Las plantas deberían reducir la velocidad del viento cercano a las edificaciones.
- La vegetación en climas cálidos, puede reducir las temperaturas de las superficies de la tierra, a través de la evapotranspiración.
- Las cubiertas verdes, son uno de los ejemplos más obvios para lograr el control del consumo energético, incluso, puede influir en el mejoramiento del microclima urbano.

Por su parte J. Ochoa (2012: 65-72), identifica cuatro tipo de componentes de vegetación:

1) **Arbolado en línea:** es el más común de reconocer ya que normalmente se localiza en las vialidades e incluso en algunas plazas. Consiste en una serie de árboles o arbustos colocados en hilera a una distancia regular. Este tipo puede funcionar, además, como una barrera visual, para delimitar un espacio o para redireccionar el flujo de viento. En este caso, recomienda el uso de especies caducifolias para que durante la época cálida proporcionen sombra y en la fría, al perder las hojas, permitan el paso de la radiación solar. De lo contrario, si lo que se pretende es el de ser una barrera contra el viento y la radiación, Ochoa recomienda el uso de especia perennifolias, que conservan su follaje durante todo el año.

2) **Grupo de árboles:** Este tipo de acomodo de vegetación se encuentra comúnmente en las plazas y parques urbanos; pueden hallarse en agrupaciones compactas o de manera más dispersa, permitiendo la circulación entre ellos tanto de personas como del flujo de viento. En este caso, si se tiene un grupo árboles grande y denso, es posible observar diferencias de temperatura conforme a zonas adyacentes, urbanizadas y vegetación, como se había explicado anteriormente.

3) **Cobertura superficial:** En este caso, se refiere a una capa de vegetación pegada a una superficie que no sobrepasa los 50cm. La importancia de este tipo de componente radica en el cambio de las propiedades físicas del suelo donde se asienta, lo que se traduce en un aumento de la absorción y reducción de la reflexión de la radiación solar.

4) **Pérgola:** Se presenta a partir del uso de una estructura, ya sea de madera, acero, hormigón, o cualquier otro material que permita soportar alguna especie de planta trepadora. Su principal función es la de proporcionar sombra, aunque también puede servir como barrera contra el viento, efectos acústicos o visuales.

2.4.4.1. NDVI

El Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI) es un indicador para determinar el vigor de la vegetación, su densidad y salud en un área determinada. Emplea del espectro electromagnético, la banda roja y la del cercano infrarrojo NIR de la teledetección.

Esta se ha convertido en una herramienta importante en el desarrollo de investigación asociada a la ICU, y haciendo énfasis en el uso del NDVI como uno de los indicadores más importantes del clima urbano, ya que existe una interrelación linear con la temperatura superficial del suelo. La banda del térmico infrarrojo TIR del

satélite LANDSAT es útil para el cálculo de la temperatura de interface entre la superficie terrestre y la atmósfera, siendo de suma importancia para el entendimiento de las interacciones entre estos (Macarof & Statescu,2017).

Los valores del NDVI obtenidos del procesamiento de las imágenes satelitales van del -1 al +1, donde -1 corresponde al pixel donde no hay vegetación y +1 al pixel con cubierta vegetal densa (Saini & Kamal, 2003). Dichos valores surgen a partir de la aplicación de la fórmula[16]:

$$NDVI = (b5 – b4) / (b5 + b4)$$

Donde:
b4= banda roja
b5= banda infrarroja

2.5. El urbanismo bioclimático. Componentes y enfoques

Víctor Olgyay, ha sido uno de los grandes referentes y precursores en el tema del urbanismo bioclimático a partir de su obra más reconocida, Arquitectura y Clima (1963). En donde el estudio de la ciudad, las características climáticas de su entorno y las herramientas presentadas para su evaluación, han sido un recurso utilizado en múltiples investigaciones tanto a nivel urbano como arquitectónico.

En este caso, Higueras describe que "el urbanismo bioclimático se enmarca en el ámbito de la planificación de desarrollo sostenible, cuyo objetivo es mejorar la calidad de la vida de las personas, aprovechando al máximo todos los recursos disponibles y controlando todos los efectos perniciosos sobre el medio ambiente, en todas sus escalas, (recursos del soporte, del clima, energéticos, paisajísticos e, incluso socioeconómicos mediante un reparto equitativo de bienes y servicios)" (Higueras, 2014:66); además debe basarse en las características climáticas y del territorio para generar su estructura, en el entendido de que cada lugar tiene sus propias características específicas. De tal manera que, para lograr lo anterior, la autora plantea el análisis de una serie de variables del medio físico y ambiental tales como se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Variables relacionadas con el medio físico construido y ambiental para el estudio y diseño bioclimático urbano

Ambientales	Medio urbano
Radiación solar	Red viaria
Vegetación	Espacios libres
Viento	Morfología de las manzanas
Agua y humedad del aire	Morfología de las parcelas
Geomorfología	Tipología edificatoria

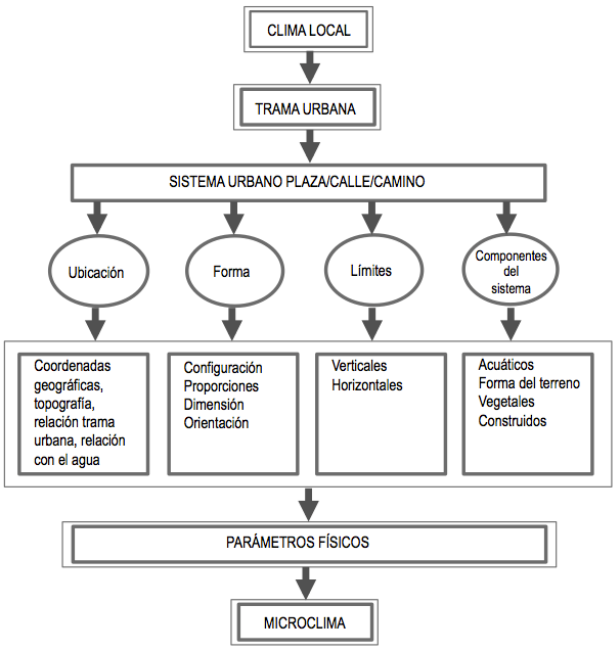
Fuente: (E. Higueras, 2014:74)

Por su parte, Ochoa propone que para poder estudiar las relaciones entre los diferentes elementos de un sistema urbano y el clima a escala zonal o local, es necesario hacer un desglose más detallado del mismo, para lo cual define cuatro temas de análisis, que nos indicarán la configuración general de este (ver figuras 25 y 26) (J. Ochoa, 2012:52):

[16] La metodología de cálculo a partir del empleo de la teledetección y sistemas de información geográfica se puede consultar el apartado 3.4.4.

- Ubicación: latitud; longitud; altitud; relación topográfica; relación con el agua; relación con la vegetación.
- Forma: densidad urbana; trama urbana (dirección y continuidad); sección media de las calles.
- Límites espaciales: límites verticales; cerramientos (perforación, pesadez; albedo; textura; orientación); límites topográficos; límites horizontales; pavimentos; terreno natural; agua.
- Componentes vegetales del sistema: arbolado en línea; grupo de árboles; Cobertura superficial; Pérgolas.

Figura 25.Esquema general de un sistema urbano



Fuente: J. Ochoa (2012:52).

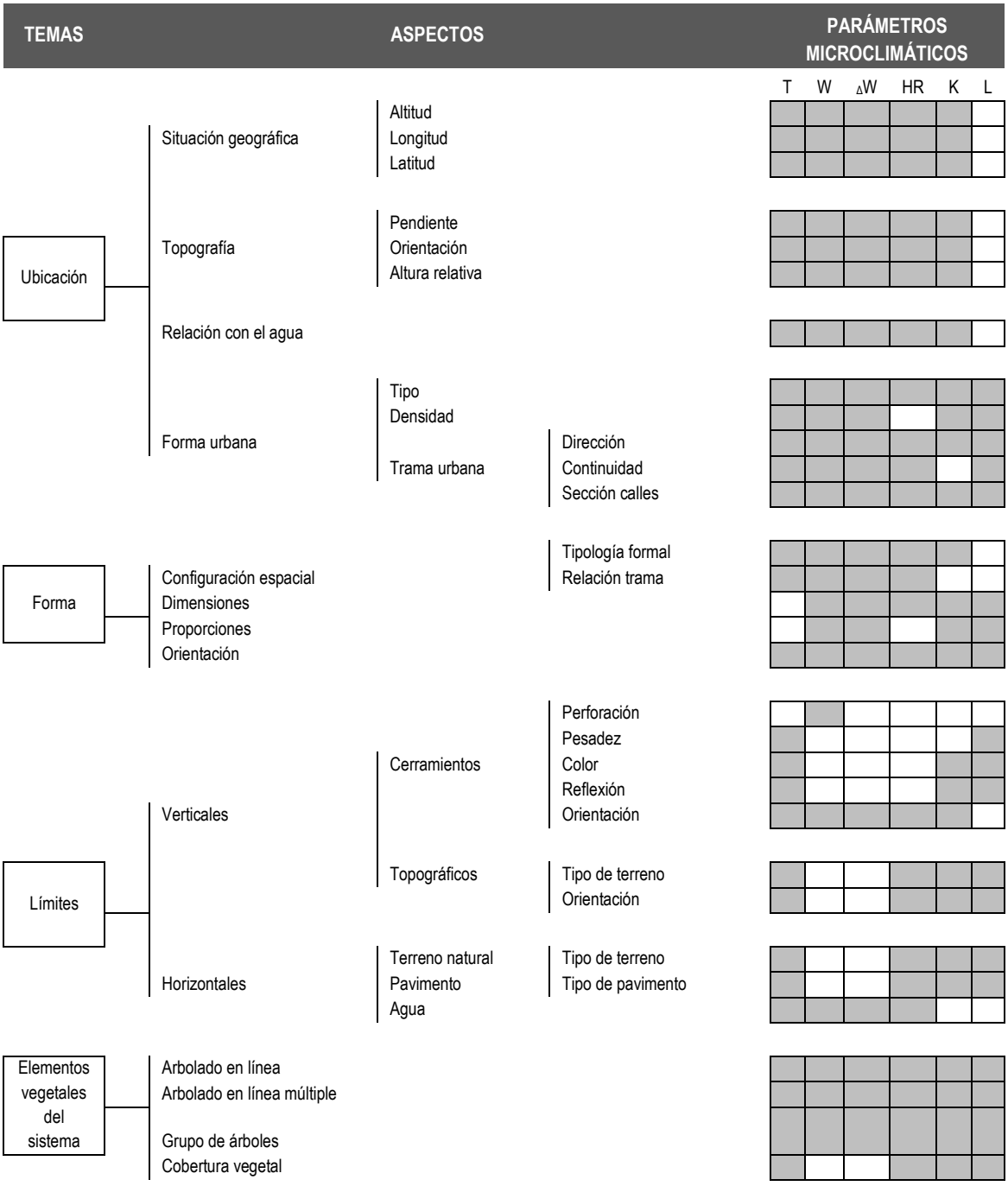
J. Ochoa (2012:76) prevé que la intervención en aspectos preexistentes de un lugar, tales como la ubicación, la forma y los límites, suelen ser aspectos difíciles de modificar, salvo en casos de nuevas urbanizaciones. Propone igualmente una serie de pautas de diseño microclimático enfocadas en el uso de la vegetación que deben ser atendidas por los diseñadores. Estas están enfocadas al diseño, pero pueden a su vez ser tomadas como una serie de requerimientos que deben cumplir los espacios urbanos ya existentes para determinar si en realidad lo que se encuentra ya construido, se adapta a las características del clima local.

- Control de la radiación solar: directa, difusa, reflejada y de onda larga
- Control del viento
- Control de la temperatura y la humedad

Así pues, la figura 26, muestra la relación de los diferentes elementos físicos del sistema o entorno urbano y su relación para el control de los diferentes parámetros microclimáticos, tales como: la temperatura del aire, la Velocidad del viento, la dirección del viento, la humedad relativa, la radiación solar y la radiación terrestre. Además, se podrá observar que tanto la forma urbana como los elementos vegetales del sistema urbano, son los que mantienen una mayor relación con los parámetros microclimáticos y, por tanto, es a partir de la intervención de estos que se puede tener un mayor control en las implicaciones de los mismos.

.

Figura 26. Elementos del sistema urbano y su relación con los parámetros microclimáticos



T: Temperatura del aire; **HR**: Humedad Relativa; **W**: Velocidad media del viento; **R**: Radiación; **ΔW**: Dirección del viento; **K**: Radiación solar; **L**: Radiación terrestre.
Fuente: (J. Ochoa, 1999:6.7).

Así pues, el diseño urbano bioclimático, como ya se había comentado anteriormente, parte de las características climáticas específicas de cada lugar, esto es, que a partir de las características del mesoclima o clima local, se pueden establecer una serie de pautas de diseño con las que deben de cumplir los espacios urbanos para lograr llegar al confort higrotérmico, preferentemente a partir de sistemas pasivos. Sin embargo, dependiendo de la escala que se quiere intervenir dentro de la ciudad, también será la especificidad de los datos climáticos y pautas de diseño resultantes del microclima o clima zonal. Por tanto, la definición de la

escala de estudio, es de vital importancia en cualquier proceso de diseño o evaluación con bases bioclimáticas.

No obstante, varios autores (V. Olgyay & Olgyay,1963; E. Erell et al., 2011b; E. Higueras, 2014;) ya han realizado una clasificación general de los climas base del planeta y a partir de ello, han asentado una serie de características físicas que deberían tener los espacios urbanos conforme a cada clima.

En la tabla 11 se describen de manera general, las características que debería tener la disposición de la vegetación en los 4 diferentes tipos de región climática (frío, templada, cálido-seca y cálido-húmeda), además de los espacios abiertos, las edificaciones y el medio físico construido en general. Dicha tabla pretende ser una herramienta que permita previsualizar las características que debería tener el entorno urbano que se va a diseñar, intervenir, o bien evaluar.

Sin embargo, como se dijo anteriormente, dependiendo de la escala de interés, será la profundidad con la que se analice la interrelación de las características climáticas y los diferentes elementos de la ciudad, además de las herramientas que se deberán emplear.

Tabla 11. características de la vegetación, los espacios abiertos, las edificaciones y el medio físico construido en general, por tipo de región climática

REGIÓN CLIMÁTICA	VEGETACIÓN	ESPACIOS ABIERTOS	EDIFICACIONES	MEDIO FÍSICO CONSTRUIDO URBANO
Fría	• Barreras de vegetación perenne • Orientación NE-SO • Arbolado situada @20 veces su altura • Arbolado de hoja caduca cerca de vivienda • Evitar abundante vegetación cerca de vivienda	• Protección contra el viento • Abiertos y periódicamente con sombras	• Zonas cerradas y compactas • Orientación norte-sur • Forma cúbica • Edificación en altura	• La trama urbana busca protección contra el viento • Agrupación de edificios en grandes unidades • Espacios libres entre edificios para aprovechamiento del sol • Las viviendas tienden a juntarse • Se busca una mínima exposición de superficie para impedir pérdida de calor • La estructura urbana es una trama densa
Templada	• Planicies de césped cerca de edificaciones para absorción de radiación • Empleo de arbolado de hoja perenne para proteger del viento • Arbolado de hoja caduca para generar sombreamiento	• amplias áreas de césped con grupos de árboles para proporcionar sombra.	• Formas variadas • orientación este-oeste	• La distribución de las viviendas es abierta • La naturaleza y las edificaciones se integran • Trazado urbano libre
Cálida-árida	• La vegetación como elemento clase en el control de la radiación solar, la evapotranspiración y la generación de sombras • Proporcionar concentración de plantas, árboles y superficies verdes a manera de oasis.	• Estrecha conexión con las áreas habitacionales • Conveniente protección solar total o parcial • Evitar superficies pavimentadas • Estanques de agua	• Formas macizas • formas ligeramente alargadas con orientación este oeste • Edificaciones en altura	• Los muros de edificaciones generan proporcionan sombra a la calle y las zonas de actividad diurna • Empleo de toldos para generar sombra • Agrupación de vivienda para conseguir mayor protección térmica • Densa estructura urbana para generar sombras y proteger del calor • Agrupación de vivienda unifamiliar en torno a un patio interior.
Cálida-húmeda				• Los edificios se desarrollan libremente

	• Arbolado de ramas altas para no interferir con las brisas • Vegetación baja lejos de las viviendas para no interrumpir movimiento de aire	• disposición de vegetación y elementos urbanos que incentiven la ventilación • Generación de sombras a partir de vegetación y edificaciones aledañas	• Construcciones alargadas con orientación este-oeste	• Viviendas separadas para aprovechar movimiento del viento • Vegetación arbórea para generar sombra • Estructura urbana dispersa y relajada

Fuente: Elaboración propia con base en (Erell et al., 2011b; Higueras, 2014:146-152; (V. Olgyay & Olgyay (1963: 90-94)).

Por su parte Schiller (Schiller, n.d.), desde un enfoque cualitativo, desarrolla una propuesta de evaluación del diseño urbano y ciertos componentes de la sostenibilidad que se presentan en los espacios abiertos a escala de sectores de la ciudad. A través de la cual se plantea la identificación de relaciones clave de patrones entre variables de diseño, clima y comportamiento social. El objetivo es evaluar las cualidades de diseño, condiciones del microclima y el comportamiento social en relación a patrones morfológicos del tejido urbano. Su método parte de las cualidades propuestas por Bentley (1999) mismas que hacen referencia a la calidad del diseño, tales como permeabilidad, vitalidad, variedad, legibilidad, y robustez (ver tabla 12).

Tabla 12. Cualidad de diseño urbano, calidad de sustentabilidad y calidad micro-climática

Calidad	Cualidad de diseño urbano	Calidad de sustentabilidad	Calidad micro-climática
Permeabilidad	Conectividad del tejido visual y funcional. Elección de rutas alternativas, capacidad de opción y preferencia del usuario	Acceso a recursos renovables del sol, brisa y luz natural. Accesibilidad para promover participación social	Acceso a recursos renovables del sol, brisa y luz natural. Accesibilidad para promover participación social
Vitalidad	Ubicación y proporción de bordes activos. Frecuencia de entradas y relación interior/exterior	Social: Mejorar la calidad de vida, conservar la herencia social y cultural. Económico: promover la actividad comercial e intercambio	Condiciones exteriores que favorecen actividades al aire libre. Microclima estimulante
Variedad	Variación en usos de día y noche; en interiores y exteriores.	Ambiental: conservación de diversidad. Social: inclusión de distintos sectores sociales	Variedad de condiciones micro-climáticas en el entorno exterior
Legibilidad	Comprensión del trazado y estructura urbana y relación con la ciudad, identidad visual, facilidad de identificar rutas, actividades y movimiento	Organización social: promover autodeterminación y auto-suficiencia, dominio del espacio. Alentar responsabilidad social, participación y pertenencia.	Fácil lectura de las condiciones microclimáticas y comprensión del potencial de lograr confort y desarrollar actividades
Robustez	Flexibilidad, habilidad de aceptar distintos usuarios y actividades a través del tiempo	Adaptabilidad: desarrollo flexible, permite realizar cambios, renovar, revitalizar, refuncionalizar, reusar, etc.	Posibilidades de adaptar, corregir o modificar las condiciones ambientales

Fuente: (Schiller, n.d.:9, modificado).

No obstante, de lo anterior se observa que este tipo de indicadores están enfocados a la percepción del usuario o evaluador, a excepción de la permeabilidad, que califica la relación entre la estructura urbana y el acceso a la radiación solar y la ventilación, en términos generales. Esto, ya que analiza las conexiones abiertas dentro del tejido urbano, su accesibilidad. Calificando la percepción con un valor de -2 para la falta de permeabilidad, -1 para limitada permeabilidad, 0 Normal, 1 Permeable y 2 para muy permeable (ver tabla 13).

Tabla 13. Escala de Permeabilidad

PERMEABILIDAD		
Nivel	**Categoría**	**Definición**
-2	Falta de permeabilidad	Sectores urbanos con rutas limitadas por ferrocarriles u otras barreras
-1	Limitada permeabilidad	Grandes bloques, amanzanamientos o predios con conjuntos edilicios sin rutas pasantes
0	Normal	Manzanas o bloques urbanos típicos, sin galerías, pasajes u otras rutas pasantes
1	Permeable	Manzanas de tamaño reducido o manzanas con galería o pasaje pasante
2	Muy permeable	Bloque de manzana que permite varias rutas o plazas con perímetro abierto

Fuente: (Schiller, n.d.:6)

Como resumen, la tabla 14 muestra una matriz de interrelación entre 21 indicadores del medio físico construido, medioambientales y de localización que se han recogido a partir del desarrollo del texto de este capítulo para determinar, primeramente, si un indicador tiene influencia en la generación o modificación de otro, aplicando un valor de 1 si es que la hay o de 0 si no la hay, o bien, es su propio indicador.

Por ejemplo; en la variable de edificaciones, en el eje vertical se tiene a la densidad edificatoria, que en horizontal se tiene nuevamente y que por ser el mismo indicador obtiene un valor de 0; el segundo indicador en horizontal es el sombreamiento generado por edificaciones, por tanto, la densidad influye en la generación de este indicador y como resultado tiene un valor de 1. Sin embargo, nuevamente en sentido vertical, el sombreamiento no influye en la densidad edificatoria (en horizontal) y por tanto obtiene un valor de 0.

Así pues, esto se realiza para cada uno de los indicadores evaluados en la matriz de interrelación, para finalmente realizar una sumatoria de las puntuaciones obtenidas por cada uno de ellos. En este caso, La altitud y la topografía que son variables de la situación geográfica de cada lugar analizado, son los indicadores que obtuvieron la puntuación más alta de 13, ya que estos tienen una mayor influencia en los demás indicadores.

En segundo término, se obtuvo que la Latitud, la Longitud y por ende la Radiación solar, fueron los indicadores que mayor calificación obtuvieron con 12 puntos. En tercer lugar, se encuentra la vegetación tanto en espacios abiertos como en vialidades y los cuerpos de agua con 10 puntos.

Con respecto al indicador de la radiación solar, este se refiere a si puede ser modificada dentro del entorno urbano bajo uno u otro indicador; por ejemplo, esta puede ser modificada a partir de la densidad urbana o la cantidad de vegetación, la superficie vial, etc.

Tabla 14. Matriz de interrelación de indicadores climáticos y del medio físico construido

Variables			Edificaciones		Vialidades					Espacios abiertos					Situación geográfica				Climáticos				
					Material			Vegetación					Vegetación										
Variables	Indicadores		Densidad edificatoria (intensidad de	Sombreamiento	superficie/tipo	Albedo	Temperatura superficial	Superficie	Sombreamiento	superficie construida	Cuerpos de agua	Temperatura superficial	Superficie	Sombreaiento	Latitud	Longitud	Altitud	Topografia	Radiación solar	Temperatura del aire	Humedad relativa	Viento	Precipitación Pluvial
Edificaciones	Densidad edificatoria (intensidad de uso/verticalidad)		0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
	Sombreamiento		1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0
Vialidades	Material	Superficie/tipo	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
		Albedo	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
		Temperatura superficial*	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Vegetación	Superficie	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		Sombreamiento	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0
Espacios abiertos	superficie construida		1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Cuerpos de agua		0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
	Temperatura superficial		0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	Vegetación	Superficie	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
		Sombreamiento	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
Situación geográfica	Latitud		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Longitud		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Altitud		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Topografía		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
Climáticos	Radiación solar		0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	Temperatura del aire		1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
	Humedad Relativa		0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1
	Viento		1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
	Precipitación pluvial		1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0
TOTAL			**8**	**6**	**7**	**12**	**7**	**10**	**4**	**10**	**6**	**3**	**10**	**4**	**12**	**12**	**13**	**13**	**17**	**5**	**6**	**4**	**5**

2.6. El proceso de planeación con base en el urbanismo bioclimático.

En principio, se considera que el proceso de planificación de las ciudades modernas se rige principalmente por fuerzas económicas que responden a un mercado de demanda de vivienda, espacio comercial, recreativo, etc., en donde la mayoría de las veces los temas climáticos quedan rezagados debido a, por un lado, que los estudios de la climatología urbana están enfocados a cumplir propósitos pedagógicos y a veces con una falta de visión en la planificación aplicada. Por otro lado, que los climatólogos beberían estar en coordinación con los diseñadores y planificadores urbanos de manera que puedan participar en el proceso de toma de decisiones en este tema (Erell, 2008:101).

2.6.1. El Libro Blanco de la sostenibilidad en el planeamiento urbanístico español

En este sentido, el Libro Blanco de la sostenibilidad en el planeamiento urbanístico español (2010), plantea una serie de criterios de sostenibilidad que se deben de tomar en cuenta en los procesos de planificación de las ciudades (ver figura 27).

- **El primer criterio** habla de la importancia de preservar los ecosistemas existentes, la integración en el territorio, la conectividad de las diversas zonas protegidas, respetar el paisaje, conservar el suelo reduciendo el consumo y preservar su productividad, favoreciendo también la producción local.

- **El segundo criterio** plantea la actuación en el ámbito urbano impulsando a definir una estructura y modelo más sostenible, a partir de la complejidad de los usos de suelo, el ***fomento a la compacidad urbana (densidad, edificabilidad, etc)*** y el policentrismo. Asimismo, habla de fomentar un uso más sostenible del patrimonio edificado, a partir del uso intensivo y eficiente del patrimonio construido; la rehabilitación por encima a la nueva obra; ***el fomento a adoptar criterios bioclimáticos para la urbanización y la edificación***; la diversidad de tipos residenciales; y complejizar los usos de los edificios.

  Además, los criterios para favorecer el acceso a la naturaleza (zonas verdes), se enfocan en definir una superficie mínima de estas por persona, vivienda, etc.; fomentar la biodiversidad; introducir redes verdes a escala de barrio y de ciudad; favorecer el acceso de los ciudadanos a estas; incorporar elementos vegetales en los espacios públicos y conectar ecológicamente las distintas zonas verdes.

  Finalmente, el mejoramiento de la accesibilidad a los equipamientos, definiendo una oferta adecuada de estos y de los servicios públicos; fomentar la proximidad a los equipamientos y dotaciones.

- **El tercer criterio** se enfoca en la actuación en temas de transporte, tales como la reducción de distancias a partir de la asociación de la residencia y los lugares de empleo; el establecimiento de plataformas logísticas de distribución en cada barrio; la reserva de espacios para la comercialización de productos locales; y reducir las infraestructuras necesarias para el funcionamiento de la ciudad.

  En cuanto a potenciar los medios de transporte no motorizados, propone, integrar las redes peatonales y ciclistas con las zonas verdes; aumentar el espacio disponible para el peatón; construir redes peatonales y ciclistas de barrio; disponer aparcamientos para bicicletas e integrarlas como parte del transporte público.

  El reducir el tráfico motorizado privado, potenciando el transporte público a partir de establecer una oferta adecuada de transporte público a escala urbana; construir redes integradas del mismo; reducir

velocidad del tráfico motorizado privado; reducir la superficie destinada a este tipo y por tanto restringir su uso; y finalmente limitar las plazas de aparcamiento para vehículos privados.

- **El cuarto criterio** se enfoca en la actuación en cuanto a los recursos como, la optimización y reducción del consumo de energía. Esto a partir de fomentar el ahorro y promover la eficiencia energética***; adaptar la morfología urbana a las condiciones bioclimáticas; aprovechar el sol y el viento en las viviendas y los espacios exteriores***; tener estructuras urbanas compatibles con sistemas centralizados de calefacción; fomentar el uso de energías renovables; fomentar la producción local de energía.

  Otro de los puntos es la optimización y reducción del consumo de agua bajo el enfoque de reducir las pérdidas en las redes de distribución; fomentar tipos edificatorios con menores demandas de agua; fomentar los sistemas eficientes de riego; incentivar la recogida de aguas pluviales en los edificios; Utilizar sistemas de retención y filtración de aguas pluviales; tratar y recuperar los cauces naturales de agua; fomentar el empleo de pavimentos permeables.

  Parte de este criterio también habla de minimizar el impacto de los materiales de construcción a partir de reducir los movimientos de tierras; fomentar el empleo de materiales locales; emplear técnicas constructivas que faciliten la reutilización; fomentar el empleo de materiales fácilmente reciclables; y fomentar el uso compartido de redes de servicios.

- **El quinto criterio** plantea una serie de propuestas en torno a la actuación en cuanto a residuos se refiere. Esto a partir de reducirlos mediante a, el fomento a la recogida selectiva y las redes participativas de saneamiento; la proximidad del usuario a los sistemas de recogida; la promoción de reservas para compostaje y tratamiento de residuos vegetales; además, el utilizar sistemas de aprovechamiento de aguas grises; y fomentar el reciclaje y la reutilización.

  Está también el gestionar los residuos para reducir su impacto, a partir de obligar al tratamiento de residuos peligrosos; la gestión de residuos generados por la construcción y demolición; construir sistemas de depuración no agresivo con el entorno; y finalmente, reducir las emisiones y los vertidos contaminantes.

- **El sexto criterio** se enfoca en la actuación en temas de cohesión social. Primeramente, favoreciendo la cohesión del tejido social y el impedimento de la exclusión a partir de fomentar el asociacionismo; reservar espacios para entidades sin ánimo de lucro; fomentar la complejidad social; fomentar la identificación de la población con su entorno (patrimonio cultural); y favorecer el acceso a la vivienda.

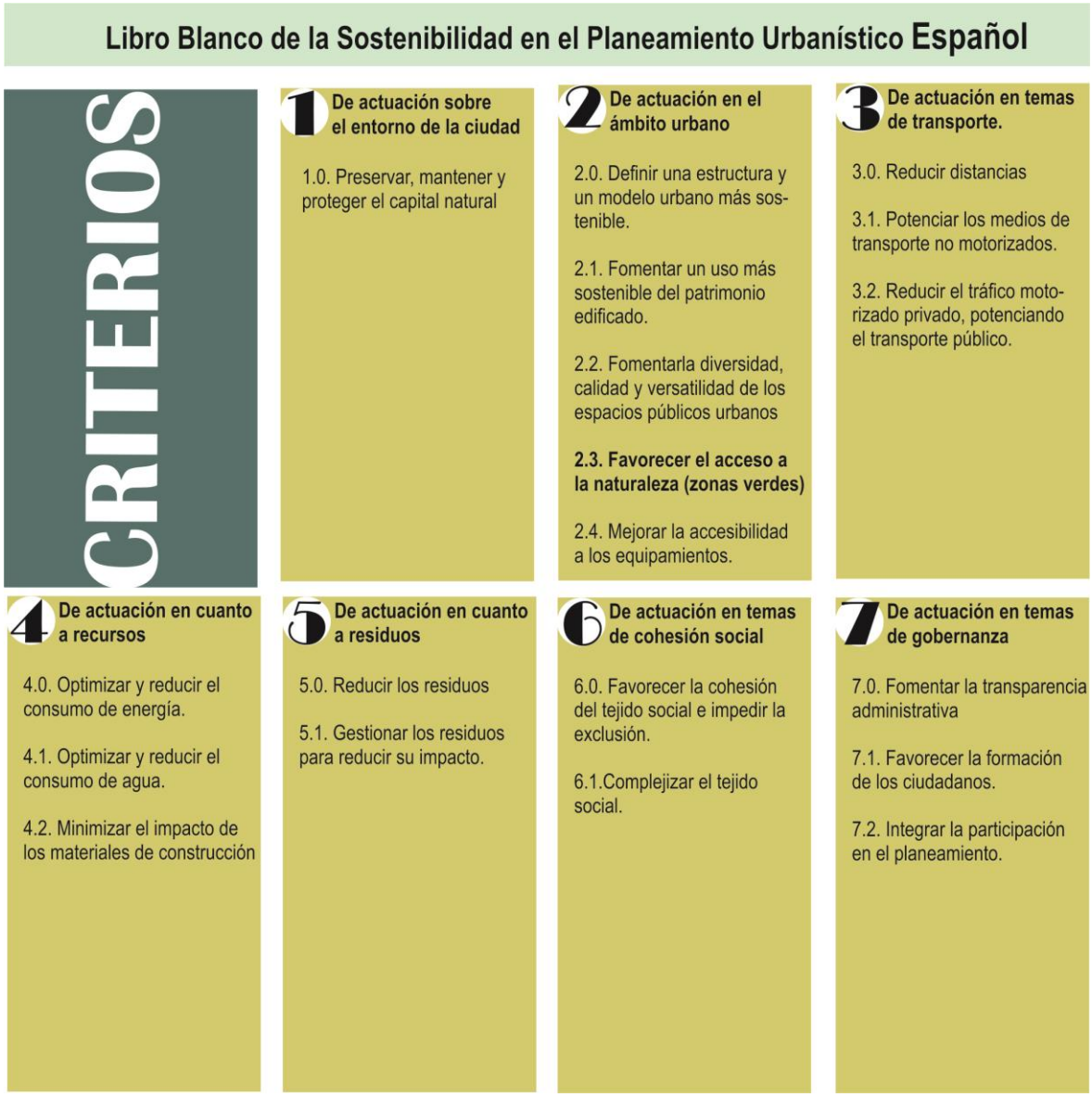
  Asimismo, busca complejizar el tejido social bajo el fomento de la mezcla de usos en cada barrio; mejorar la oferta y el acceso de servicios y equipamientos en cada barrio; incentivar el intercambio económico con el mundo rural; promover un porcentaje mínimo de actividades de proximidad; y finamente incentivar las actividades que favorezcan la diversidad de usos.

- El sétimo y último grupo de criterios son de actuación en temas de gobernanza. Estos se enfocan en fomentar la transparencia administrativa a partir de ofrecer acceso a la información; ofrecer cauces para el flujo de información en ambos sentidos; y establecer procedimientos de cooperación entre administraciones.

Además, favorecer la formación de ciudadanos elaborando materiales divulgativos específicos; desarrollando cursos y talleres y debates de urbanismo; fomentando la educación y la sensibilización ambiental; y apoyando en la elaboración de Agendas 21.

Finalmente, integrar la participación en el planeamiento en el proceso de diagnóstico; en la toma de decisiones estratégicas; en la redacción del plan; la aprobación del plan; en el proceso de seguimiento y supervisión del plan; y por último, en la integración de las agendas 21 en el planeamiento.

Figura 27. Listado de Criterios de sostenibilidad del Libro Blanco de la Sostenibilidad en el Planeamiento Urbanístico Español.



Fuente: elaboración propia con base en Ministerio de Vivienda, 2010: 35-37 .

Como se pudo ver anteriormente, principalmente en el segundo y cuarto criterio, el diseño bioclimático de los espacios urbanos exteriores es de suma importancia para hacer ciudades más eficientes, no únicamente por una cuestión ambiental, sino también porque se dice que el ser humano responde de mejor manera a elementos construidos de acuerdo al medio ambiente en el que están situados.

2.6.2. Principios de integración de las estrategias climáticas en los procesos de planificación urbana.

Así pues, el diseño y la evaluación bioclimática de la ciudad, deberían ir finalmente acompañados de unos principios de integración de las estrategias climáticas en los procesos de planificación urbana, que permitan llevar a la práctica todo aquello que se ha desarrollado en diversos estudios. No obstante, el proceso de planificación también dependerá de la escala urbana que se quiere intervenir.

En este sentido, cabe destacar que el problema no es generar un plan urbano idealizado, derivado de una serie de consideraciones climáticas, sino más bien producir un trabajo que es económicamente viable y acepta que el planificador debe considerar otros factores, tales como los requerimientos de los sistemas de transporte. Ya que es precisamente aquí donde radica el problema en la cual la preocupación de las características climáticas locales, no son prioridad (Evyatar Erell, Pearlmutter, & Williamson, 2011a).

Por tanto, Erell (Evyatar Erell, 2008: 99-101; Evyatar Erell et al., 2011a: 2-4) plantea seis principios para la integración de los aspectos climáticos en el proceso de planificación que pueden ser aplicados a variadas escalas de intervención:

a) **Definir claramente los objetivos:** esto se refiere a que la integración del clima en el proceso de planificación no debe ser vista como algo remanente, algo que debe hacerse al final del proceso. Por tanto, desde un principio deben establecerse los objetivos de manera clara y bien definida.

b) **Beneficios inequívocos:** dejar claro que los beneficios que se obtendrán por incluir los aspectos climáticos en la planificación urbana, serán sustanciosos. Se deben vislumbrar escenarios complejos utilizando, en caso de ser necesario, herramientas predictivas. Los trabajos climáticos que carecen de estudios cuantitativos, se les suele restar importancia por aquellos que toman las decisiones en los procesos de planificación.

c) **Integración:** el diseño bioclimático debe ser parte integral de todo el proceso, por lo tanto, es importante que se lleve a cabo lo antes posible, antes de que pudieran surgir cambios desinformados. Como comenta el autor, las estrategias climáticas apropiadas, rara vez se pueden aplicar retroactivamente para corregir errores cometidos en las etapas iniciales del diseño. En este sentido, aplicar las estrategias climáticas para mejorar o corregir un entorno urbano que ya ha sido desarrollado, es inclusive más complicado y en su defecto, con menor rango de intervención. Por tanto, el punto a y b deben de ser desarrollados aun con más detalle.

d) **Complejidad:** Para aplicar de manera eficaz la climatología en el proceso de planificación urbana, es necesario adoptar un enfoque integral que equilibre diversas consideraciones del entorno urbano, tales como la comodidad peatonal, la eficiencia energética, etc.

e) **Subsidiariedad:** Si bien las soluciones que se aplican al principio del proceso de planificación son más rentables, que aquellas que se realizan de manera posterior. Por tanto, lo ideal es establecer los beneficios de un enfoque en particular, sin recurrir a la imposición de una política única para lograr el objetivo deseado.

f) **Sostenibilidad:** Normalmente el éxito de un proyecto es medido por el retorno económico que genera a corto plazo, por lo que en el caso de la climatología urbana como, se explicaba anteriormente, por

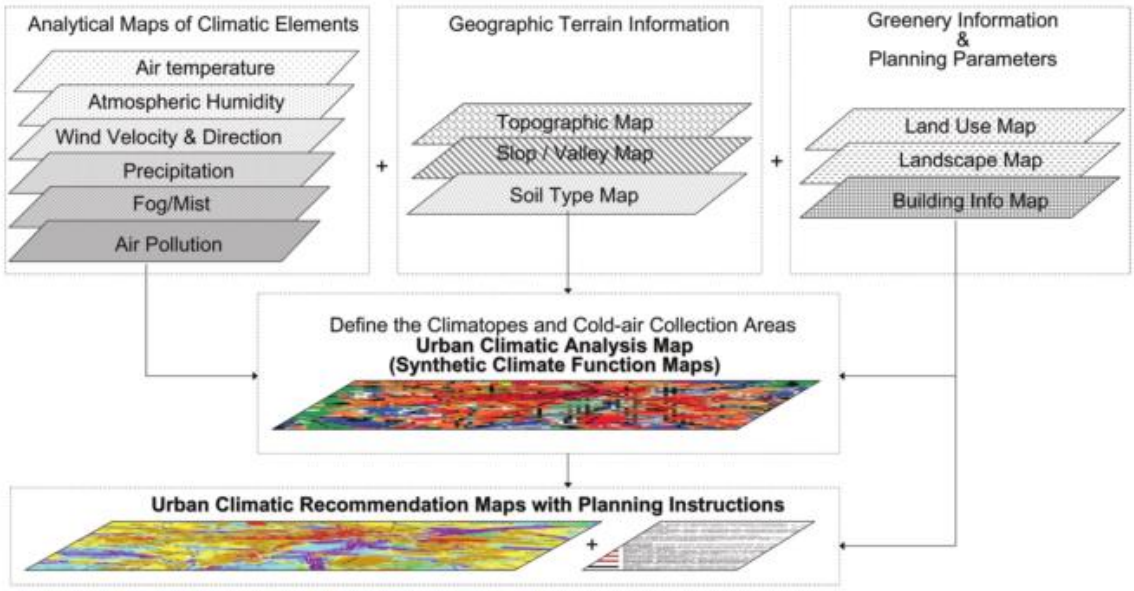
cuestiones de practicidad y rentabilidad, deben de realizarse en el corto plazo. Sin embargo, cualquier evaluación o proyecto de la sostenibilidad a largo plazo, también debe tener en cuenta los aspectos sociales y los efectos ambientales, y en donde la contribución de los climatólogos puede ser muy valiosa.

Además, otros de los aspectos que se deben contemplar en el proceso de planificación con criterios bioclimáticos, son los normativos y legislativos, que en algunos casos pueden llegar a contraponerse con los requerimientos del entorno urbano local. Por lo que, en este caso, habría que sugerir estrategias o proyectos que no contravenga la normatividad, o por bien, justificar y proponer las reformas pertinentes a las mismas.

2.6.3. Mapas climáticos urbanos

Los mapas climáticos urbanos (UCMap) son una herramienta de información y evaluación que integra los factores climáticos urbanos y las consideraciones de planificación de las ciudades, presentando el fenómeno climático y las diferentes problemáticas en un mapa. Este tiene dos componentes principales: el mapa urbano de análisis climático (UC-AnMap) y el mapa urbano de recomendaciones de planificación climática (UC-Re-Map). Así pues, la estructura del UCMap consiste en una serie de capas de entrada básicas y dos componentes principales: el UC-AnMap y el UC-Re-Map (Ren, Ng, & Katzschner, 2011) (ver figura 28).

Figura 28. Estructura del mapa climático urbano (UCMap)



Fuente: (Ren, Ng, & Katzschner, 2011: 2216).

El mapa urbano de análisis climático plantea una plataforma para la información climática y su evaluación. En este se resume y evalúa la base del entendimiento científico de los parámetros climáticos y del suelo, resumidos en tres aspectos: el aspecto de la ventilación, el aspecto térmico y el aspecto de la contaminación del aire.

Por otro lado, el mapa urbano de recomendaciones climáticas e instrucciones de planeamiento, es una herramienta de planificación-acción-orientada a la evaluación que puede aplicarse a la escala de distrito o de

ciudad. Esta a su vez, sirve para identificar problemáticas y áreas climáticamente sensibles que tienen la necesidad de atención estratégica y futuro desarrollo.

Por tanto, esta también puede ser una herramienta que apoye en el proceso de evaluación de las ciudades desde el punto de vista de la sostenibilidad urbana de las ciudades, en relación con su clima y el medio físico construido.

CAPÍTULO III

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD URBANA A PARTIR DE LAS CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS Y DEL MEDIO FÍSICO CONSTRUIDO

Este capítulo presenta el desarrollo de la propuesta metodológica para llevar a cabo la evaluación de la sostenibilidad urbana a partir de las características climáticas y del medio físico construido de cualquier ciudad a la que se deseé aplicar. Esta se conforma de seis fases, en las cuales se plantean una serie de aspectos a desarrollar para establecer el perfil principalmente ambiental, físico- urbano y climático de la ciudad evaluada.

Introducción

La planificación, investigación, estudio o diseño del medio físico construido generado a partir del conocimiento y control de las condiciones ambientales que inciden en el microclima, permiten tener un mayor aprovechamiento y disfrute de los espacios urbanos.

La radiación, el viento, la humedad, la vegetación, la orografía, etc., adquieren características propias de cada lugar y por lo tanto, diferentes requerimientos de la estructura urbana que permiten la optimización de sus espacios en torno al confort térmico.

La propuesta metodológica para realizar la evaluación de la sostenibilidad urbana a partir de sus características climáticas y del MFC es un proceso de análisis de estos elementos, que tiene por objetivo principal el de optimizar el uso del espacio urbano, mediante la adecuada interrelación y proporción de los parámetros físicos y ambientales que interactúen en el área que se desee estudiar.

Así pues, dicha metodología se desarrolla en seis fases (ver figura 29), donde las primeras 4 de ellas se enfocan en establecer un diagnóstico, primeramente, de las características geográficas, demográficas y urbanas de la zona de estudio, seguido de su análisis climático y a partir de lo cual, el establecimiento de los requerimientos del entorno que debería tener la ciudad; y finalmente, realizar el diagnóstico del MFC.

A partir de esto, en la 5ª fase se ha de realizar la evaluación de la ciudad tomando en cuenta los requerimientos del entorno surgidos del análisis climático y de manera conjunta con los resultados del diagnóstico del MFC, determinando en qué medida se aproximan o no las características de la ciudad.

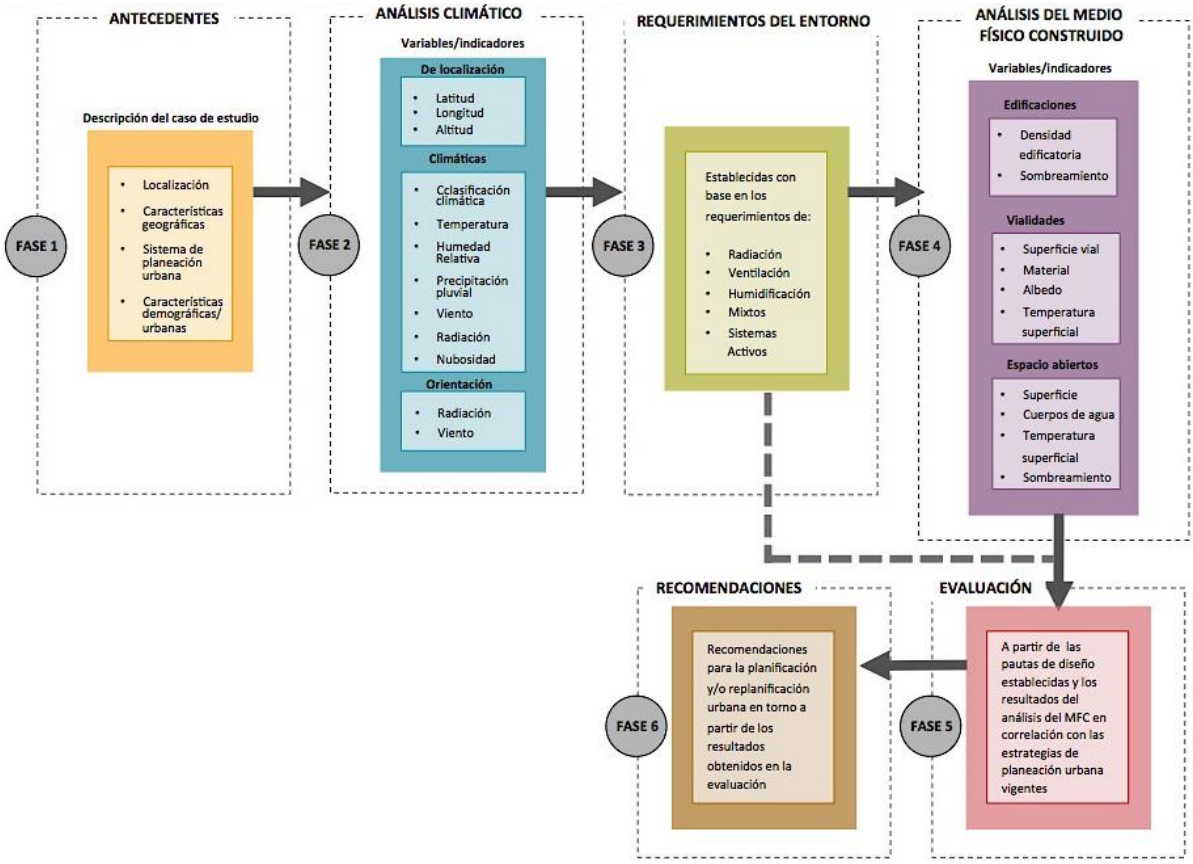
Esta etapa se realiza a partir del desarrollo de 21 indicadores; de los cuales, los primeros 8 se enfocan en el establecimiento de las características climáticas, de localización y geomorfológicas que van a permitir establecer un perfil general de la ciudad evaluada. Parte del objetivo de estos es, que una vez realizada la evaluación, permitan determinar si alguno de estos tiene una mayor influencia en la toma de decisiones al momento de establecer las recomendaciones finales de planificación; las cuales surgen a partir de las puntuaciones obtenidas de los restantes 13 indicadores.

Finalmente, en la fase 6 se propone hacer una serie de recomendaciones en torno al diseño y la planificación urbana que permitan que las características actuales del MFC se aproximen a las características que, de acuerdo al clima local, deberían tener.

Uno de los objetivos de dicha metodología es que sea capaz de aplicarse a cualquier ciudad que lo requiera y para cualquier tipo de clima, por lo que, tanto el proceso de gestión de datos y análisis de información, así como la consulta de fuentes y herramientas de procesamiento de la información, se proponen principalmente aquellas que son de libre acceso, tanto a nivel local como internacional.

Sin embargo, se ha tenido en cuenta la posibilidad de utilizar información más detallada y de mayor exactitud o resolución (en el caso de las imágenes satelitales) para realizar la evaluación, y por tanto, puede emplearse bajo el mismo proceso de gestión y procesamiento, y con las mismas herramientas que a continuación se proponen de acuerdo con cada fase.

Figura 29. Propuesta metodológica para realizar la evaluación de la sostenibilidad urbana a partir de las características climáticas y del MFC



Fuente: elaboración propia.

3.1. Fase 1: Antecedentes

La primera fase de la metodología propuesta se concentra en establecer los rasgos y características principales de la ciudad que se ha de analizar. Estas características buscan establecer a groso modo, un perfil geográfico, demográfico y urbano, además de reconocer el sistema de planeación urbana a través del cual se gestiona la ciudad.

3.1.1. Localización

La ubicación es uno de los aspectos de mayor relevancia dentro del proceso de evaluación de cualquier zona urbana, ya que esta va a permitir tener un primer acercamiento general a las características climáticas del lugar. Es decir, aspectos como la situación geográfica y la relación del emplazamiento con algún sistema orográfico o hídrico, o bien, la altura sobre el nivel del mar a la que se encuentra; su cercanía con el mar y la incidencia de las brisas marinas en el entorno urbano; etc. Todos estos aspectos dan origen a características climáticas muy particulares del lugar.

Sin embargo, las características climáticas y/o ambientales de un lugar, no son los únicos datos que se obtienen del análisis de la localización del emplazamiento. También pueden establecerse las características sociales, económicas y políticas generales que rigen en el y que resultan incidentes en la gestión y la planificación urbana.

Por tanto, como primer requisito de esta evaluación, es necesario establecer la localización y delimitación del área de estudio, realizando una descripción general del territorio que lo comprende.

3.1.2. Características geomorfológicas

De acuerdo con J. Fariña (1998), determinadas características geomorfológicas naturales de un territorio, son capaces de cambiar en cierta medida aspectos que afectan el clima urbano, tales como la radiación solar directa, la humedad ambiental, el régimen de vientos, etc.

Por lo tanto, se sugiere que, en este tipo de estudios, se lleve a cabo un análisis de los siguientes aspectos:

- ***Su proximidad a zonas de influencia climática*:** masas de agua, zonas boscosas, zonas desérticas, sistemas montañosos, etc.

- ***Sus condiciones topográficas:*** a) Pendiente: que va a influir en la cantidad de radiación directa que recibirá el asentamiento, así como la orientación de la pendiente que puede determinar la dirección de los vientos. b) Posición relativa: esta puede ser protegida o expuesta, lo que puede manifestarse en una mayor oscilación térmica, temperaturas más extremas y diferentes posibilidades de iluminación y/o ventilación. c) Obstrucciones: este elemento se refiere principalmente a accidentes topográficos próximos y orientaciones tales, que puedan representar un obstáculo para la radiación y la ventilación (ver tabla 15).

Tabla 15. Escenarios comunes de topografía de ciudades asociados e efectos meso y microclimáticos

Escenario Orográfico	Mecánico	Térmico	Calidad del aire
Cima o cresta de la montaña	Aumento de la velocidad del viento debido a la elevación; nubosidad y presipitación mejorada debido a la elevación	Bajo condiciones de cielo despejado, una mayor pérdida de irradiancia solar y radiación de onda larga. Un mayor rango de temperatura diurna y estacional.	Buenda calidad del aire cuando hay fuertes vientos, pero potencial para el sog fotoquímico en días claros y calmos.
Pendiente o terraza en pendiente	En lado de barvolento da abrigo contra la exposición de los vientos. Afectado por fuertes vientos descendentes en ciertas circunstancias	Si la orientación es hacia el sol, la superficie y el aire adyacente es cálido, causanto vientos ascendentes. En la noche las pendientes más altas se enfrían más rápidamente.	Generalmente se tiene una buena calidad de aire a menos que se encuentre en una zona de recirculación o cerca de la zona de inversión.
Cuenca o valle	Los efectos dependen de la geometría del valle en relación con el ambiente de la dirección del viento. Si es perpendicular (alineado) al eje del valle, este puede estar protegido	Vientos cruzados en el valle desarrollados durante el día, poseen flujos anabático a los lados del valle. El sistema kanabático es más fuerte en la línea superficial durante la noche.	Potencial para un calidad de aire pobre debido al agrupamiento de aire frío sobre la superficie del valle durante las noches.
Base de una pendiente	En el lado de sotavento los vientos foehn pueden ocurrir dependiendo de la topografía local. En lado de barvolento, el flujo debe ser bloqueado contra barrera.	Durante el día se tienen flujos anabáticos y katabáticos.	En el lado de barvolento el aire frío debe ser bloqueado: en lado de sotavento algunas condiciones pueden crear remolinos y baja calidad del aire.
Costero	En tierra, los vientos generados por tormentas son mucho más fuertes que aquellos fuera de tierra bajo las mismas condiciones.	Bajo condiciones de calma y claridad, la circulación de la briza costera establece que trae aire en tierra durante el día.	Durante el día la contaminación del aire se posibilita cuando las condiciones de la briza marina domina y causa una fuerte inversión cerca de la superficie

Fuente: (Oke, Mills, Christen, & Voogt, 2017:343).

- ***La presencia de agua,*** ya que esta va a modificar la cantidad de humedad del aire y por consecuencia, la cantidad de calor, permitiendo modificar las oscilaciones térmicas extremas.

Así pues, el objetivo de este apartado es el recabar la información y hacer una descripción y análisis de las características geomorfológicas que contiene y circundan la zona de estudio. Como fuentes de información se puede consultar cartografía oficial, atlas de riesgos, imágenes satelitales, estudios medioambientales, etc. Esto dependerá de la disposición de la información de cada lugar.

3.1.3. Sistema de planeación urbana

Identificar el sistema de planeación urbana que rige la zona de estudio va a permitir establecer las bases del proceso de evaluación de la misma, ya que esto dará pie a identificar las líneas de actuación prioritarias del gobierno local, las normatividades y legislaciones vigentes, las zonas de futuro crecimiento, las zonas de riesgo, etc.

Asimismo, el sistema de planeación puede variar dependiendo del país, región o localidad que se esté analizando, por tanto, es importante hacer todas las especificaciones necesarias que requiera el caso de estudio.

3.1.4. Características Demográficas/urbanas

A partir de información vigente y oficial[17] se mostrará la distribución de la población, zonificación y dinámica de crecimiento en correlación con el entorno urbano.

Será importante determinar los diferentes procesos de crecimiento urbano de la zona de interés, asociados al crecimiento demográfico, así como también a eventos sociales, naturales y/o económicos que hayan tenido o tengan, importantes implicaciones en el mismo. Esto con el fin de determinar posibles implicaciones de los factores sociales y demográficos en la generación del espacio urbano y su interrelación con el medio ambiente.

3.2. Fase 2: Análisis climático

El medio natural que envuelve la zona a evaluar, contiene rasgos climáticos particulares que van a impactar directamente y de manera muy específica en los seres vivos que la habitan. Por tanto, es de suma importancia realizar un análisis del clima local que permita conocer sus características principales, ya que posteriormente, esto va a permitir establecer las bases de la configuración física que deberá tener el MFC de la zona de estudio.

Esta segunda fase de la metodología va a permitir establecer de manera mucho más detallada el perfil medio ambiental y climático de la zona de estudio, a partir del análisis de los parámetros ambientales que abarcan las variables de localización y las variables climáticas, cada una con sus propios indicadores que a continuación se describen.

3.2.1. Variables de localización

Con estas se tiene por objetivo determinar la localización geográfica precisa del área de estudio. Además de saber la ubicación, estos datos nos permitirán prever algunas de las características climáticas del emplazamiento, tales como la cantidad de radiación que recibe, la duración del día y la noche, la temperatura promedio, etc.

A continuación, se muestra una serie de fichas técnicas (ver tablas 16, 17 y 18) que describen las características principales del indicador, el objetivo que pretende cumplir dentro de la metodología, el parámetro de cálculo (en caso de que tenga), su unidad, la propuesta de fuente de información de la cual se pueden obtener los datos requeridos y finalmente la herramienta de gestión y procesamiento de la información.

Tabla 16. Descripción del indicador de Latitud.

Dimensión:	**Parámetros ambientales**	**Variable:**	**De localización**
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Latitud	Distancia angular que existe entre un punto de la superficie terrestre hasta el paralelo del ecuador. A través de esta es posible reconocer la duración del día y la noche; las diferencias del invierno y el verano; variaciones de temperatura; la cantidad de radiación	-	º ´ "

[17] Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para el caso mexicano.

	solar y su trayectoria sobre la superficie terrestre (J. Ochoa, 2009:53-54)
	Objetivo
	Establecer la localización de la zona de estudio con respecto al ecuador. Al norte o sur
	Fuente de datos
	cartografía, consulta web
	Herramientas
	-

Fuente: elaboración propia

Tabla 17. Descripción del indicador de Longitud.

Dimensión:	Parámetros ambientales	Variable:	De localización
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Longitud	Es la distancia que existe en la superficie terrestre en relación con el Meridiano de Greenwich	-	° ′ "
	Objetivo		
	Establecer la localización de la zona de estudio con respecto al meridiano de Greenwich. Al este u oeste		
	Fuente de datos		
	cartografía, consulta web		
	Herramientas		
	-		

Fuente: elaboración propia

Tabla 18. Descripción del indicador de Altitud.

Dimensión:	Parámetros ambientales	Variable:	De localización
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Altitud	Distancia vertical de un punto de la tierra con respecto al nivel del mar. Normalmente este indicador suele mostrar si se tiene un clima más bien frío o cálido. Sin embargo, esto puede ser alterado por otros factores geomorfológicos que, por su proximidad, pueden alterar estas sensaciones térmicas. Además también condiciona el tipo de vegetación; la intensidad de la radiación solar; el régimen local de vientos y la pluviosidad (Higueras, 2014:77)	-	msnm
	Objetivo		
	Establecer la localización de la zona de estudio con respecto al nivel del mar y las repercusiones que esta tiene en el ámbito de estudio.		
	Fuente de datos		
	Bibliografía, cartografía, mapas topográficos, consulta web		
	Herramientas		
	-		

Fuente: elaboración propia

3.2.2.1. Caracterización climática

Como se mencionaba anteriormente, identificar la localización del área de interés, permite previsualizar una serie de características climáticas de la zona de estudio. La clasificación climática de Köppen fue desarrollada sobre una relación empírica entre el clima y la vegetación existente, la cual, a partir del uso de la temperatura y precipitación mensual, definió los límites de los diferentes climas en todo el mundo (Chen & Chen, 2013:71).

Sin embargo, Víctor Olgyay (V. Olgyay, 1998), estableció cuatro grandes regiones climáticas (fría, templada, cálido-seco y cálido-húmedo) para el estudio de las características que deberían tener las edificaciones y los espacios urbanos conforme a estas. En general, y sin llegar a la especificidad, esta categorización engloba los grupos climáticos anteriormente descritos.

Por tanto, debido a que la clasificación propuesta por Olgyay, incluye una descripción del entorno urbano que debería corresponder a cada una de estas regiones, esta metodología desarrollará su evaluación en torno a esta propuesta climática.

Así pues, ya que se haya establecido la localización exacta del área de estudio, se procederá a identificar el grupo climático al que pertenece de acuerdo a la clasificación climática anterior. Esto con el propósito de prever las características medio ambientales y climáticas que tiene la región que la contiene.

Variables climáticas

El clima de un lugar es definido por fuerzas externas (la radiación solar) y dinámicas internas del sistema climático, tales como circulaciones atmosféricas y oceánicas, las interacciones tierra-superficie, etc. Sin embargo, para la vegetación y los ecosistemas de una región, el clima puede considerarse a partir de una serie de patrones en la temperatura, precipitación, humedad, viento y radiación (Chen & Chen, 2013:70).

Por tanto, para poder llevar a cabo el análisis climático de la zona de interés, este se ha de basar en el estudio de una serie de indicadores resultantes de tres elementos base:

- Radiación solar: Radiación solar directa, radiación solar difusa, radiación solar global horizontal, temperatura del aire.
- Agua: Humedad relativa, precipitación pluvial, nubosidad
- Viento: Velocidad y dirección del viento.

Tabla 19. Descripción del indicador de radiación solar.

Dimensión:	**Parámetros ambientales**	**Variable: Climáticas**	
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Radiación solar	Es el flujo de energía recibida del Sol hacia la superficie terrestre en forma de ondas electromagnéticas. Es el elemento más importante en el desarrollo de cualquier tipo de sistema vivo en la tierra y por tanto, su estudio es de vital importancia. La radiación va a tener efectos directos en el comportamiento térmico de cualquier espacio, así como influencia directa en otros factores como la		Wh/m2

	evapotranspiración, la iluminación, el tipo de vegetación, las masas de aire, etc.
	Objetivo
	Establecer la cantidad de radiación solar global horizontal, directa y difusa que recibe la zona de estudio durante el año. Se deben realizar análisis comparativos de este indicador con los indicadores de temperatura y nubosidad.
	Fuente de datos
	Normales climatológicas, Meteonorm, Aeropuerto, estaciones meteorológicas, etc
	Herramientas
	EXCEL

Tabla 20. Descripción del indicador de temperatura.

Dimensión:	Parámetros ambientales	Variable: Climáticas	
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Temperatura	Magnitud relacionada con las propiedades físicas invariables de un lugar, tales como la radiación solar, la latitud y el gradiente término[18]	Dato	ºC
	Objetivo		
	Establecer la temperatura máxima y mínima promedio mensual, la temperatura horario promedio mensual, así como realizar un análisis en contraste con los datos de radiación solar, humedad relativa, nubosidad, etc. Y todas aquellos análisis que resulten pertinentes para determinar las implicaciones que este indicador tiene en el clima local.		
	Fuente de datos		
	Normales climatológicas, Meteonorm, Aeropuerto, estaciones meteorológicas, etc		
	Herramientas		
	EXCEL		

Fuente: elaboración propia

Tabla 21. Descripción del indicador de humedad relativa.

Dimensión:	Parámetros ambientales	Variable: Climáticas	
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Humedad relativa	Magnitud que permite establecer la cantidad de vapor de agua en el aire[19]. La presencia de este indicador va a afectar directamente la oscilación térmica de un lugar, la vegetación, la sensación térmica, etc.	Dato	%
	Objetivo		
	Establecer el porcentaje de humedad relativa promedio anual y horario promedio mensual que contiene la zona de estudio. Asimismo se deberá realizar un análisis de manera conjunta con los indicadores de temperatura, nubosidad y precipitación.		
	Fuente de datos		

[18] Ministerio de educación, cultura y deporte, Manual de seguimiento y análisis de condiciones ambientales (2004:62).
[19] Ministerio de educación, cultura y deporte, Manual de seguimiento y análisis de condiciones ambientales (2004:62).

	Normales climatológicas, Meteonorm, Aeropuerto, estaciones meteorológicas, etc
	Herramientas
	EXCEL

Fuente: elaboración propia

Tabla 22. Descripción del indicador de viento.

Dimensión:	Parámetros ambientales	Variable: Climáticas	
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Viento	Son masas de aire que se forman para compensar la diferencia de presión en determinada zona. Los vientos en estado estacionario en la capa límite planetaria se rigen por un equilibrio entre la fuerza del gradiente de presión horizontal, la tensión de fricción y la fuerza virtual asociada con la aceleración de coriolis. Los vientos que atraviesan las áreas urbanas encuentran cambios en las características de la superficie, y la atmósfera, que necesita una nueva fuerza de equilibrio, se compara con las áreas rurales (T. Oke, 1976)		m/s
	Objetivo		
	Identificar las características generales de velocidad y dirección del viento que se manifiestan en la ciudad durante todo el año. Ya que dependiendo del clima que se tenga en la ciudad evaluada, los requerimientos del entorno urbano van a necesitar que la configuración del espacio o la orientación de los mismos provoquen su incremento o bloqueo, según se pueda llegar a la zona de confort térmico.		
	Fuente de datos		
	Normales climatológicas, Meteonorm, Aeropuerto, estaciones meteorológicas, etc		
	Herramientas		
	EXCEL		

Fuente: elaboración propia

Tabla 23. Descripción del indicador de nubosidad.

Dimensión:	Parámetros ambientales	Variable: Climáticas	
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Nubosidad	Se refiere a la condensación del vapor de agua y que posteriormente pueden producir precipitaciones. La importancia de la nubosidad en el análisis climático radica en las implicaciones que esta tiene en el paso de la radiación solar y el obstáculo que puede representar en la concentración de radiación de onda larga. Además de estar relacionada con la cantidad de agua en el aire (humedad) y por tanto con la oscilación térmica del ambiente.	Dato	Wh/m2
	Objetivo		
	Determinar la cantidad de días nublados promedio mensual, así como su relación con el indicador de radiación, humedad relativa, precipitación y temperatura		
	Fuente de datos		
	Normales climatológicas, Meteonorm, Aeropuerto, estaciones meteorológicas, etc		

	Herramientas
	EXCEL

Fuente: elaboración propia

Tabla 24. Descripción del indicador de precipitación pluvial.

Dimensión:	**Parámetros ambientales**	**Variable:**	**Climáticas**
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Precipitación pluvial	Parte del ciclo hidrológico y se refiere a la cantidad de agua de lluvia que cae en la superficie.	Dato	mm
	Objetivo		
	Establecer los milímetros de agua de lluvia promedio mensual que cae en la zona de estudio, además de la relación que puede tener con otros indicadores como la temperatura del aire y humedad relativa.		
	Fuente de datos		
	Normales climatológicas, Meteonorm, Aeropuerto, estaciones meteorológicas, etc		
	Herramientas		
	EXCEL		

Fuente: elaboración propia

3.3. Fase 3: Requerimientos del entorno

Los requerimientos del entorno son una serie de características del medio físico construido necesarias para que los usuarios del espacio urbano, logren durante un mayor lapso de tiempo, un estado de confort térmico[20]. De acuerdo con J. Ochoa (2012:112-114), para poder evaluar la sensación del confort térmico que tiene una persona en un lugar en específico, se requiere conocer los parámetros y factores en dicho proceso.

Los parámetros se refieren a los aspectos físicos del lugar, tanto ambientales como las características térmicas y físicas de los materiales. Mientras que los factores están relacionados con la percepción personal de cada persona de acuerdo a sus características físicas y fisiológicas, además de los factores arquitectónicos que se refieren a la configuración espacial del sitio (ver tabla 25).

Tabla 25. Factores y parámetros que intervienen en la sensación de confort térmico

Parámetros de confort		Factores de confort		
Ambientales	**Materiales**	**Fisiológicos**	**Cognitivos**	**Arquitectónicos**
Temperatura del aire	Reflectividad	Sexo	Aclimatación	Movilidad del sujeto
Humedad relativa	Absortividad	Edad	Vestimenta	Dimensiones y proporciones del espacio
Velocidad del viento	Transmisividad	Constitución corporal	Expectativas de confort	Dispositivos de control pasivos
Radiación solar	Conductividad térmica	Actividad	Conocimiento del clima	Dispositivos de control activos
Temperatura radiante	Emisividad	Estado de salud	Conocimiento del entorno	
	Capacitancia	Historial térmico		
		Tiempo de permanencia		

Fuente: J. Ochoa (2012:114).

Para obtener los requerimientos del entorno urbano, es necesario contar con las temperaturas máximas y mínimas promedio mensual, así como la humedad relativa máxima y mínima promedio mensual.

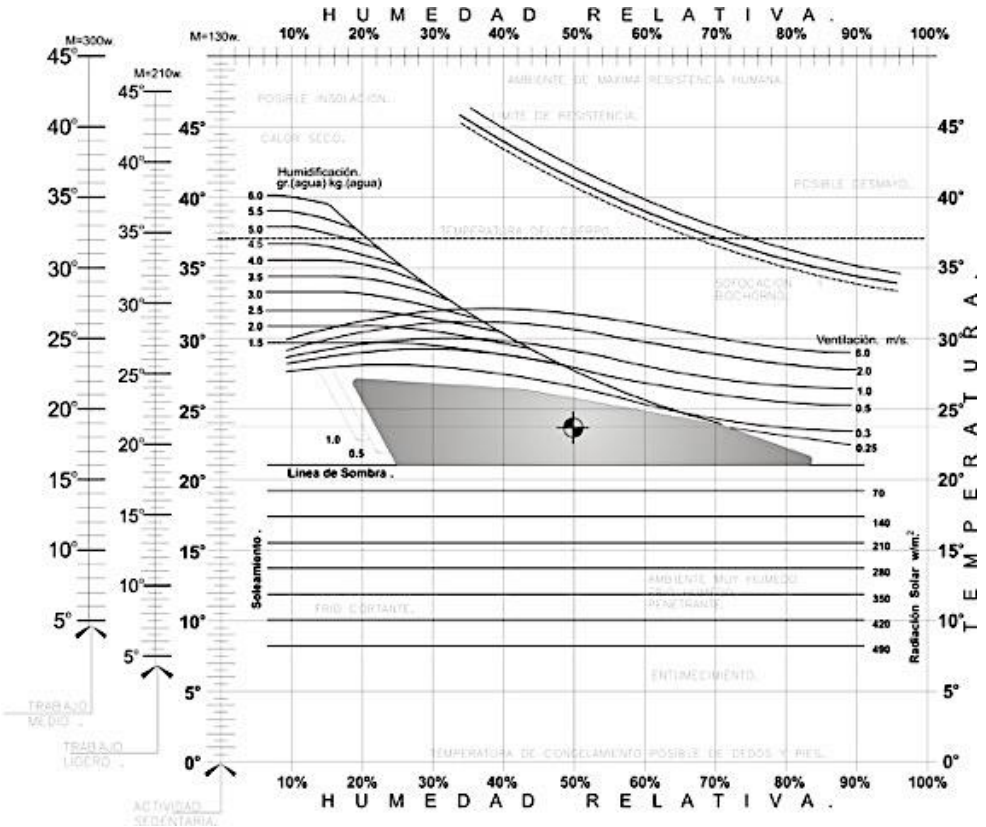
A partir de ello y haciendo uso de la carta bioclimática de Olgyay (ver figura 30), se procederá a ubicar los máximos y mínimos por cada mes del año, a partir de la tasa metabólica elegida para la actividad al exterior. En este caso, se dan como opción tres diferentes tasas metabólicas dependiendo del tipo de actividad exterior que se realice comúnmente:

- Actividad sedentaria: 130w
- Trabajo ligero: 210w
- Trabajo medio: 300w

[20] De acuerdo con las normas internacionales ISO 7730 (1994) y la ANSI/ASHRAE Standard 55 (1992), se refieren al confort térmico o sensación de bienestar térmico, como "el estado de ánimo que expresa satisfacción con el ambiente térmico" (J.Ochoa, 2012:112).

Que de acuerdo con Nogareda (2014:5), 130wm^2 puede interpretarse como una persona que camina en horizontal, en suelo llano y firme sin carga; 210 wm2 como una persona que camina cuesta arriba a 3km/h con una inclinación de 15º; 300 wm2 caminar cuesta arriba a 3km/h con una inclinación de 25º.

Figura 30. Gráfica bioclimática de Olgyay



Fuente: V. Olgyay & Olgyay (1963) y modificado por H.Coch ; R. Serra (1995).

Una vez que se ha elegido la tasa metabólica, se procederá a señalar en el gráfico las temperaturas máximas y mínimas promedio por cada mes del año, así como la humedad relativa máxima y mínima promedio. Posteriormente se pueden unir con una línea recta los máximos y mínimos de cada mes, para visualizar los requerimientos que se pueden tener durante cada uno de ellos, tales como:

1. **Radiación solar** W/m^2: Normalmente cualquier lugar es propenso a tener ciertos requerimientos de radiación solar, dependiendo del horario y el clima que se tenga. Estos pueden llegar a ser desde 49 hasta 70 W/m^2.

2. **Ventilación** m/s: Suele requerirse en lugares donde se puede llegar a tener una elevada humedad relativa y puede llegar a requerirse incentivar velocidades de viento desde 0.25 hasta 6 m/s.

3. **Humidificación** gr (agua) kg (agua): Este tipo de requerimiento suele darse en climas secos donde se necesite generar humidificación del aire desde 1.5 hasta 6 gr de agua.

4. **Zona de Confort térmico:** Este va a depender del lugar y de la tasa metabólica empleada. Aquellos puntos que se localicen en esta zona no requieren ningún tipo de estrategia bioclimática.

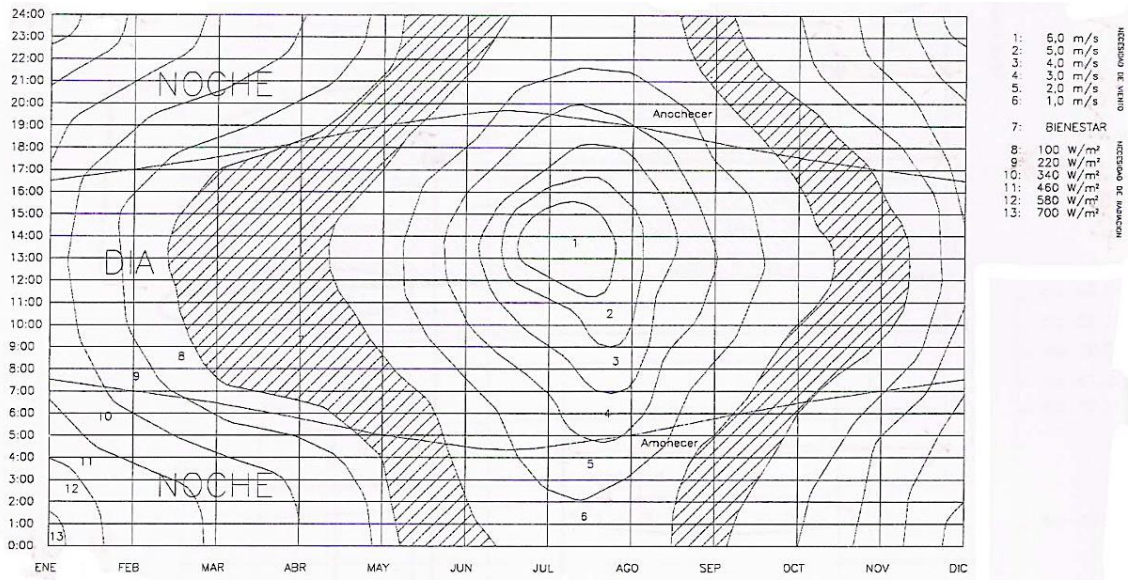
5. **Mixto** (humidificación y ventilación): este se refiere al llamado enfriamiento evaporativo, el cual pretende disminuir la temperatura del aire empleando agua y ventilación de manera simultánea.

6. **Sistemas activos:** Cuando ya no es posible llegar a la zona de confort térmico por medio de sistemas pasivos, es necesario emplear este tipo de sistemas para lograrlo. Normalmente se requieren en climas extremos.

Isopletas con base en Olgyay

Para poder hacer las isopletas, es necesario hacer todo el proceso anterior, pero con las temperaturas máximas y mínimas horario promedio mensual, así como la humedad relativa. A partir de los resultados obtenidos para cada mes, se procederá a realizar una tabla que especifique por cada hora, en cada mes, los requerimientos del entorno urbano, clasificándolo en seis (radiación, ventilación, humidificación, zona de confort térmico, mixto y sistemas activos) o bien, especificando puntualmente las necesidades exactas que marca la carta de Olgyay (ver figura 31).

Figura 31. ejemplo de isopletas con base en Gráfica bioclimática de Olgyay



Fuente: Sites.google.com, 2017.

COMFORT-EX

Como una herramienta alternativa o bien, complementaria a las anteriores, COMFORT-EX es de carácter computacional cuyo objetivo es el de ayudar a paisajistas y planificadores urbanos en el proceso del diseño microclimático de espacios exteriores, siendo esta de características sencillas de aplicar (J. Ochoa & Marincic, 2006).

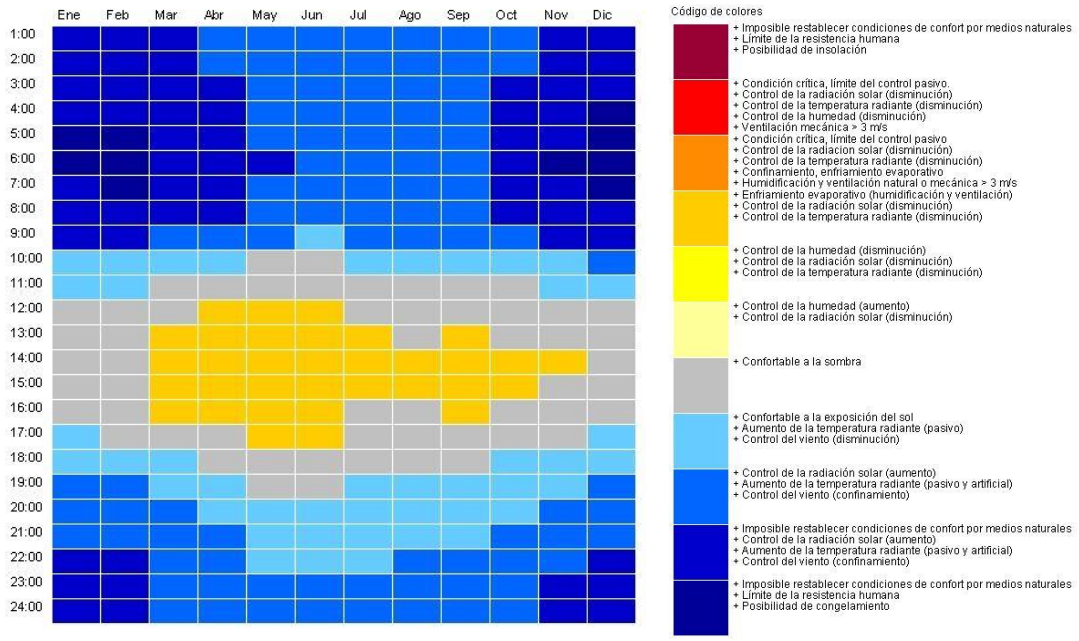
Este software consta de tres componentes los cuales corresponden a las tres etapas del proceso de diseño:

1. Diagnóstico: a partir del análisis de las necesidades bioclimáticas de cada sitio, basadas en la carta bioclimática de Olgyay. La información de entrada se puede cargar, ya sea por un archivo de clima precargado para una ciudad en específico[21], o bien, cargar los datos manualmente.
   Esta última permite cargar los datos climáticos promedio mensual u horario promedio mensual de los parámetros: temperatura del aire (ºC), humedad relativa (%), radiación global horizontal (W/m^2), y velocidad del viento (m/s).

2. Guías de diseño: dependiendo de los resultados del diagnóstico, en esta sección es posible determinar una o varias estrategias de diseño enfocadas en control de los parámetros microclimáticos, tales como el control de la radiación solar, radiación de onda larga, control del viento y el control de la temperatura del aire y la humedad relativa.

3. Evaluación: una vez aplicadas las estrategias de diseño, el software permite la evaluación de la sensación del confort térmico en el lugar determinado.

Figura 32. Ejemplo de diagnóstico con COMFORT-EX



Fuente: COMFORT-EX

Así pues, lo que el autor denomina guías de diseño, estas pueden ser tomadas en esta propuesta metodológica como los requerimientos del entorno urbano, ya que establece las diferentes pautas que debe de tener el espacio exterior para poder lograr la sensación de confort térmico en los mismos.

3.4. Fase 4: Análisis del medio físico construido

De acuerdo con (Sarkis & Adrien, (2009:4) el medio físico construido se refiere a todos los edificios y espacios para vivir que son creados o modificados por las personas; esto incluye los elementos de infraestructura, los espacios abiertos y el mobiliario urbano. Es además, donde se combinan los cuatro tipo de capitales de la sostenibilidad general de la ciudad: el artificial, el natural, el humano y social (Munda, 2001:6).

[21] Se tienen archivos de algunas ciudades mexicanas.

En este apartado se tiene por objetivo identificar y analizar los diversos elementos del MFC que conforman la ciudad que se desea evaluar y que tienen una estrecha relación en la influencia y desarrollo de las características climáticas del entorno urbano. Para tal motivo se proponen tres variables básicas:

- Densidad edificatoria
- Vialidades
- Espacios abiertos

Una vez establecido el diagnóstico del estado actual del MFC, se podrá llevar a cabo el proceso evaluación de la sostenibilidad urbana, a través de la relación entre este y el análisis climático realizado, partiendo de los requerimientos del entorno previamente establecidos.

3.4.1. Variables de análisis de edificaciones

Las tipologías de edificaciones que conforman las ciudades, son uno de los elementos más importantes a considerar dentro del análisis del MFC, ya que estos elementos son los que, a través de su disposición y volumen dentro del espacio urbano, pueden generar implicaciones en la generación de microclimas debido al nivel de exposición solar o de sombreamiento que generan, o de la canalización de vientos, o el incremento o disminución de humedad en el aire, etc.

Por tanto, en el estudio de estas variables se incluye la densidad edificatoria, así como su relación de proporción que guardan con las vialidades que estructuran la ciudad.

3.4.1.1. Densidad edificatoria

Como en muchas áreas de la planificación urbana, la densidad edificatoria es uno de los factores clave para lograr una ordenación ambientalmente adecuada y sostenible. Es una variable ligada a la morfología vertical y horizontal de la ciudad, a su estructuración vial y al uso y ocupación de su superficie.

La densidad tiene un efecto directo en la exposición de las superficies urbanas a la radiación solar, lo cual puede considerarse como un beneficio en climas cálidos, pero en detrimento en climas cálidos (Evyatar Erell, 2008a). Generalmente esta información puede obtenerse a partir de diferentes fuentes, tales como: los Programas de Desarrollo Urbano; la base de datos catastral; los institutos de censos y estadísticas; institutos de planeación urbana.

Tabla 26. Descripción del indicador de Densidad edificatoria urbana.

Dimensión:	**Parámetros físicos urbanos**	**Variable:**	**Edificaciones**
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Densidad edificatoria urbana	En concreto, se refiere al número de viviendas o edificaciones construidas por hectárea de suelo, y va a tener diferentes implicaciones en el medio como el nivel de iluminación, la proyección de sombras, la temperatura del aire y la superficial, entre otras cosas (J. M. Ochoa, 2012: 58-59)	Superficie construida	Km^2
	Objetivo		
	En este caso, el objetivo principal es el de identificar más bien las zonas de acuerdo a su intensidad de uso y verticalidad, que nos permita correlacionar los datos y las		

	implicaciones que tiene en otros indicadores y tales como la temperatura superficial, superficie de sombreamiento y la superficie de vegetación.
	Fuente de datos
	Cartografía catastral, Censos de población y vivienda
	Herramientas
	Sistemas de Información Geográfica, CAD

Fuente: elaboración propia

Tabla 27. Descripción del indicador de Intensidad edificatoria.

Dimensión:	**Parámetros físicos urbanos**	**Variable:**	**Edificaciones**
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Intensidad edificatoria	Es el total de suelo utilizado por cada predio catastral urbano, tomando en cuenta su altura y el número de niveles edificados que albergan cada uno de ellos. Objetivo El objetivo principal es el de determinar la intensidad edificatoria de distintas zonas de la ciudad y relacionar loe efectos que tiene en el microclima urbano	$I_e = \sum n\ (spu * h)$	ha
	Fuente de datos		
	Cartografía catastral, Censos de población y vivienda		
	Herramientas		
	Sistemas de Información Geográfica, CAD		

Fuente: elaboración propia

Tabla 28. Descripción del indicador de verticalidad

Dimensión:	**Parámetros físicos urbanos**	**Variable:**	**Edificaciones**
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Verticalidad	Se refiere a la variedad de alturas promedio que tienen las diversas edificaciones en la ciudad y su distribución dentro de la ciudad. Esta está relacionada con la intensidad edificatoria. Objetivo El objetivo principal es el de ubicar las zonas donde se tiene una mayor o menor verticalidad y relacionar los efectos que esta tiene en el microclima urbano, a partir de su relación con el dimensionamiento de vialidades, el sombreamiento que generan, etc.	$V = \sum (n * h)$	ha
	Fuente de datos		
	Cartografía catastral, Censos de población y vivienda		
	Herramientas		
	Sistemas de Información Geográfica, CAD		

Fuente: elaboración propia

3.4.2. Variables de análisis de vialidades

El sistema vial, es aquel que estructura formalmente el espacio urbano, marca las distintas orientaciones del sistema edilicio y de tránsito; permite la captación o bloqueo del viento y la radiación solar; incrementa la humedad en el aire por la vegetación o cuerpos de agua que ahí se localiza, o bien la disminuye debido a sus proporciones y tipo de materiales que la constituyen.

A partir de esto, es que se propone estudiar las vialidades, teniendo en cuenta la superficie que abarcan dentro de la ciudad; el tipo de material con el que están hechas; el porcentaje de albedo que corresponde a cada uno de ellos; la temperatura superficial que pueden llegar a tener en un día determinado (de preferencia un día del mes más crítico); y la superficie de vegetación localizada en estas.

El objetivo principal de este análisis es el de determinar si las características actuales de la estructura vial en correlación con la vegetación y la densidad urbana, son adecuadas o van acorde el tipo de clima de la ciudad que conforman.

A continuación, se describen los indicadores propuestos:

Tabla 29. Descripción del indicador de Superficie vial urbana.

Dimensión:	**Parámetros físicos urbanos**	**Variable:**	**Vialidades**
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Superficie Vial urbana	Área pública destinada al tránsito vehicular motorizado, no motorizado y peatonal.	Σ Longitud de calle x ancho de calle.	%, Km^2
	Objetivo		
	Determinar la superficie destinada al tránsito para poder correlacionar este indicador con el de la densidad edificada y establecer los porcentajes que corresponden a cada uno.		
	Fuente de datos		
	cartografía catastral, de planeación urbana		
	Herramientas		
	ArcGIS, QGis, CVSIG, etc.		

Fuente: elaboración propia

Tabla 30. Descripción del indicador de, tipo de material de vialidad urbana.

Dimensión:	**Parámetros físicos urbanos**	**Variable:**	**Vialidades**
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Material de vialidad urbana	Recubrimiento del terreno natural destinado a vialidad urbana	% de superficie vial x tipo de material	%, Km^2
	Objetivo		
	Establecer el porcentaje de superficie vial de acuerdo a su tipo de material de recubrimiento para preestablecer sus características térmicas. A partir de este dato se va a poder correlacionar con el indicador de temperatura superficial de vialidades.		
	Fuente de datos		
	Cartografía de planificación urbana, vialidades y transportes que incluya los datos requeridos		
	Herramientas		
	ArcGIS, QGis, CVSIG, etc.		

Fuente: elaboración propia

Tabla 31. Descripción del indicador de albedo y emisividad del material de vialidades.

Dimensión:	Parámetros físicos urbanos	Variable:	Vialidades
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Albedo y emisividad del material de vialidades	Se refiere a la energía reflejada en la superficie terrestre al universo		
	Objetivo		
	Determinar la reflectancia de los materiales que componen el sistema vial para preestablecer su relación con su desempeño térmico en el fenómeno de la Isla de Calor Urbano	porcentajes establecidos	%, tipo de material
	Fuente de datos		
	Bibliografía especializada		
	Herramientas		
	ArcGIS, QGis, CVSIG, etc.		

Fuente: elaboración propia

El albedo de los materiales de las superficies es una de las características que hay que emplear acorde a lo que se quiere controlar en la zona a evaluar, es decir, si los requerimientos del entorno dictan que se necesita controlar las altas temperaturas en el espacio urbano (disminuirlas), lo ideal será tener materiales claros de alto albedo; o viceversa, si se requiere aumentar la temperatura, se deberán emplear materiales obscuros con un albedo más bajo.

Tabla 32. Valores de albedo y emisividad de materiales comúnmente empleados en superficies de vialidades

Material de superficie	Terracería	Asfalto	Hormigón	Empedrado	Adoquín
Albedo %	25-30	5-15	10-50	20-35	30-40
Emisividad %	84-91	95	71-90	85-95	50-75

Tabla33. Descripción del indicador de temperatura superficial

Dimensión:	Parámetros físicos urbanos	Variable:	Vialidades
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Temperatura superficial	Temperatura de la superficie vial, o también conocida como radiación de onda larga.		
	Objetivo		
	Establecer las variaciones de temperatura de la superficie que tiene el área de estudio y establecer su relación con otros indicadores tales como la presencia de vegetación, sombreamiento, densidad y tipo de material de la superficie.	* ver metodología de procesamiento de imágenes satelitales 3.4.4.	ha
	Fuente de datos		
	Imágenes satelitales		
	Herramientas		
	ArcGIS, QGis, CVSIG, etc.		

Fuente: elaboración propia

Tabla 34. Descripción del indicador superficie con vegetación en vialidades.

Dimensión:	Parámetros físicos urbanos	Variable: Vialidades	
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Vegetación / superficie*	En este caso se refiere a la superficie que pueden abarcar elementos arbóreos, arbustos, superficie de césped o cualquier otro tipo que se identifique en el cálculo del NDVI	* ver metodología de procesamiento de imágenes satelitales 3.4.4.	ha
	Objetivo		
	Determinar el área de vegetación localizada en el área de estudio y su relación con la temperatura superficial y sombreamiento		
	Fuente de datos		
	Imágenes satelitales		
	Herramientas		
	ArcGIS, QGis, CVSIG, etc.		

*Si la resolución de la imagen satelital lo permite, se cuantificará por separado la presencia de vegetación localizada en las vialidades de aquella localizada en espacios abiertos. De lo contrario, se cuantificará de manera conjunta.
Fuente: elaboración propia

Tabla 35. Descripción del indicador superficie vial sombreada por vegetación.

Dimensión:	Parámetros físicos urbanos	Variable: Vialidades	
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Vegetación / sombreamiento*	Sombra generada a partir de elementos principalmente arbóreos	ver metodología de procesamiento de imágenes satelitales 3.4.4.	ha
	Objetivo		
	Determinar la superficie que se encuentra sombreada a partir de la presencia de vegetación localizada en las vialidades y espacios abiertos		
	Fuente de datos		
	Imágenes satelitales		
	Herramientas		
	ArcGIS, QGis, CVSIG, etc.		

*Si la resolución de la imagen satelital lo permite, se cuantificará por separado el tipo de sombreamiento generado a partir de la vegetación de aquella generada por las edificaciones. De lo contrario, se cuantificará de manera conjunta.
Fuente: elaboración propia

3.4.3. Variables de análisis de espacios abiertos

Los espacios abiertos urbanos son una combinación, continua o discontinua, entre vialidades, espacios de tránsito, recreación, congregación, etc. al aire libre que van a estar delimitados por otras vialidades, edificaciones contiguas, sistemas arbolados, la topografía del terreno, etc.

La importancia de los espacios abiertos son la función que cumplen en la ciudad y el uso que les dan los habitantes. En este caso, la configuración y estructura de los mismos con respecto al clima local repercute en gran medida en este último aspecto y puede llegar a ser un factor determinante para cumplir o no la función para lo cual fueron creados.

En este caso, se busca analizar la superficie que ocupan en toda el área de estudio,

Tabla 36. Descripción del indicador superficie de espacio abiertos.

Dimensión:	Parámetros físicos urbanos	Variable:	Espacios abiertos
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Superficie de espacios abiertos	Área comprendida por un espacio abierto sin límites verticales u horizontales claros. Normalmente son de carácter público y son utilizados para la recreación, tránsito peatonal, deporte, cultura, etc	-	ha
	Objetivo		
	Establecer el área correspondiente a espacios abiertos urbanos tales como plazas, jardines, áreas deportivas, recreativas, etc		
	Fuente de datos		
	Cartografía catastral o de planificación		
	Herramientas		
	ArcGIS, QGis, CVSIG, etc.		

Fuente: elaboración propia

Tabla 37. Descripción del indicador de cuerpos de agua.

Dimensión:	Parámetros físicos urbanos	Variable:	Espacios abiertos
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Cuerpos de agua	Cuerpos de agua naturales o artificiales que se encuentren dentro o fuera del área de estudio pero que tengan implicaciones en el desarrollo hídrico de la ciudad.	-	m^2 o ha
	Objetivo		
	Establecer las implicaciones que tiene en la temperatura superficial, la vegetación y la humidificación del aire.		
	Fuente de datos		
	Cartografía catastral o de planificación		
	Herramientas		
	ArcGIS, QGis, CVSIG, etc.		

Fuente: elaboración propia

Tabla 38. Descripción del indicador de temperatura superficial de los espacios abiertos.

Dimensión:	Parámetros físicos urbanos	Variable:	Espacios abiertos
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Temperatura superficial*	Temperatura de la superficie de los espacios abiertos localizados en la ciudad evaluada	* ver metodología de procesamiento de imágenes satelitales 3.4.4.	ha
	Objetivo		
	Establecer las variaciones de temperatura de la superficie que tiene el área de estudio y establecer su relación con otros indicadores tales como la presencia de vegetación, sombreamiento, densidad y tipo de material de la superficie.		
	Fuente de datos		
	Imágenes satelitales		
	Herramientas		
	ArcGIS, QGis, CVSIG, etc.		

Fuente: elaboración propia

Tabla 39. Descripción del indicador de vegetación localizada en los espacios abiertos.

Dimensión:	**Parámetros físicos urbanos**	**Variable:**	**Espacios abiertos**
Indicador	Características	Parámetro de cálculo	Unidad
Vegetación	En este caso se refiere a la superficie que pueden abarcar elementos arbóreos, arbustos, superficie de césped o cualquier otro tipo que se identifique en el cálculo del NDVI	* ver metodología de procesamiento de imágenes satelitales 3.4.4.	ha
	Objetivo		
	Establecer la superficie y localización de las áreas de vegetación dentro de la ciudad, su relación con otros indicadores y sus implicaciones en el microclima urbano..		
	Fuente de datos		
	Imágenes satelitales		
	Herramientas		
	ArcGIS, QGis, CVSIG, etc.		

Fuente: elaboración propia

3.4.4. Utilización de la Teledetección para la identificación, clasificación y cuantificación de indicadores del medio físico construido y natural dentro del área de planeación urbana.

El empleo de la Teledetección en la identificación de las condiciones del medio físico construido y naturales de la ciudad, es una herramienta clave en esta metodología debido a la magnitud de la escala territorial en la que se está realizando el estudio[22]. A partir de la extracción de la información emitida por la superficie terrestre y las diferentes cubiertas que se localizan sobre ella, se ha generado la información necesaria para poder identificar y cuantificar algunos de los indicadores propuestos tales como:

- Temperatura superficial
- Vegetación
- Elementos de agua
- Sombras

Así pues, para poder obtener dicha información las imágenes satelitales deben pasar por un procesamiento a partir de la utilización de herramientas de información geográfica, tales como el ArcGIS y el QGIS.

Criterios de descarga de imágenes satelitales

Debido a las características de resolución de las imágenes (ver tabla 40) y a su libre acceso, esta metodología propone el empleo de aquellas que son obtenidas por medio del satélite LANDSAT8 OLI/TIRS

Tabla 40. Resolución de las imágenes obtenidas por LANDSAT8 OLI/TIRS

Landsat 8 Bands	Wavelength [micrometers]	Resolution [meters]
Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100 (resampled to 30)
Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100 (resampled to 30)

Fuente: Landsat.usgs.gov, 2017.

Para obtener imágenes que nos permitan identificar de mejor manera los elementos de nuestro interés, es importante que los parámetros de descarga cumplan con ciertos requisitos, tales como:

- **Localización del área de interés.** Se puede hacer a través del empleo de las coordenadas de latitud y longitud o bien, con la clave Path/Row del cuadrante de la imagen que engloba el área de estudio. En este caso las imágenes pueden abarcar toda el área o bien, puede ser necesario sobreponer varias imágenes que la engloben.

[22] La resolución de las imágenes satelitales empleadas en relación con la escala de análisis, es determinante en el nivel de exactitud de los datos obtenidos. Por tanto, este tipo de herramientas suelen emplearse en el ordenamiento territorial y en menor medida en el entorno urbano (J. Fariña, 1998:52). Sin embargo, para la especificidad requerida en esta metodología, las imágenes empleadas, cumplen con el objetivo.

- **Fecha de interés de la toma de imagen.** Si se desean ver fenómenos específicos que surgen en determinadas épocas del año, es necesario elegir las imágenes que se hayan tomado dentro de ese periodo, ya que los elementos de la superficie del área de interés pueden sufrir grandes cambios en diferente tiempo.

- **Porcentaje de nubosidad.** Este factor es de suma importancia ya que puede alterar los resultados de forma significativa. Esto debido a que, al momento de ser procesada la información de las imágenes, la nubosidad presente es tomada como parte de la superficie terrestre. Para esto es necesario previsualizar las imágenes antes de su descarga y verificar, en dado caso, que la nubosidad detectada por el satélite, no se encuentra dentro del área de interés.

- **La banda Térmica infrarroja (TIRS)1 (banda 10) debe contener la información completa**. Se detectó que esta banda podría tener daños en la información que contiene, por lo que es de vital importancia verificar que la contenga de manera correcta antes de su descarga, ya que si no se tendrá problemas en obtener la información de la temperatura superficial.

Descarga de Modelo Digitales de Elevación

En el caso mexicano, para obtener los modelos digitales de elevación del territorio mexicano, es posible hacerlo a través de portal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La Descarga de estos archivos pueden hacerse a nivel nacional, por Área Geoestadística Estatal o bien, el área que el usuario especifique, así como el tipo de resolución a 15, 30, 60, 90 y 120 m.
Este tipo de imágenes podrán ser trabajadas para desarrollar las elevaciones del terreno y el cálculo de sombras generadas a partir de las edificaciones y/o la vegetación.

Estimación de la temperatura superficial

El proceso para la estimación de la temperatura superficial de la zona de estudio, se realiza en 5 etapas principales y empleando Qgis como herramienta:

a) *Composición de imagen RGB.* A partir de la combinación de las bandas 2, 3 y 4 (azul, verde y roja), se crea una imagen RGB para tener una fácil identificación de las zonas con abundante o baja vegetación, las áreas construidas y los cuerpos de agua, localizados en el área de estudio.
b) *Generación de ROIs (Region of interest).* Se recomienda realizar al menos 4 diferentes categorías de ROIs: suelo construido, suelo con vegetación, suelo con poca o nula vegetación y cuerpos de agua.
c) *Clasificación de la cobertura de suelo.* A partir de las diferentes categorías de ROIs, se podrá realizar el mapa de clasificación de cobertura de suelo de toda el área de estudio.
d) *Reclasificación de valores de emisividad por tipo de cobertura de suelo.* Se deben asignar los valores de emisividad correspondiente al tipo de suelo (ver tabla 41).

Tabla 42. Valores de emisividad para los diferentes tipos de cobertura de suelo

Cobertura de suelo	Emisividad[23]
Construido	0.94
Vegetación	0.93
Baja o nula vegetación	0.98

[23] Valores redondeados

Agua	0.98

Fuente: elaboración propia con base en J. Ochoa (2012)

e) *Conversión de Temperatura atmosférica satelital a temperatura superficial.* A partir de la imagen ráster generada con los valores de emisividad y la imagen térmica infrarroja TIRS (banda 10), se genera la imagen de temperatura superficial de la zona de interés, empleando la siguiente fórmula:

Temperatura superficial *= b / (1 + (10.8 * b / 14380) * ln(a))*

Donde:
a= ráster de emisividad
b= imagen térmica infrarroja TIRS

A partir de este punto, la cartografía generada puede ser manipulada para su mejor visualización y/o desglose de datos con ArcGis, o bien, continuar con Qgis o con cualquier otro software SIG.

Estimación de la superficie de vegetación

El área de vegetación localizada dentro del área de estudio se lleva a cabo en 3 etapas principales y utilizando la herramienta Qgis:

a) *Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).* *Como primer paso, se llevan a cabo dos combinaciones de rásters, la primera a partir de las bandas 2,3,4 y la segunda a partir de las 5,6,7.*
Posteriormente se procede a realizar el recorte del polígono del área de estudio, por cada uno de los ráster que se hicieron, y se llevará a cabo una unión de los dos rásters. Las bandas seleccionadas a visualizar serán las 5,4,3.

Finalmente, para establecer los valores NDVI se hace a través de la fórmula (Peña-Salmón, Leyva-Camacho, & Rojas-Caldelas, 2014):

NDVI = (b5 – b4) / (b5 + b4)

Donde:
b4= banda roja
b5= banda infrarroja

b) *Cálculo de superficie de vegetación*. A partir de la imagen anterior, se establecen los valores mínimos y máximos que varían de entre -1 a 1, permitiendo separar lo que es vegetación de aquello que no lo es, ya que todo valor positivo arriba de 0 representa la presencia de vegetación dada por su actividad fotosintética, por tanto, y aplicando el criterio de Peña-Salmón (2014: 615), los valores positivos menores de 0.03 se agruparon en una clasificación de valor o (no vegetación), y aquellos valores que se encontraron dentro del rango de 0.03 a 0.82 se agruparon en el grupo 1 (vegetación).

c) *Generación de polígonos de vegetación*. Una vez que se haya reclasificado la vegetación y la no vegetación en la imagen NDVI, se procede a generar los polígonos de cada una de estas categorías, para así poder determinar el área que abarca cada una de ellas dentro del entorno de interés.

Estimación de sombras

A partir de una imagen DEM (Digital Elevation Model) de la zona de estudio y empleando el ArcGIS como herramienta de procesamiento para realizar el cálculo de la superficie de sombras generadas por los diferentes elementos que conforman el entorno urbano, se llevaron a cabo los siguientes pasos[24]:

a) *Creación de imagen ráster Hillshade*. Para crear el ráster de sombras se emplea la herramienta Hillshade, la cual generará un rango de valores de entre 0 a 255 para cada pixel.

b) *Reclasificación de valores del ráster Hillshade*. Aquellos pixeles que representan Sombreamiento, se les asigna automáticamente un valor de cero, por lo que cualquier otro valor que se genere, no es sombra. Por tanto, es necesario hacer una reclasificación de valores con base en un sistema binario, es decir, los valores que vayan de 1 a 255 otorgar un valor de 0; los valores de 0 otorgar un valor de 1. Así, la siguiente imagen ráster generada, tendrá por separado las sombras de lo que no lo son.

c) *Generación de polígonos de sombra*. Para poder cuantificar la superficie total sombreada dentro del área de estudio, es necesario convertir la imagen ráster a un conjunto de datos de polígonos. Para ello se emplea la herramienta *Raster to polygon.*

d) *Cuantificación de superficie de sombra.* Se lleva a vabo una sumatoria de las superficies obtenidas en todos los polígonos de sombra anteriormente generados.

Así pues, en resumen, los elementos que conforman el proceso de evaluación de esta metodología se dividen en dos dimensiones: los parámetros ambientales y los parámetros físicos. Los primeros hacen referencia a las variables de localización (latitud, longitud y altura) y a las climáticas englobadas en sol, viento y agua (radiación, temperatura, viento, humedad relativa, nubosidad y precipitación pluvial). Donde cada uno de estos debe ser calculado, obtenido y analizado a partir de las fuentes de información, herramientas y productos finales propuestos en la tabla 43.

En cuanto a los parámetros físicos, estos finalmente engloban las variables de edificaciones, vialidades y espacios abiertos en el entorno urbano, con sus respectivas fuentes de información, herramientas de procesamiento y productos obtenidos

[24] Para el cálculo se siguió principalmente el procedimiento del ArcGIS Resourse Center, empleando la herramienta de Hillshade (Help.arcgis.com, 2017)

Tabla 43. Resumen de las dimensiones, variables, indicadores, fuentes, herramientas y productos que conforman la propuesta metodológica

DIMENSIÓN	VARIABLE	INDICADOR	OBSERVACIONES	UNIDAD	FUENTE DE INFORMACIÓN	HERRAMIENTA DE PROCESAMIENTO*	PRODUCTO
Parámetros ambientales	De localización	Latitud	Localización con respecto al Ecuador	º ´ ´´	Normales climatológicas/bibliografía	-	-
		Longitud	Localización con respecto al meridiano	º ´ ´´	Normales climatológicas/bibliografía	-	-
		Altitud	Altura con respecto al mar	msnm	Normales climatológicas/bibliografía	-	-
	Climáticas	SOL/Radiación	Radiación global horizontal, directa y difusa	Wh/m2	Normales climatológicas/Meteonorm /Aeropuerto, etc	EXCEL, COMFORT-EX	Tablas/gráficas
		SOL/Temperatura	Temperatura del aire	ºC	Normales climatológicas/Meteonorm /Aeropuerto, etc	EXCEL, COMFORT-EX	Tablas/gráficas/isotermas
		AGUA/Humedad Relativa	Porcentaje de humedad en el aire	%	Normales climatológicas/Meteonorm /Aeropuerto, etc	EXCEL, COMFORT-EX	Tablas/gráficas/isohigras
		AIRE/Viento	Velocidad promedio y dirección	m/s	Normales climatológicas/Meteonorm /Aeropuerto, etc	EXCEL, COMFORT-EX	Tablas/gráficas
		AGUA/Nubosidad	Días nublados, radiación difusa	Días	Normales climatológicas/Meteonorm /Aeropuerto, etc	EXCEL	Tablas/gráficas
		AGUA/Precipitación pluvial	Cantidad de agua de lluvia por m3	mm	Normales climatológicas/Meteonorm /Aeropuerto, etc	EXCEL	Tablas/gráficas
Parámetros físicos	Edificaciones	Densidad edificatoria urbana	Número de viviendas dentro de un espacio limitado	viv/ha	Catastro	ArcGIS	Plano/Tablas/Gráficas
		Sombreamiento	Sombras generadas por las edificaciones	%	LANDSAT 8 OLI/TIRS	Qgis/ArcGIS/Heliodón	Plano/Tablas/Gráficas
	Vialidades	Superficie vial	De acuerdo al PDUCPH	km2/tipo	Planificación	ArcGIS	Plano/Tablas/Gráficas

		Material	Superficie por tipo de material	Tipo de material que conforma las vialidades	km2	Planificación	ArcGIS	Plano/Tablas/Gráficas
			Temperatura superficial*	Temperatura radiante de las superficies	ºC	LANDSAT 8 OLI/TIRS	QGIS/ArcGIS	Plano/Tablas/Gráficas
			Albedo y emisividad	Porcentaje de radiación reflejada por una superficie hacia la atmósfera	%	Bibliografía	ArcGIS	Plano/Tablas/Gráficas
		Vegetación	Superficie	Superficie vegetal	km2	LANDSAT 8 OLI/TIRS	QGIS/ArcGIS	Plano/Tablas/Gráficas
			Sombreamiento	Promedio de Sombras generadas por vegetación	%	LANDSAT 8 OLI/TIRS, imagen DTM**	Qgis/ArcGIS/Heliodón	Plano/Tablas/Gráficas
	Espacios abiertos (plazas, jardines y espacios deportivos)	Superficie total		Área de espacios abiertos	km2	Catastro	ArcGIS	Plano
		Cuerpos de agua		Superficie y volumen	km2	Catastro/LANDSAT 8 OLI/TIRS	QGIS/ArcGIS	Plano
		Temperatura superficial*		Temperatura radiante de superficies	ºC	LANDSAT 8 OLI/TIRS	QGIS/ArcGIS	Plano/Tablas/Gráficas
		Sombreamiento		Sombras generadas por las edificaciones, vegetación, mobiliario	%	LANDSAT 8 OLI/TIRS	Qgis/ArcGIS/Heliodón	Plano/Tablas/Gráficas

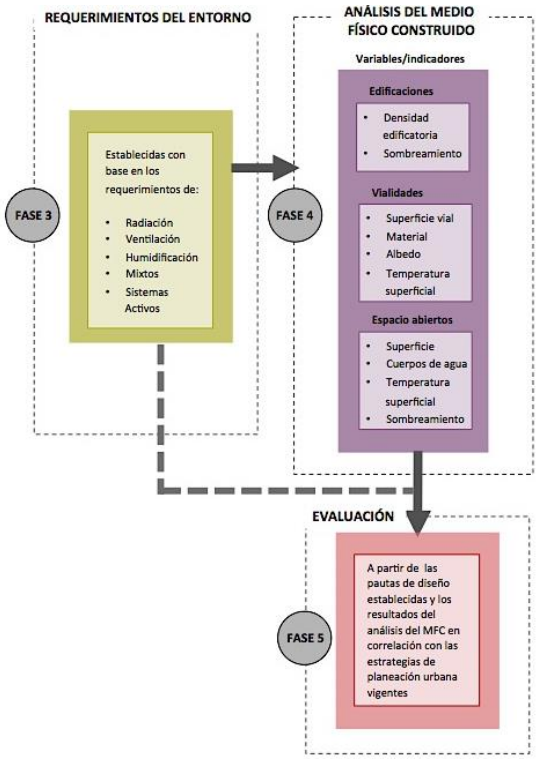
Fuente: elaboración propia.

3.5. Fase 5: Evaluación

El objetivo principal de esta fase de la evaluación, es el de determinar si las características actuales del medio físico construido son adecuadas de acuerdo al tipo de clima local.

El proceso de análisis se basa en el diagnóstico climático y ambiental previo, así como el establecimiento de los requerimientos del entorno que también se hubo realizado, en relación con el diagnóstico del medio físico construido y el tipo de clima.

Figura 33. Proceso de análisis de diagnóstico para llevar a cabo la evaluación



Fuente: elaboración propia.

3.5.1. Establecimiento de requerimientos del entorno de acuerdo a las características climáticas de la ciudad.

De acuerdo con los requerimientos del entorno obtenidos con base en el CONFORT-EX o bien la gráfica de Olgyay y las isopletas, se establecen los niveles de prioridad de control que debe de tener en la ciudad de acuerdo al tipo de clima. Esto se logra a partir de la cuantificación de los diferentes tipos de requerimientos que se tienen durante los 12 meses del año y las 24 horas del día. Sin embargo, es importante destacar aquellos que se localizan dentro de la zona horario de actividades más común de la localidad que puede ser de 8:00 a 20:00, por ejemplo.

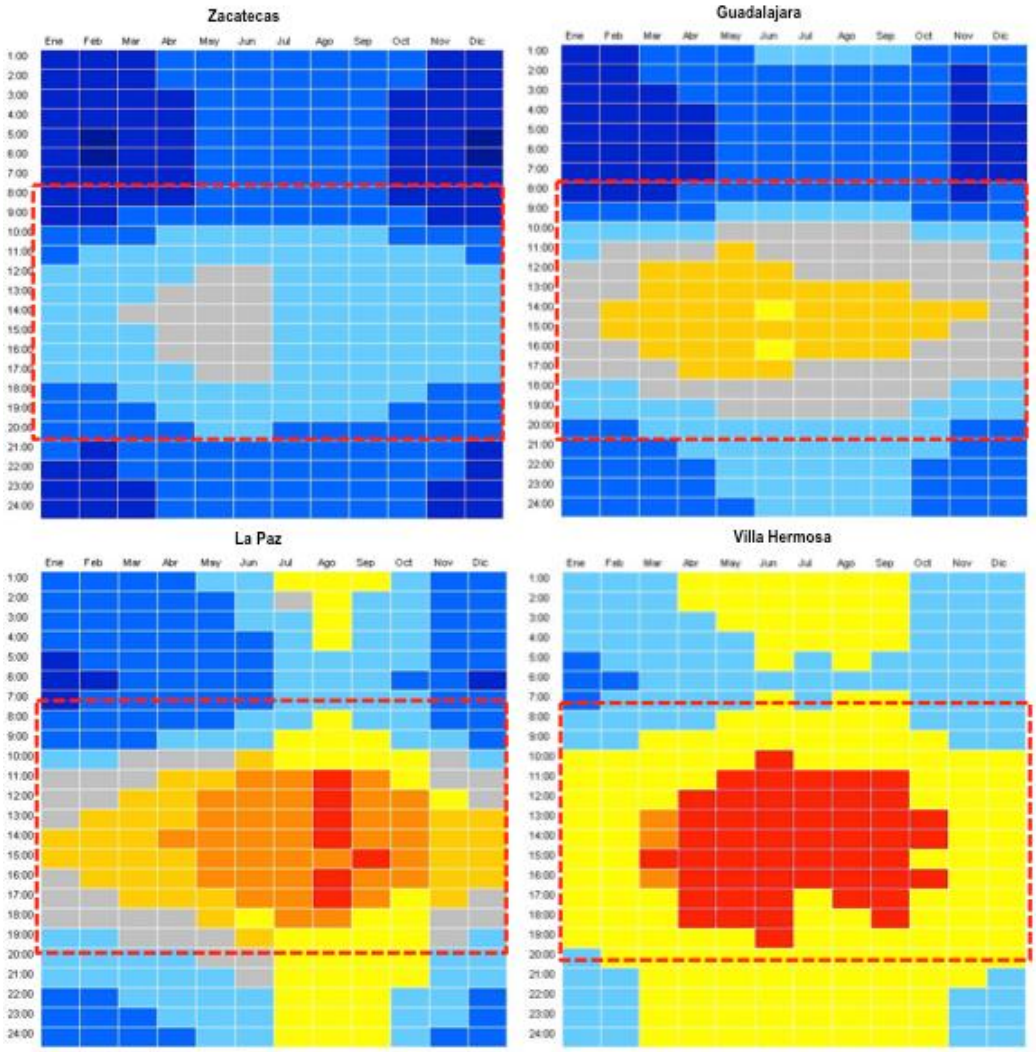
Para ejemplificar lo anterior, se han seleccionado cuatro diferentes ciudades de México con diferente clima entre sí (ver figura 34):

- Clima frío: Zacatecas
- Clima templado: Guadalajara

- Clima Cálido Seco: La Paz
- Clima Cálido Húmedo: Villa Hermosa

Además se ha señalado el horario promedio de actividades más intenso que suele desarrollarse en los espacios urbanos, en una ciudad cualquiera de México[25] que es de 8:00 a 20:00 horas comúnmente.

Figura 34. Isopletas de requerimientos del entorno para 4 ciudades mexicanas con diferentes climas



Fuente: CONFORT-EX .

A partir de esto, se establecerá el orden de prioridad de los diferentes requerimientos del entorno que han resultado del CONFORT-EX, resaltando aquellas que se encuentran dentro del horario de actividades establecido.

El proceso consiste en cuantificar las casillas por tipo de requerimiento que corresponden a una hora y mes determinado. La sumatoria deben de ser 288, que representan las 24 horas del día por los 12 meses del año. Además, es importante establecer los porcentajes que representan en cada uno de los requerimientos del entorno; ejemplo:

[25] No se destacan días festivos o algún evento conmemorativo. El horario se asume de acuerdo a actividades laborales, educativas y de consumo de bienes y servicios.

Tabla 44. cuantificación de casillas por tipo de requerimientos del entorno por tipo de clima, de acuerdo con figura 34

REQUERIMIENTOS	NUM. CASILLAS / TIPO DE CLIMA							
	FRÍO	%	TEMPLADO	%	CÁLIDO-SECO	%	CÁLIDO-HÚMEDO	%
I	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
II	0	0.0	0	0.0	7	2.4	50	17.4
III	0	0.0	0	0.0	34	11.8	3	1.0
IV	0	0.0	39	13.5	32	11.1	0	0.0
V	0	0.0	2	0.7	41	14.2	150	52.1
VI	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
VII	17	5.9	59	20.5	31	10.8	0	0.0
VIII	87	30.2	58	20.1	66	22.9	81	28.1
IX	113	39.2	93	32.3	72	25.0	4	1.4
X	67	23.3	37	12.8	5	1.7	0	0.0
XI	4	1.4	0	0.0	0	0.0	0	0.0
TOTAL	**288**	**100.0**	**288**	**100.0**	**288**	**100.0**	**288**	**100.0**

Fuente: elaboración propia con base en imagen 25.

A partir de lo anterior, se pueden establecer los niveles de priorización de requerimientos del entorno para lograr el confort térmico en los espacios urbanos, siendo el 1 el de mayor prioridad y hasta el 11 el de prioridad más baja. Además de tener identificado aquellos que son posibles de resolver dentro del periodo de actividades diurna-nocturna (ver tabla 44).

Tabla 45. Nivel de priorización de requerimientos del entorno de acuerdo al clima y el horario de actividades establecido

SIMBOLOGÍA	CARACTERÍSTICAS Y/O REQUERIMIENTOS DEL ENTORNO URBANO	TIPO DE CLIMA			
		FRÍO	TEMPLADO	CÁLIDO-SECO	CÁLIDO-HÚMEDO
I	Imposible restablecer condiciones de confort por medios naturales Límite de la resistencia humana Posibilidad de insolación	-	-	-	-
II	Condición crítica, límite del control pasivo Control de la radiación solar (disminución) Control de la temperatura radiante (disminución) Control de la humedad (disminución) Ventilación mecánica > 3m/s	-	-	7	3
III	Condición crítica, límite del control pasivo Control de la radiación solar (disminución) Control de la temperatura radiante (disminución) Confinamiento, enfriamiento evaporativo Humidificación y ventilación natural o mecánica > 3 m/s	-	-	4	-
IV	Enfriamiento evaporativo (humidificación y ventilación) Control de la radiación solar (disminución) Control de la temperatura radiante (disminución)	-	4	5	5
V	Control de la humedad (disminución) Control de la radiación solar (disminución) Control de la temperatura radiante (disminución)	-	-	3	-
VI	Control de la humedad (disminución) Control de la radiación solar (disminución)	-	5	-	1
VII	Confortable a la sombra	4	2	6	0
VIII	Control de la radiación solar (aumento) Aumento de la temperatura radiante (pasivo y artificial) Control del viento (confinamiento)	1	3	2	2

IX	Control de la radiación solar (aumento) Aumento de la temperatura radiante (pasivo y artificial) Control del viento (confinamiento)	**2**	1	**1**	4
X	Imposible restablecer condiciones de confort por medios naturales Control de la radiación solar (aumento) Aumento de la temperatura radiante (pasivo y artificial) Control del viento (confinamiento)	3	-	8	-
XI	Imposible restablecer condiciones de confort por medios naturales Límite de la resistencia humana Posibilidad de congelamiento	5	-	-	-

Fuente: elaboración propia con base a tabla 44.

Una vez realizado lo anterior, se procede a correlacionar los indicadores del medio físico construido propuestos y su nivel de influencia sobre el control de los requerimientos del entorno y de acuerdo al tipo de clima que tiene la zona de estudio (ver tabla 45). Esto, debido a que dependiendo del clima y/o las necesidades del entorno urbano, habrá indicadores que afecten o no a suplir dichas necesidades.

Por ejemplo, en el caso de se establezcan los requerimientos del grupo I, que plantean que es imposible restablecer las condiciones de confort por medios naturales; se encuentra al límite de la resistencia humana; se tiene posibilidad de insolación; no es posible llegar al estado de confort térmico mediante ninguno de los indicadores de los parámetros propuestos, es decir, sólo se puede lograr por sistemas activos. Por tanto, se dice que el nivel de influencia de los parámetros es ninguno.

En cambio, si se toma como ejemplo el grupo II de los requerimientos, se establece que hay una condición crítica y se está al límite del control pasivo, además se debe tener un control de la radiación solar para disminuirla, así como la temperatura radiante y la humedad, además de generar una ventilación mecánica > 3m/s. En este caso, todos se pueden lograr a partir de la densidad edificatoria y el sombreamiento generado por la misma (a excepción de la ventilación mecánica). Sin embargo, para la disminución de la captación de radiación solar, si bien la superficie y distribución de las vialidades tiene una alta influencia en este aspecto, el tipo de material de la misma, así como el albedo y su temperatura superficial, no tienen ningún tipo de efecto en este requerimiento.

Por tanto, la tabla 45, se elaboró a partir de:

- Establecer el nivel de influencia del parámetro físico sobre el requerimiento del entorno, que puede ser: significante, casi significante, insignificante, ninguna.

- Volumen o cantidad general que debe tener el parámetro para lograr el control del requerimiento: alto, bajo o dependiendo de las características del parámetro o indicador.

En este sentido, cabe resaltar que el objetivo principal de esta tabla es el de determinar los indicadores que tendrán una mayor influencia en el control de los requerimientos del entorno y, por tanto, poner más énfasis en su análisis y evaluación.

Tabla 46. Nivel de influencia de los parámetros físicos sobre los requerimientos del entorno

SIMBOLOGÍA	REQUERIMIENTOS Y/O CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO URBANO	PARÁMETROS FÍSICOS												PRIORIDAD DE REQUERIMIENTOS DEL ENTORNO URBANO			
		Edific.		Vialidades					Espacios abiertos					Tipo de clima			
				Material			Veget.					Veget.					
		Densidad edificatoria	Sombreamiento	superficie/tipo	Albedo	Temperatura sup.	Superficie	Sombreamiento	superficie construida	Cuerpos de agua	Temperatura sup.	Superficie	Sombreaiento	Frío	Templado	Cálido-seco	Cálido-húmedo
I	Imposible restablecer condiciones de confort por medios naturales													-	-	-	-
	Límite de la resistencia humana																
	Posibilidad de insolación																
II	Condición crítica, límite del control pasivo	▯	▯	○	○	–	▯	▯	–	▯	–	▯	▯	-	-	**7**	**3**
	Control de la radiación solar (disminución)	▯	▯				▯	▯	–			▯	▯				
	Control de la temperatura radiante (disminución)	▯	▯	–	–	–	▯	▯	–	○	–	▯	▯				
	Control de la humedad (disminución)	▯	▯	○	○	–	–	○	○	–	▯	–	▯				
	Ventilación mecánica > 3m/s																
III	Condición crítica, límite del control pasivo	▯	▯	○	○	–	▯	▯	–	▯	–	▯	▯	-	-	**4**	-
	Control de la radiación solar (disminución)	▯	▯				▯	▯	–			▯	▯				
	Control de la temperatura radiante (disminución)	▯	▯	○	–	–	▯	▯	–	○	–	▯	▯				
	Confinamiento, enfriamiento evaporativo	▯	▯	○		–	▯	▯	–	▯	○	▯	▯				
	Humidificación y ventilación natural o mecánica > 3 m/s	○	○	○			▯	▯	○	▯		▯	▯				
IV	Enfriamiento evaporativo (humidificación y ventilación)	○	○				▯	▯	○	▯		▯	▯	-	**4**	**5**	**5**
	Control de la radiación solar (disminución)	–	–				○	–	–			○	–				
	Control de la temperatura radiante (disminución)	▯	▯	○	–	–	▯	▯	–	○	–	▯	▯				
V	Control de la humedad (disminución)	○	○	○	○	○	○	○	○	–	○	○	○	-	-	**3**	-
	Control de la radiación solar (disminución)	▯	▯				▯	▯	–			▯	▯				
	Control de la temperatura radiante (disminución)	▯	▯	○	–	–	▯	▯	–	○	–	▯	▯				
VI	Control de la humedad (disminución)	○	○	○	○	○	○	○	○	–	○	○	○	-	5	-	**1**
	Control de la radiación solar (disminución)	–	–				○	–	–			○	–				

VII	Confortable a la sombra	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	**4**	**2**	**6**	-
VIII	Control de la radiación solar (aumento)	–	–				O	–	–			O	–	**1**	**3**	**2**	**2**
	Aumento de la temperatura radiante (pasivo y artificial)	–	–	▯	▯	▯	O	–	–		▯	O	–				
	Control del viento (confinamiento)	–		–			O		–			O					
IX	Control de la radiación solar (aumento)	–	–				O	–	–			O	–	**2**	1	**1**	4
	Aumento de la temperatura radiante (pasivo y artificial)	–	–	▯	▯	▯	O	–	–		▯	O	–				
	Control del viento (confinamiento)	–		–			O		–			O					
X	Imposible restablecer condiciones de confort por medios naturales													3	-	8	-
	Control de la radiación solar (aumento)	–	–				O	–	–			O	–				
	Aumento de la temperatura radiante (pasivo y artificial)	–	–	▯	▯	▯	O	–	–		▯	O	–				
	Control del viento (confinamiento)	–		–			O		–			O					
XI	Imposible restablecer condiciones de confort por medios naturales													**5**	-	-	-
	Límite de la resistencia humana																
	Posibilidad de congelamiento																

NIVEL DE INFLUENCIA DE PARÁMETRO FÍSICO SOBRE REQUERIMIENTO DEL ENTORNO

- NINGUNA
- INSIGNIFICANTE
- CASI INSIGNIFICANTE
- SIGNIFICANTE

N	NIVEL DE PRIORIDAD DE REQUERIMIENTO DEL ENTORNO EN HORARIO REGULAR DE ACTIVIDADES
N	NIVEL DE PRIORIDAD DE REQUERIMIENTO DEL ENTORNO
▯	ALTA
–	BAJA
O	CARACTERÍSTICCAS ESPECÍFICAS

Fuente: elaboración propia

3.5.2. Proceso de puntuación de los indicadores del medio físico construido en relación con los requerimientos del entorno.

A continuación, se llevará a cabo la puntuación de los indicadores de los parámetros de edificaciones, vialidades y espacios abiertos. El objetivo de este procedimiento es el de ligar el diagnóstico realizado al medio físico construido con relación a los requerimientos del entorno, generados a partir de las características climáticas.

Las siguientes tablas presentan cada uno de los requerimientos del entorno, el tipo de clima del emplazamiento y el parámetro físico que se está evaluando. A partir de ello, se analizan los diferentes indicadores propuestos, estableciendo una calificación puntual dependiendo del estatus actual (de acuerdo al diagnóstico hecho previamente) en el que se encuentran dichos indicadores y para lo cual, se presentan cuatro posibles opciones de lo cual dependerá la puntuación que se obtenga.

De tal manera, la puntuación otorgada a los diferentes estatus de los indicadores, puede variar dependiendo del clima y el requerimiento que se esté evaluando. Cabe mencionar que el criterio para establecer las propuestas del estatus de los indicadores, así como las puntuaciones otorgadas, surgen de la tabla 11 del capítulo II, donde se establecen las características principales que deben tener los diferentes elementos del entorno urbano con respecto a cada región climática.

Por tanto, a pesar de que, para todos los requerimientos del entorno, se analizan los mismos indicadores con los mismos estatus, el orden de prioridad y su calificación pueden variar dependiendo del clima. En principio, pueden llegar a contraponerse algunas de estas puntuaciones dependiendo del requerimiento; por ejemplo: en el clima cálido-húmedo la presencia de vegetación en los espacios abiertos y vialidades puede ver calificada con la puntuación máxima de 4, si lo que se está evaluando es el control de la radiación solar (disminución). Sin embargo, si lo que se quiere es disminuir la humedad del aire, un muy alto porcentaje de vegetación en estas zonas será calificado con un 3.

De tal manera que, al momento de establecer los criterios de planificación surgidas de esta evaluación, se deberá tomar en cuenta la priorización que tiene cada requerimiento del entorno en la ciudad analizada.

Tabla 47. Evaluación de los parámetros físicos conforme al requerimiento: Condición crítica. Límite del control pasivo

CONDICIÓN CRÍTICA. LÍMITE DEL CONTROL PASIVO.					
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**		**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**	
Indicador			**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Grandes volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.1.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.1.c.	Volumetría de edificaciones baja.	2	
		1.1.1.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	≥a 5 niveles	4	
		1.1.2.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.2.c.	≤ 2 niveles	2	
		1.1.2.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**		**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**	
Indicador			**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Volumetría de edificaciones baja.	4	
		1.1.1.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.1.c.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	2	
		1.1.1.d.	Grandes volúmenes de edificaciones.	1	
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	≤ 2 niveles	4	
		1.1.2.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	

		1.1.2.c.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	2
		1.1.2.d.	≥a 5 niveles	1
1.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

CONDICIÓN CRÍTICA. LÍMITE DEL CONTROL PASIVO.			
Tipo de clima	**TEMPLADO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**

*Normalmente en este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONDICIÓN CRÍTICA. LÍMITE DEL CONTROL PASIVO.			
Tipo de clima	**FRÍO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**

*En este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONDICIÓN CRÍTICA. LÍMITE DEL CONTROL PASIVO.			
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**

	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
2.1.	**Material de vialidad**				
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	4	
		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	3	
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	2	
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	1	
2.1.2.	Tipo de material	2.1.2.a.	Mayor % de suelo natural	4	
		2.1.2.b.	Mayor % de materiales pétreos	3	
		2.1.2.c.	Mayor % de material hormigón	2	

		2.1.2.d.	Mayor % de material asfáltico	1
2.1.3.	albedo	2.1.3.a.	Mayor superficie con un % aproximado entre 21 - 45 % de albedo	4
		2.1.3.b.	Mayor superficie con un % aproximadamente ≥ 45 % de albedo	3
		2.1.3.c.	Mayor superficie con un % aproximado entre 6 - 20 % de albedo	2
		2.1.3.d.	Mayor superficie con un % aproximado < del 5% de albedo	1
2.1.4.	Temperatura Superficial	2.1.4.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4
		2.1.4.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3
		2.1.4.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2
		2.1.4.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1
2.2.	**Vegetación**			
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

CONDICIÓN CRÍTICA. LÍMITE DEL CONTROL PASIVO.					
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**		**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**	
Indicador			**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
2.1.	**Material de vialidad**				
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	4	

		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	3
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	2
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	1
2.1.2.	Tipo de material	2.1.2.a.	Mayor % de materiales petreos	4
		2.1.2.b.	Mayor % de suelo natural	3
		2.1.2.c.	Mayor % de material hormigón	2
		2.1.2.d.	Mayor % de material asfáltico	1
2.1.3.	albedo	2.1.3.a.	Mayor superficie con un % aproximado entre 21 - 45 % de albedo	4
		2.1.3.b.	Mayor superficie con un % aproximadamente ≥ 45 % de albedo	3
		2.1.3.c.	Mayor superficie con un % aproximado entre 6 - 20 % de albedo	2
		2.1.3.d.	Mayor superficie con un % aproximado < del 5% de albedo	1
2.1.4.	Temperatura Superficial	2.1.4.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4
		2.1.4.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3
		2.1.4.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2
		2.1.4.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1
2.2.	**Vegetación**			
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3

2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	

CONDICIÓN CRÍTICA. LÍMITE DEL CONTROL PASIVO.			
Tipo de clima	**TEMPLADO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**

*Normalmente en este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONDICIÓN CRÍTICA. LÍMITE DEL CONTROL PASIVO.			
Tipo de clima	**FRÍO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**

*En este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONDICIÓN CRÍTICA. LÍMITE DEL CONTROL PASIVO.			
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**

	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	
		3.1.c.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2	
		3.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1	
3.2.	**Cuerpos de agua**	3.2.a.	Muy Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	4	
		3.2.b.	Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	3	
		3.2.c.	Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	2	
		3.2.d.	Muy Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	1	
3.3.	**Temperatura superficial**	3.3.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4	
		3.3.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3	
		3.3.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2	
		3.3.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1	
3.4.	**Vegetación**				
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4	

		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3	
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2	
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1	
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	

CONDICIÓN CRÍTICA. LÍMITE DEL CONTROL PASIVO.					
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**		**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**	
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	
		3.1.c.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2	
		3.1.d.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1	
3.2.	**Cuerpos de agua**	3.2.a.	Muy Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	4	
		3.2.b.	Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	3	
		3.2.c.	Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	2	
		3.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	1	
3.3.	**Temperatura superficial**	3.3.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4	
		3.3.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3	
		3.3.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2	
		3.3.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1	
3.4.	**Vegetación**				
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4	
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3	
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2	
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1	

3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

CONDICIÓN CRÍTICA. LÍMITE DEL CONTROL PASIVO.			
Tipo de clima	**TEMPLADO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**

*Normalmente en este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONDICIÓN CRÍTICA. LÍMITE DEL CONTROL PASIVO.			
Tipo de clima	**FRÍO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**

*En este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

Tabla 48. Evaluación de los parámetros físicos conforme al requerimiento: CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (DISMINUCIÓN)

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (DISMINUCIÓN)					
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Grandes volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.1.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.1.c.	Volumetría de edificaciones baja.	2	
		1.1.1.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	≥a 5 niveles	4	
		1.1.2.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.2.c.	≤ 2 niveles	2	
		1.1.2.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.2.	Sombras	1.2.1.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		1.2.1.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		1.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		1.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Volumetría de edificaciones baja.	4	
		1.1.1.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.1.c.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	2	
		1.1.1.d.	Grandes volúmenes de edificaciones.	1	

1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	≤ 2 niveles	4
		1.1.2.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3
		1.1.2.c.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	2
		1.1.2.d.	≥a 5 niveles	1
1.2.	Sombras	1.2.1.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		1.2.1.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3
		1.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		1.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLA (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**TEMPLADO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**

*Normalmente en este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLA (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**FRÍO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**

*En este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLA (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**

	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
2.2.	**Vegetación**				
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4	
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3	
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2	
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1	
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	

		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLA (DISMINUCIÓN)					
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
2.1.	**Material de vialidad**				
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	4	
		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	3	
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	2	
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	1	
2.2.	**Vegetación**				
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4	
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3	
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2	
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1	
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLA (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**TEMPLADO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**

*Normalmente en este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLA (DISMINUCIÓN)

Tipo de clima	FRÍO	Parámetro físico	2. VIALIDADES

*En este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLA (DISMINUCIÓN)					
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	
		3.1.c.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2	
		3.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1	
3.4.	**Vegetación**				
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4	
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3	
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2	
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1	
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLA (DISMINUCIÓN)					
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	

		3.1.b.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3
		3.1.c.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2
		3.1.d.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1
3.4.	**Vegetación**			
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLA (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**TEMPLADO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**

*Normalmente en este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLA (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**FRÍO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**

*En este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

Tabla 49. Evaluación de los parámetros físicos conforme al requerimiento: CONTROL DE LA TEMPERATURA RADIANTE (DISMINUCIÓN).

CONTROL DE LA TEMPERATURA RADIANTE (DISMINUCIÓN)					
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Grandes volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.1.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.1.c.	Volumetría de edificaciones baja.	2	
		1.1.1.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	≥a 5 niveles	4	
		1.1.2.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.2.c.	≤ 2 niveles	2	
		1.1.2.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.2.	Sombras	1.2.1.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		1.2.1.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		1.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		1.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	

Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Volumetría de edificaciones baja.	4	
		1.1.1.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	

		1.1.1.c.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	2
		1.1.1.d.	Grandes volúmenes de edificaciones.	1
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	≤ 2 niveles	4
		1.1.2.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3
		1.1.2.c.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	2
		1.1.2.d.	≥a 5 niveles	1
1.2.	Sombras	1.2.1.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		1.2.1.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3
		1.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		1.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

CONTROL DE LA TEMPERATURA RADIANTE (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**TEMPLADO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**

*Normalmente en este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONTROL DE LA TEMPERATURA RADIANTE (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**FRÍO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**

*En este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONTROL DE LA TEMPERATURA RADIANTE (DISMINUCIÓN)					
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
2.1.	**Material de vialidad**				
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	4	

		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	3
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	2
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	1
2.1.2.	Tipo de material	2.1.2.a.	Mayor % de suelo natural	4
		2.1.2.b.	Mayor % de materiales pétreos	3
		2.1.2.c.	Mayor % de material hormigón	2
		2.1.2.d.	Mayor % de material asfáltico	1
2.1.3.	albedo	2.1.3.a.	Mayor superficie con un % aproximado entre 21 - 45 % de albedo	4
		2.1.3.b.	Mayor superficie con un % aproximadamente ≥ 45 % de albedo	3
		2.1.3.c.	Mayor superficie con un % aproximado entre 6 - 20 % de albedo	2
		2.1.3.d.	Mayor superficie con un % aproximado < del 5% de albedo	1
2.1.4.	Temperatura Superficial	2.1.4.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4
		2.1.4.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3
		2.1.4.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2
		2.1.4.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1
2.2.	**Vegetación**			
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3

		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	

CONTROL DE LA TEMPERATURA RADIANTE (DISMINUCIÓN)					
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
2.1.	**Material de vialidad**				
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	4	
		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	3	
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	2	
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	1	
2.1.2.	Tipo de material	2.1.2.a.	Mayor % de materiales pétreos	4	
		2.1.2.b.	Mayor % de suelo natural	3	
		2.1.2.c.	Mayor % de material hormigón	2	
		2.1.2.d.	Mayor % de material asfáltico	1	
2.1.3.	albedo	2.1.3.a.	Mayor superficie con un % aproximado entre 21 - 45 % de albedo	4	
		2.1.3.b.	Mayor superficie con un % aproximadamente ≥ 45 % de albedo	3	
		2.1.3.c.	Mayor superficie con un % aproximado entre 6 - 20 % de albedo	2	
		2.1.3.d.	Mayor superficie con un % aproximado < del 5% de albedo	1	
2.1.4.	Temperatura Superficial	2.1.4.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4	
		2.1.4.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3	
		2.1.4.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2	
		2.1.4.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1	

2.2.	**Vegetación**			
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

CONTROL DE LA TEMPERATURA RADIANTE (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**TEMPLADO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**

*Normalmente en este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONTROL DE LA TEMPERATURA RADIANTE (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**FRÍO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**

*En este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONTROL DE LA TEMPERATURA RADIANTE (DISMINUCIÓN)					
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	
		3.1.c.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2	
		3.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1	

3.2.	**Cuerpos de agua**	3.2.a.	Muy Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	4
		3.2.b.	Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	3
		3.2.c.	Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	2
		3.2.d.	Muy Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	1
3.3.	**Temperatura superficial**	3.3.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4
		3.3.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3
		3.3.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2
		3.3.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1
3.4.	**Vegetación**			
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

CONTROL DE LA TEMPERATURA RADIANTE (DISMINUCIÓN)					
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	

		3.1.c.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2
		3.1.d.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1
3.2.	**Cuerpos de agua**	3.2.a.	Muy Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	4
		3.2.b.	Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	3
		3.2.c.	Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	2
		3.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	1
3.3.	**Temperatura superficial**	3.3.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4
		3.3.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3
		3.3.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2
		3.3.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1
3.4.	**Vegetación**			
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

CONTROL DE LA TEMPERATURA RADIANTE (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**TEMPLADO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**

*Normalmente en este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONTROL DE LA TEMPERATURA RADIANTE (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**FRÍO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**

*En este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

Tabla 50. Evaluación de los parámetros físicos conforme al requerimiento: CONTROL DE LA HUMEDAD (DISMINUCIÓN)

CONTROL DE LA HUMEDAD (DISMINUCIÓN)					
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**		
			Estado	**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.1.b.	Grandes volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.1.c.	Volumetría de edificaciones baja.	2	
		1.1.1.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.2.b.	≥a 5 niveles	3	
		1.1.2.c.	≤ 2 niveles	2	
		1.1.2.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.2.	Sombras	1.2.1.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		1.2.1.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		1.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		1.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Volumetría de edificaciones baja.	4	
		1.1.1.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.1.c.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	2	
		1.1.1.d.	Grandes volúmenes de edificaciones.	1	

1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	≤ 2 niveles	4
		1.1.2.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3
		1.1.2.c.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	2
		1.1.2.d.	≥a 5 niveles	1
1.2.	Sombras	1.2.1.a	Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		1.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	3
		1.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		1.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

CONTROL DE LA HUMEDAD (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**TEMPLADO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**

*Normalmente en este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONTROL DE LA HUMEDAD (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**FRÍO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**

*En este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONTROL DE LA HUMEDAD (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**

Indicador		**Estado**		**Valor**	**Puntaje**
2.1.	**Material de vialidad**				
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	4	
		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	3	
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	2	
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	1	

2.1.2.	Tipo de material	2.1.2.a.	Mayor % de materiales petreos	4
		2.1.2.b.	Mayor % de suelo natural	3
		2.1.2.c.	Mayor % de material hormigón	2
		2.1.2.d.	Mayor % de material asfáltico	1
2.1.3.	albedo	2.1.3.a.	Mayor superficie con un % aproximado entre 21 - 45 % de albedo	4
		2.1.3.b.	Mayor superficie con un % aproximado entre 6 - 20 % de albedo	3
		2.1.3.c.	Mayor superficie con un % aproximadamente ≥ 45 % de albedo	2
		2.1.3.d.	Mayor superficie con un % aproximado < del 5% de albedo	1
2.1.4.	Temperatura Superficial	2.1.4.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4
		2.1.4.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3
		2.1.4.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2
		2.1.4.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1
2.2.	**Vegetación**			
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

	CONTROL DE LA HUMEDAD (DISMINUCIÓN)				
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**

2.1.	**Material de vialidad**			
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	4
		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	3
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	2
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	1
2.1.2.	Tipo de material	2.1.2.a.	Mayor % de materiales petreos	4
		2.1.2.b.	Mayor % de material hormigón	3
		2.1.2.c.	Mayor % de suelo natural	2
		2.1.2.d.	Mayor % de material asfáltico	1
2.1.3.	albedo	2.1.3.a.	Mayor superficie con un % aproximado entre 21 - 45 % de albedo	4
		2.1.3.b.	Mayor superficie con un % aproximadamente ≥ 45 % de albedo	3
		2.1.3.c.	Mayor superficie con un % aproximado entre 6 - 20 % de albedo	2
		2.1.3.d.	Mayor superficie con un % aproximado < del 5% de albedo	1
2.1.4.	Temperatura Superficial	2.1.4.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4
		2.1.4.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3
		2.1.4.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2
		2.1.4.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1
2.2.	**Vegetación**			
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2

		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

CONTROL DE LA HUMEDAD (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**TEMPLADO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**

*Normalmente en este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONTROL DE LA HUMEDAD (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**FRÍO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**

*En este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONTROL DE LA HUMEDAD (DISMINUCIÓN)					
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	
		3.1.c.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2	
		3.1.d.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1	
3.2.	**Cuerpos de agua**	3.2.a.	Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	4	
		3.2.b.	Muy Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	3	
		3.2.c.	Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	2	
		3.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	1	
3.3.	**Temperatura superficiel**	3.3.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4	
		3.3.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3	

		3.3.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2
		3.3.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1
3.4.	**Vegetación**			
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

CONTROL DE LA HUMEDAD (DISMINUCIÓN)					
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	
		3.1.c.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2	
		3.1.d.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1	
3.2.	**Cuerpos de agua**	3.2.a.	Muy Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	4	
		3.2.b.	Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	3	
		3.2.c.	Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	2	
		3.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	1	

3.3.	**Temperatura superficial**	3.3.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4
		3.3.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3
		3.3.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2
		3.3.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1
3.4.	**Vegetación**			
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	1

CONTROL DE LA HUMEDAD (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**TEMPLADO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**

*Normalmente en este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONTROL DE LA HUMEDAD (DISMINUCIÓN)			
Tipo de clima	**FRÍO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**

*En este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

Tabla 51. Evaluación de los parámetros físicos conforme al requerimiento: CONFINAMIENTO. ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO.

CONFINAMIENTO. ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO					
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**		**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**	
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Grandes volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.1.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.1.c.	Volumetría de edificaciones baja.	2	
		1.1.1.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	≥a 5 niveles	4	
		1.1.2.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.2.c.	≤ 2 niveles	2	
		1.1.2.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**		**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**	
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Volumetría de edificaciones baja.	4	
		1.1.1.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.1.c.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	2	
		1.1.1.d.	Grandes volúmenes de edificaciones.	1	
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	≤ 2 niveles	4	

		1.1.2.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3
		1.1.2.c.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	2
		1.1.2.d.	≥a 5 niveles	1
1.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

CONFINAMIENTO. ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO					
Tipo de clima	**TEMPLADO**		**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**	
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.1.b.	Grandes volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.1.c.	Volumetría de edificaciones baja.	2	
		1.1.1.d.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	1	
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.2.b.	≤ 2 niveles	3	
		1.1.2.c.	≥a 5 niveles	2	
		1.1.2.d.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	1	
1.2.	Sombras	2.2.2.a	Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	1	

CONFINAMIENTO. ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO			
Tipo de clima	**FRÍO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**

*En este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONFINAMIENTO. ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO					
Tipo de clima	CÁLIDO-SECO		Parámetro físico	2. VIALIDADES	
Indicador			Estado	Valor	Puntaje
2.1.	**Material de vialidad**				
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	4	
		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	3	
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	2	
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	1	
2.1.2.	Tipo de material	2.1.2.a.	Mayor % de suelo natural	4	
		2.1.2.b.	Mayor % de materiales petreos	3	
		2.1.2.c.	Mayor % de material hormigón	2	
		2.1.2.d.	Mayor % de material asfáltico	1	
2.1.3.	albedo	2.1.3.a.	Mayor superficie con un % aproximado entre 21 - 45 % de albedo	4	
		2.1.3.b.	Mayor superficie con un % aproximadamente ≥ 45 % de albedo	3	
		2.1.3.c.	Mayor superficie con un % aproximado entre 6 - 20 % de albedo	2	
		2.1.3.d.	Mayor superficie con un % aproximado < del 5% de albedo	1	
2.1.4.	Temperatura Superficial	2.1.4.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4	
		2.1.4.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3	
		2.1.4.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2	
		2.1.4.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1	

2.2.	**Vegetación**			
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

CONFINAMIENTO. ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO				
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**	
Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
2.1.	**Material de vialidad**			
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	4
		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	3
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	2
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	1
2.1.2.	Tipo de material	2.1.2.a.	Mayor % de materiales petreos	4
		2.1.2.b.	Mayor % de suelo natural	3
		2.1.2.c.	Mayor % de material hormigón	2
		2.1.2.d.	Mayor % de material asfáltico	1
2.1.3.	albedo	2.1.3.a.	Mayor superficie con un % aproximado entre 21 - 45 % de albedo	4

		2.1.3.b.	Mayor superficie con un % aproximadamente ≥ 45 % de albedo	3
		2.1.3.c.	Mayor superficie con un % aproximado entre 6 - 20 % de albedo	2
		2.1.3.d.	Mayor superficie con un % aproximado < del 5% de albedo	1
2.1.4.	Temperatura Superficial	2.1.4.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4
		2.1.4.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3
		2.1.4.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2
		2.1.4.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1
2.2.	**Vegetación**			
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

CONFINAMIENTO. ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO				
Tipo de clima	**TEMPLADO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**	
Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
2.1.	**Material de vialidad**			
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	4
		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	3

		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	2
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	1
2.1.2.	Tipo de material	2.1.2.a.	Mayor % de materiales petreos	4
		2.1.2.b.	Mayor % de suelo natural	3
		2.1.2.c.	Mayor % de material hormigón	2
		2.1.2.d.	Mayor % de material asfáltico	1
2.1.3.	albedo	2.1.3.a.	Mayor superficie con un % aproximado entre 21 - 45 % de albedo	4
		2.1.3.b.	Mayor superficie con un % aproximadamente ≥ 45 % de albedo	3
		2.1.3.c.	Mayor superficie con un % aproximado entre 6 - 20 % de albedo	2
		2.1.3.d.	Mayor superficie con un % aproximado < del 5% de albedo	1
2.1.4.	Temperatura Superficial	2.1.4.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4
		2.1.4.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3
		2.1.4.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2
		2.1.4.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1
2.2.	**Vegetación**			
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Alto porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

CONFINAMIENTO. ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO			
Tipo de clima	FRÍO	Parámetro físico	2. VIALIDADES

*En este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

CONFINAMIENTO. ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO			
Tipo de clima	CÁLIDO-SECO	Parámetro físico	3. ESPACIOS ABIERTOS

	Indicador		Estado	Valor	Puntaje
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	
		3.1.c.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2	
		3.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1	
3.2.	**Cuerpos de agua**	3.2.a.	Muy Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	4	
		3.2.b.	Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	3	
		3.2.c.	Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	2	
		3.2.d.	Muy Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	1	
3.3.	**Temperatura superficial**	3.3.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4	
		3.3.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3	
		3.3.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2	
		3.3.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1	
3.4.	**Vegetación**				
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4	
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3	
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2	
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1	
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	

		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	

CONFINAMIENTO. ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO					
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**		**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**	
Indicador			**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	
		3.1.c.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2	
		3.1.d.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1	
3.2.	**Cuerpos de agua**	3.2.a.	Muy Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	4	
		3.2.b.	Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	3	
		3.2.c.	Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	2	
		3.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	1	
3.3.	**Temperatura superficial**	3.3.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4	
		3.3.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3	
		3.3.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2	
		3.3.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1	
3.4.	**Vegetación**				
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4	
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3	
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2	
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1	
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	

		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1

CONFINAMIENTO. ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO					
Tipo de clima		TEMPLADO	Parámetro físico	3. ESPACIOS ABIERTOS	
	Indicador		Estado	Valor	Puntaje
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	
		3.1.c.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2	
		3.1.d.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1	
3.2.	**Cuerpos de agua**	3.2.a.	Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	4	
		3.2.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	3	
		3.2.c.	Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	2	
		3.2.d.	Muy Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	1	
3.3.	**Temperatura superficial**	3.3.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4	
		3.3.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3	
		3.3.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2	
		3.3.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1	
3.4.	**Vegetación**				
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4	
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3	
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2	
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1	
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	

2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada		1
CONFINAMIENTO. ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO			
Tipo de clima	**FRÍO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**

*En este tipo de clima no se llega a una condición crítica por altas temperaturas y/o alta humedad relativa.

Tabla 52. Evaluación de los parámetros físicos conforme al requerimiento: CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (AUMENTO).

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (AUMENTO)					
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**		
*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante					
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**		
*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante					
CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (AUMENTO)					
Tipo de clima	**TEMPLADO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.1.b.	Volumetría de edificaciones baja.	3	
		1.1.1.c.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	2	
		1.1.1.d.	Grandes volúmenes de edificaciones.	1	
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.2.b.	≤ 2 niveles	3	
		1.1.2.c.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	2	
		1.1.2.d.	≥a 5 niveles	1	
1.2.	Sombras	2.2.2.a	Bajo porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Alto porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	1	
CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (AUMENTO)					

Tipo de clima	FRÍO	Parámetro físico	1. EDIFICACIONES		
	Indicador		Estado	Valor	Puntaje
1.1.	Densidad edificatoria				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Volumetría de edificaciones baja.	4	
		1.1.1.b.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	3	
		1.1.1.c.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	2	
		1.1.1.d.	Grandes volúmenes de edificaciones.	1	
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	≤ 2 niveles	4	
		1.1.2.b.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	3	
		1.1.2.c.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	2	
		1.1.2.d.	≥a 5 niveles	1	
1.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Alto porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	1	

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (AUMENTO)			
Tipo de clima	CÁLIDO-SECO	Parámetro físico	2. VIALIDADES

*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (AUMENTO)			
Tipo de clima	CÁLIDO-HÚMEDO	Parámetro físico	2. VIALIDADES

*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (AUMENTO)			
Tipo de clima	TEMPLADO	Parámetro físico	2. VIALIDADES

	Indicador		Estado	Valor	Puntaje
2.1.	**Material de vialidad**				
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	4	
		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	3	
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	2	
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	1	
2.2.	**Vegetación**				
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4	
		2.2.1.b.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3	
		2.2.1.c.	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2	
		2.2.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1	
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Alto porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	1	

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (AUMENTO)

Tipo de clima	**FRÍO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**

	Indicador		Estado	Valor	Puntaje
2.1.	**Material de vialidad**				
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	4	

		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	3
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	2
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	1
2.2.	**Vegetación**			
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Alto porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	1

*La vegetación presente debe ser preferentemente caducifolia

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (AUMENTO)			
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**

*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (AUMENTO)			
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**

*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (AUMENTO)

	Tipo de clima	TEMPLADO	Parámetro físico	3. ESPACIOS ABIERTOS		
	Indicador		**Estado**		**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos		4	
		3.1.b.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos		3	
		3.1.c.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos		2	
		3.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos		1	
3.4.	**Vegetación**					
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)		4	
		2.2.1.b.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)		3	
		2.2.1.c.	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)		2	
		2.2.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)		1	
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada		4	
		2.2.2.b.	Bajo porcentaje de superficie sombreada		3	
		2.2.2.c.	Alto porcentaje de superficie sombreada		2	
		2.2.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada		1	

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (AUMENTO)

	Tipo de clima	FRÍO	Parámetro físico	3. ESPACIOS ABIERTOS		
	Indicador		**Estado**		**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos		4	
		3.1.b.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos		3	
		3.1.c.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos		2	
		3.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos		1	
3.4.	**Vegetación**					
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)		4	

		2.2.1.b.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Bajo porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Alto porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	1

*La vegetación presente debe ser preferentemente caducifolia y preferentemente dispuesta como barrera contra el viento

Tabla 53. Evaluación de los parámetros físicos conforme al requerimiento: AUMENTO DE LA TEMPERATURA RADIANTE.

AUMENTO DE LA TEMPERATURA RADIANTE			
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**
*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante			
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**
*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante			

AUMENTO DE LA TEMPERATURA RADIANTE					
Tipo de clima	**TEMPLADO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.1.b.	Volumetría de edificaciones baja.	3	
		1.1.1.c.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	2	
		1.1.1.d.	Grandes volúmenes de edificaciones.	1	
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.2.b.	≤ 2 niveles	3	
		1.1.2.c.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	2	
		1.1.2.d.	≥a 5 niveles	1	
1.2.	Sombras	2.2.2.a	Bajo porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Alto porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	1	

AUMENTO DE LA TEMPERATURA RADIANTE					
Tipo de clima	**FRÍO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Volumetría de edificaciones baja.	4	
		1.1.1.b.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	3	
		1.1.1.c.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	2	
		1.1.1.d.	Grandes volúmenes de edificaciones.	1	
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	≤ 2 niveles	4	
		1.1.2.b.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	3	
		1.1.2.c.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	2	
		1.1.2.d.	≥a 5 niveles	1	
1.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Alto porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	1	

AUMENTO DE LA TEMPERATURA RADIANTE			
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**

*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante

AUMENTO DE LA TEMPERATURA RADIANTE			
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**

*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante

AUMENTO DE LA TEMPERATURA RADIANTE					
Tipo de clima	TEMPLADO	Parámetro físico	2. VIALIDADES		
Indicador		Estado		Valor	Puntaje
2.1.	**Material de vialidad**				
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	4	
		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	3	
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	2	
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	1	
2.2.	**Vegetación**				
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4	
		2.2.1.b.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3	
		2.2.1.c.	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2	
		2.2.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1	
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Alto porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	1	

AUMENTO DE LA TEMPERATURA RADIANTE					
Tipo de clima	FRÍO	Parámetro físico	2. VIALIDADES		
Indicador		Estado		Valor	Puntaje
2.1.	**Material de vialidad**				

2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	4
		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	3
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	2
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	1
2.2.	**Vegetación**			
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Alto porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	1

*La vegetación presente debe ser preferentemente caducifolia

AUMENTO DE LA TEMPERATURA RADIANTE			
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**

*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante

AUMENTO DE LA TEMPERATURA RADIANTE			
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**

*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante

AUMENTO DE LA TEMPERATURA RADIANTE					
Tipo de clima	**TEMPLADO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	
		3.1.c.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2	
		3.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1	
3.4.	**Vegetación**				
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4	
		2.2.1.b.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3	
		2.2.1.c.	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2	
		2.2.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1	
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Alto porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	1	

AUMENTO DE LA TEMPERATURA RADIANTE					
Tipo de clima	**FRÍO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	
		3.1.c.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2	
		3.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1	

3.4.	**Vegetación**			
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Bajo porcentaje de superficie sombreada	4
		2.2.2.b.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	3
		2.2.2.c.	Alto porcentaje de superficie sombreada	2
		2.2.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	1

*La vegetación presente debe ser preferentemente caducifolia y preferentemente dispuesta como barrera contra el viento

Tabla 54. Evaluación de los parámetros físicos conforme al requerimiento: CONTROL DEL VIENTO. CONFINAMIENTO.

CONTROL DEL VIENTO. CONFINAMIENTO					
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**		**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**	
*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante					
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**		**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**	
*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante					
CONTROL DEL VIENTO. CONFINAMIENTO					
Tipo de clima	**TEMPLADO**		**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**	
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Volumetría de edificaciones baja.	4	
		1.1.1.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.1.c.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	2	
		1.1.1.d.	Grandes volúmenes de edificaciones.	1	
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.2.b.	≤ 2 niveles	3	
		1.1.2.c.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	2	
		1.1.2.d.	≥a 5 niveles	1	
CONTROL DEL VIENTO. CONFINAMIENTO					
Tipo de clima	**FRÍO**		**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**	
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**

1.1.	**Densidad edificatoria**			
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Grandes volúmenes de edificaciones.	4
		1.1.1.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3
		1.1.1.c.	Volumetría de edificaciones baja.	2
		1.1.1.d.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	1
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	≥a 5 niveles	4
		1.1.2.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3
		1.1.2.c.	≤ 2 niveles	2
		1.1.2.d.	Grandes predios vacíos/baldíos distribuidos.	1

CONTROL DEL VIENTO. CONFINAMIENTO			
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**

*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante

CONTROL DEL VIENTO. CONFINAMIENTO			
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**

*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante

CONTROL DEL VIENTO. CONFINAMIENTO			
Tipo de clima	**TEtemplado**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**

	Indicador		**Estado**	**Valor** **Puntaje**
2.1.	**Material de vialidad**			

2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	4
		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	3
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	2
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	1
2.2.	**Vegetación**			
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1

CONTROL DEL VIENTO. CONFINAMIENTO				
Tipo de clima	**FRÍO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**	
Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
2.1.	**Material de vialidad**			
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	4
		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	3
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	2
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volumen de las edificaciones.	1
2.2.	**Vegetación**			

2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1

*La vegetación presente debe ser preferentemente caducifolia

CONTROL DEL VIENTO. CONFINAMIENTO			
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**

*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante

CONTROL DEL VIENTO. CONFINAMIENTO			
Tipo de clima	**CÁLIDO-HÚMEDO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**

*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante

CONTROL DEL VIENTO. CONFINAMIENTO			
Tipo de clima	**TEMPLADO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**

	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	
		3.1.c.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2	
		3.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1	
3.4.	**Vegetación**				

3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4
		2.2.1.b.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3
		2.2.1.c.	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2
		2.2.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1

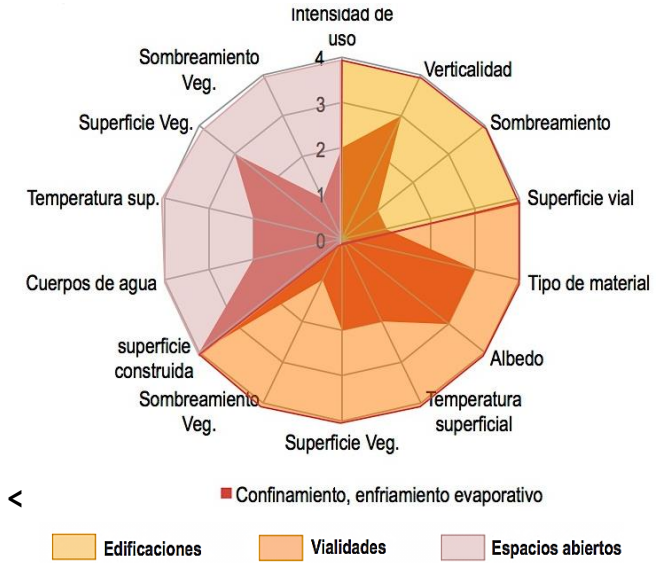
CONTROL DEL VIENTO. CONFINAMIENTO					
Tipo de clima	**FRÍO**		**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**	
Indicador			**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	
		3.1.c.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2	
		3.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1	
3.4.	**Vegetación**				
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4	
		2.2.1.b.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3	
		2.2.1.c.	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2	
		2.2.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1	

*La vegetación presente debe ser preferentemente caducifolia y preferentemente dispuesta como barrera contra el viento

3.5.3. Análisis de resultados de la evaluación

Así pues, una vez se haya aplicado toda la evaluación a la ciudad analizada, se procederá a graficar, describir y analizar los resultados obtenidos, en contraste con lo que, de acuerdo al clima y los requerimientos del entorno, deberían de estar conformados los parámetros físicos. En este caso se recomienda emplear en primer término, las gráficas de tipo Radar, las cuales permiten visualizar los resultados de los diferentes indicadores de los parámetros físicos para cada tipo de requerimiento del entorno. Por ejemplo, ver figura 35:

Figura 35. Ejemplo de gráfica de radar para el análisis de resultados de la evaluación realizada.



Fuente: elaboración propia

Asimismo, uno de los objetivos de este apartado, es el de esclarecer, en caso de ser necesario, algunas de las puntuaciones otorgadas en la evaluación, o el criterio que se empleó en algún caso en particular. Lo cual puede ser dentro de la descripción de los resultados de cada uno de los indicadores por tipo de requerimiento del entorno.

Además de lo anterior, se pueden emplear las herramientas que se consideren necesarias para poder explicar de mejor manera los resultados obtenidos. Estas pueden ser otro tipo de gráficos, imágenes, tablas, etc.

3.6. Fase 6: Recomendaciones para la planificación urbana.

A partir de los resultados obtenidos en la evaluación, se procederá a realizar una serie de recomendaciones para los indicadores de cada tipo de parámetro físico que propone la metodología. De tal manera que estas recomendaciones procuren llevarlos al estado óptimo en torno a los requerimientos del entorno urbano específicos de la ciudad evaluada y conforme a la priorización que se le otorgó a cada tipo de requerimiento. Esto, tomando en cuenta que hay requerimientos que no pueden ser intervenidos de forma pasiva debido al horario en que se demanda (normalmente antes del alba y después del ocaso).

Sin embargo, el procesamiento y presentación de los resultados de la evaluación presentados para cada indicador, por cada tipo de requerimiento del entorno, han pretendido ser lo suficientemente claros para detectar las áreas de oportunidad de cada uno de ellos.

Entonces bien, las recomendaciones deben tener en consideración lo siguiente:

Edificaciones

Normalmente las alturas máximas de las edificaciones, están establecidas en reglamentos de construcción, normas de seguridad, o alguna otra normatividad. Es importante tenerlas en cuenta al momento de realizar algún tipo de recomendación en cuanto a este indicador, ya que podría afectar aspectos, que por cuestiones de seguridad (encontrarse en zona sísmica, por ejemplo), fueron establecidos algún tipo de restricción

Además, puede haber lugares en los que por cuestión cultural, social, económica o incluso ambiental, la verticalidad de las edificaciones o viviendas, tienen una justificación importante que hay que considerar también en la propuesta final.

Vialidades

Se pueden hacer recomendaciones en cuanto a las características de dimensionamiento vial; además de, sugerir el tipo de material de las superficies para el control del albedo y/o temperatura superficial; la cantidad, tipo y distribución de vegetación localizada en estos espacios.

En este caso, también el dimensionamiento suele estar normalizado por una serie de reglamentos y normatividades ya establecidas, por lo que en algunos casos, una recomendación de esta índole, requerirá la implicación de diversas instancias que tengan injerencia en este tema, para establecer conjuntamente procedimientos específicos para poder lograrlo.

Espacios abiertos

En estas áreas se presenta la oportunidad de hacer recomendaciones acerca del dimensionamiento, la cantidad, tipología y disposición de la vegetación en su interior, el empleo de los cuerpos de agua, el tipo de material de su superficie, e incluso, aunque no es el tema de este trabajo, sugerir la implementación o reconfiguración de las zonas recreativas que ahí se encuentren. Este último, de manera muy específica para cada caso de interés.

Asimismo, se debe considerar la implementación de elementos de vegetación acorde a las especies endémicas y considerando los requerimientos de agua para lograr su mantenimiento, además de las características técnicas específicas de cada especie propuesta.

En general, las recomendaciones deben ser con el objetivo de adecuar el medio físico construido de la ciudad analizada, conforme a los requerimientos del entorno específicos para su tipo de clima y características específicas geomorfológicas, de planificación, hídricas, etc.

No obstante, es importante tener en cuenta la viabilidad para llevar a cabo la implementación de cada una de las recomendaciones hechas a partir de los resultados de la evaluación. Es decir, es recomendable optar por aquellas que se pueden implementar de forma sencilla y a corto plazo en las zonas consolidadas y, establecer sugerencias estructurales para las nuevas urbanizaciones.

CAPÍTULO IV

LA CIUDAD DE HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO, COMO ESTUDIO DE CASO

En este capítulo, la ciudad de Hermosillo, Sonora México es empleada como estudio de caso para aplicar toda la metodología de evaluación de la sostenibilidad urbana propuesta en el capítulo anterior.
Se desarrollan las seis fases que comprenden dicha metodología, empleando las herramientas y fuentes de información locales, además de las propuestas; igualmente se llevó a cabo los diferentes procedimientos de cálculo de los diferentes indicadores de los parámetros físicos, a partir del uso de imágenes satelitales, cartografía catastral y de planificación.

4.1. Fase 1: Antecedentes

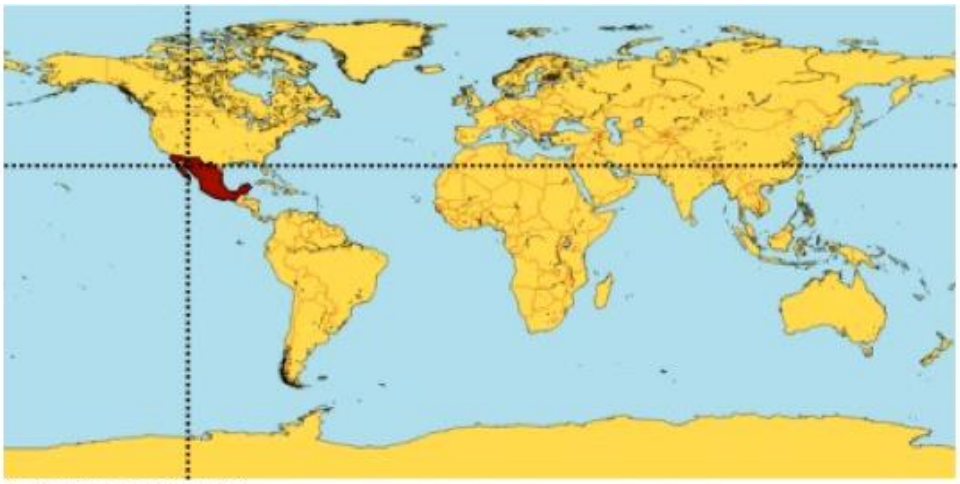
La ciudad de Hermosillo conjuga una serie de características físicas, socio-demográficas, económicas y de planificación urbana, de acuerdo con a su configuración espacial y a su importancia como ciudad capital de una zona metropolitana en la región norte del país.

En este apartado se desarrollan aquellas características de carácter relevante en la gestión y planificación del entorno urbano.

4.1.1. Localización

La ciudad de Hermosillo, siendo cabecera municipal y capital de la entidad federativa, se localiza al noroeste del país, colinda al norponiente con el municipio de Pitiquito, nororiente con Carbó, oriente con Ures, al suroriente con La Colorada, al sur con Guaymas y al poniente con el Mar de Cortés (Océano Pacífico). A su vez, Sonora, el estado al que pertenece, colinda al norte con la zona fronteriza de Estados Unidos de América a partir del municipio de Nogales; al sur con el estado de Sinaloa; al poniente con el estado de Baja California Norte y al este con el estado de Chihuahua (ver figura 36).

Figura 36. Localización de la ciudad de Hermosillo a nivel global, nacional y estatal



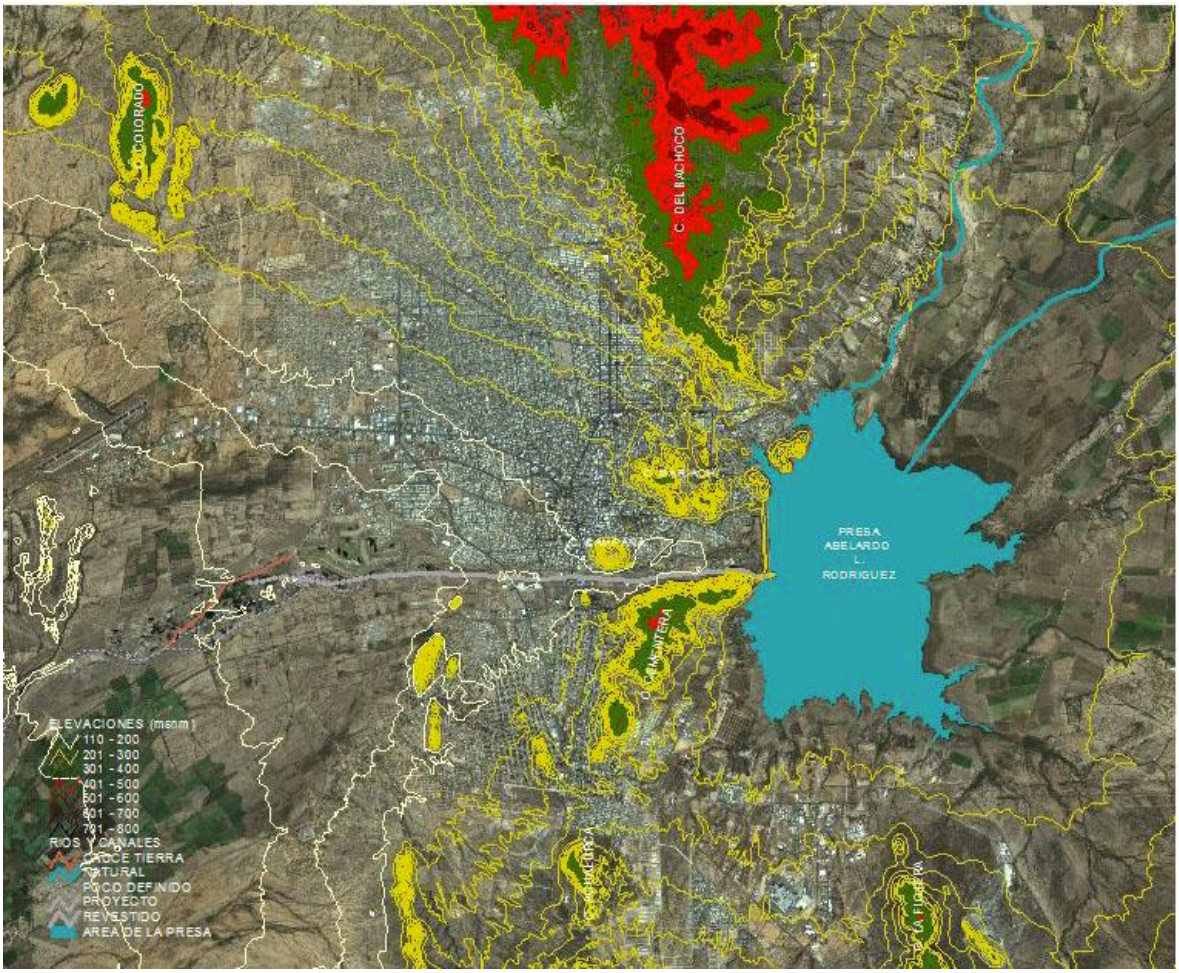
Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Características Geomorfológicas

La ciudad de Hermosillo tiene una extensión territorial de 187 mil 600 hectáreas, donde la mayor parte de la ciudad presenta un terreno sensiblemente plano, a excepción de la zona noreste que contiene una zona montañosa que alcanza una altura hasta de 621 msnm, es decir, 465m de diferencia con respecto al punto más bajo de la ciudad (ver figura 28), propiciando que la pendiente de la ciudad se oriente hacia el lecho del río Sonora.

Al centro-este de la misma, se presentan una serie de peñas que alcanzan alrededor de hasta 465 msnm, así como también al sureste de la localidad. Sin embargo, los puntos orográficos más altos se localizan en la sierra el Bachoco al noreste de la ciudad; mientras que las zonas más bajas, se ubican al poniente colindando con el río Sonora.

Figura 37. Configuración topográfica del Centro de Población de Hermosillo.



Fuente: (IMPLAN, 2006:21)

En general, el centro de población concentra las siguientes 14 elevaciones montañosas:

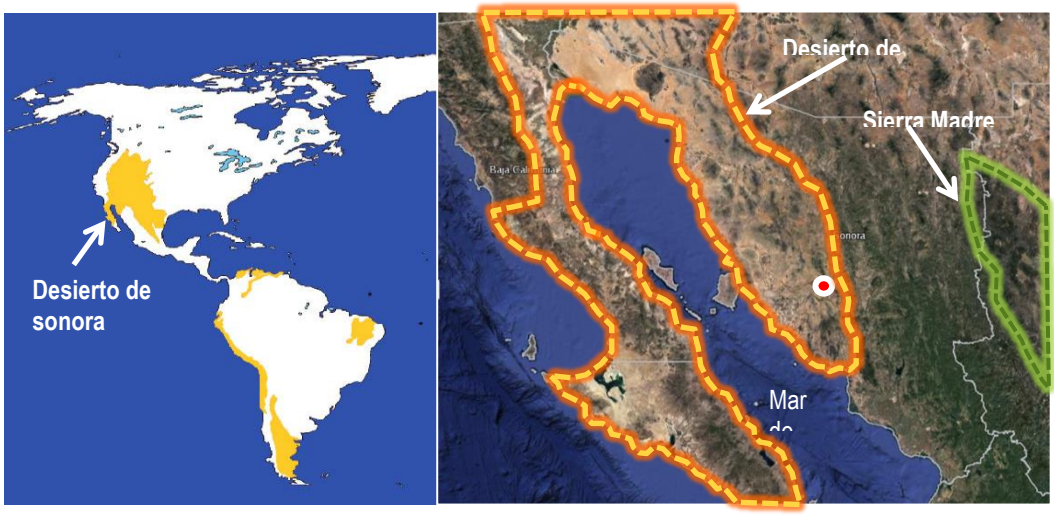
Tabla 55. Principales elevaciones localizadas dentro de la ciudad de Hermosillo

Nombre de la elevación	Ubicación	Longitud (km)	Elevación (msnm)	Orientación
Cerro de la Virgen	Sur	1	370	SE-NO
Sierra Agualurca	Sur	5	635	SE-NO
Sierra Flojera	Oriente	3.5	400	SE-NO
Cerro Akiwiki	Sur	-	-	S-N
Cerro Piedra Bola	Sur	0.75	400	SE-NO
Cerro la Cementera	Oriente	3	400	SO-NE
Cerro de la Campana	Centro	0.5	300	Circular
Cerros el Mariachi	Oriente	0.1, 0.5, 0.25 y 0.35	300	SE-NO y E-O
Sierra El Bachoco	Norte	Más de 18	650	SE-NO
Cerro Colorado (NW)	Noroeste	1.5	500	SE-NO
Cerro Bola	Noroeste	2.75	450	N-S
Cerro Tecoripita	Poniente	1	300	SO-NE
Cerro El Apache	Poniente	0.5	300	SO-NE
Cerro el Colorado (SW)	Suroeste	4	300	SE-NO

Fuente: Programa de Desarrollo Metropolitano de Hermosillo (Gobierno del Estado de Sonora, Ayuntamiento de Hermosillo, & Secretaría de Desarrollo Agrario, 2016:47).

Las zonas naturales de mayor influencia en la ciudad son el desierto de Sonora[26], ya que esta se encuentra inmersa en su territorio; la Sierra Madre Occidental al oriente; y el Mar de Cortés al poniente (ver figura 38). Sin embargo, estas dos últimas, por su lejanía no alcanzan a producir gran efecto en la ciudad, en comparación con las implicaciones que conlleva formar parte de una zona desértica.

Figura 38. Zonas naturales de influencia en la ciudad de Hermosillo



Fuente: elaboración propia con base ejemplode.com, 2017 y Espacio y Datos de México INEGI.

[26] Tiene una extensión de 311,000 km2, abarcando grandes extensiones de Arizona, California de Estados Unidos y México y del estado de Sonora. Es uno de los desiertos y más calurosos y grandes del mundo (Garza, n.d.).

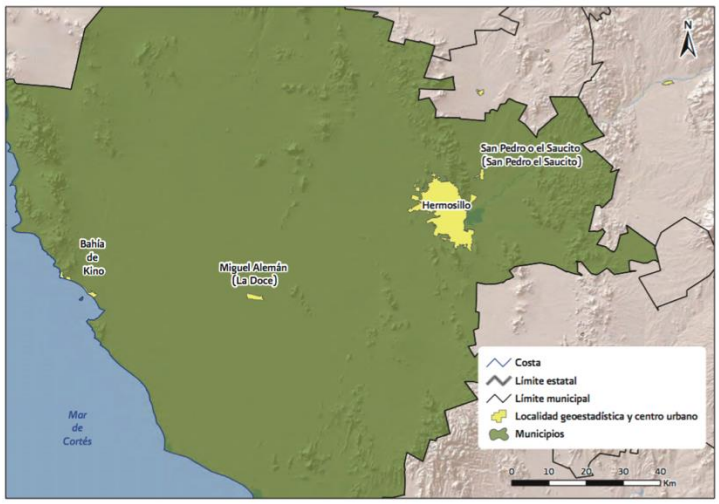
4.1.3. Sistema de planeación urbana

De acuerdo con la Estrategia Territorial Nacional (SEDESOL, 2012) el municipio de Hermosillo se encuentra clasificado dentro de los Sistemas Urbanos Rurales Medios, caracterizados por ser de tamaño medio de población y densidades variables, aunque más bien tienden a ser bajas en comparación con la media nacional.

Su sistema productivo se basa principalmente en la industria y la agroindustria; tienen una consolidación socioeconómica entre media y alta en su mayoría y por tanto, su nivel de bienestar y el grado de marginación suelen ubicarse en un nivel medio; asimismo, su estructura urbana suele ser regular por tamaño de jerarquía funcional y susceptibles a funcionar como redes (PDMH, 2016:39).

Como centro urbano, la ciudad de Hermosillo se constituye de esta manera debido a que carece de conurbaciones con otras localidades (ver figura 39), y por consecuencia, tampoco reune las características de una zona metropolitana[27]. En este caso, concentra el 91% de la población total del municipio y es considerada como una ciudad "alfa" debido al papel que desempeña dentro de la red del Sistema Urbano[28] Principal en la Macro región Noroeste del país.

Figura 39. Centro urbano, Hermosillo



Fuente: Catálogo, Sistema Urbano Nacional (2012:14).

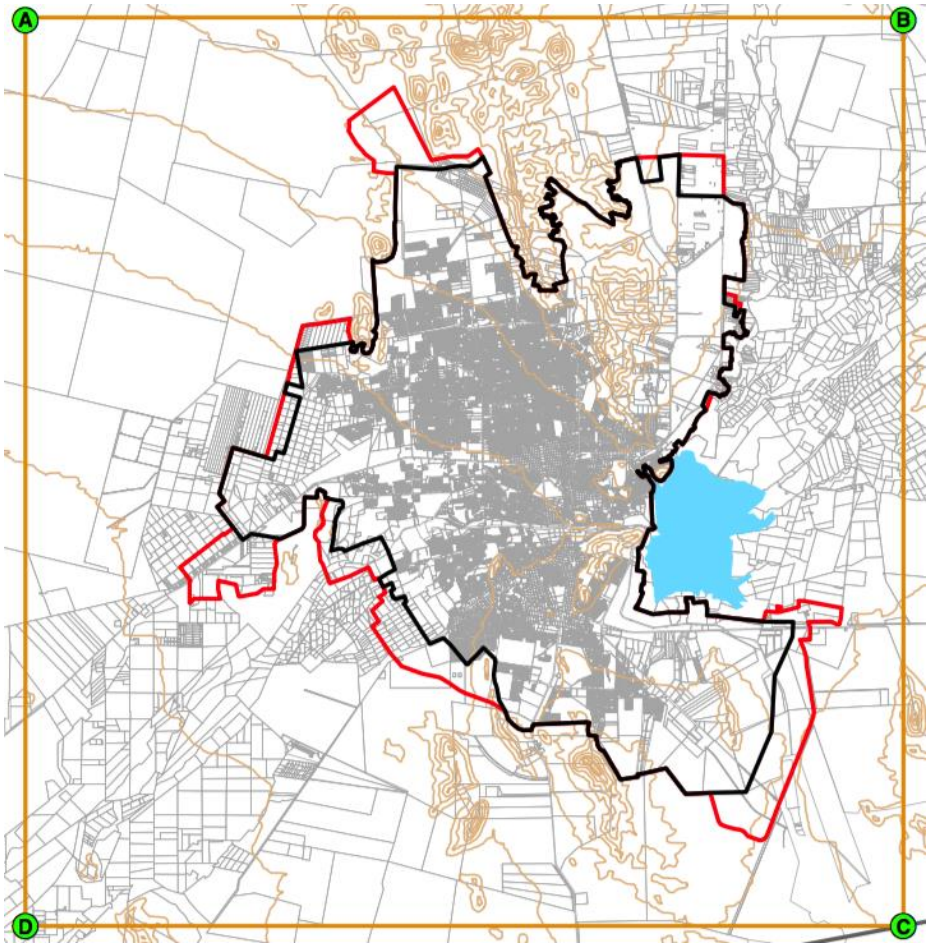
Sin embargo, a partir del año 2016, se reconoce como zona metropolitana la ciudad de Hermosillo en conjunto con 217 las localidades de San Pedro El Saucito, Mesa del Seri, El Tazajal, La Victoria, El Tronconal, Real del Alamito, San Francisco de Batuc, El Saucito, La Yesca, El Realito y Centro de Readaptación Social (ver figura 40); las cuales concentran una población mayor a 100 habitantes. Esto a pesar, que de acuerdo a la clasificación

[27] Agrupación de una sola unidad de municipios completos que comparten una ciudad central y están altamente interrelacionados funcionalmente. También se considera a los centros urbanos mayores a un millón de habitantes, aunque no hayan rebasado su límite municipal y a los centros urbanos de las zonas metropolitanas fronterizas mayores a 250 mil habitantes (Sistema Urbano Nacional, 2012:13).

[28] Es el conjunto de ciudades de 15 mil y más habitantes, que se encuentras relacionadas funcionalmente, en las que cualquier cambio significativo producidas en ellas, genera en mayor o menor medida, alteraciones en las otras (Sistema Urbano Nacional, 2012:11).

del SUN, no cumple con las características físicas en su totalidad. Pero por otro lado, se tiene una gran dependencia como ciudad central por parte de las otras localidades que la integran.

Figura 40. Polígono del Área Metropolitana de Hermosillo

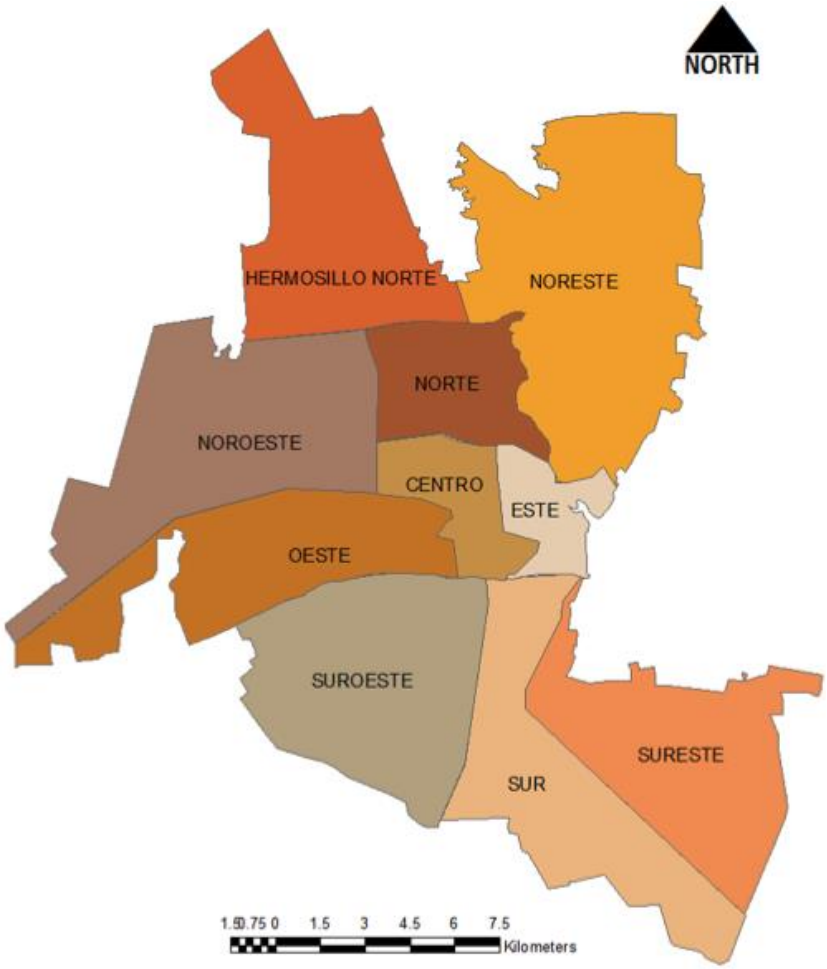


Fuente: Programa de Desarrollo Metropolitano de Hermosillo 2016

Sin embargo, si bien el PDMH es el más actual, este no especifica subdiviciones terriotoriales de planeación, al contrario del Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Hermosillo del 2014, que divide la ciudad en 10 Unidades Territoriales de Planeación (UTP): 1)Hermosillo Norte; 2)Noreste; 3)Noroeste; 4)Norte; 5)Este; 6) Oeste; 7)Centro; 8)Suroeste; 9)Sureste; y 10)Sur (ver imagen 32). En total, abarcan una superficie de 39,103 hectáreas de área urbana Siendo la UTP Noreste la de mayor superficie (7,041 ha) y la Este la de menor superficie (2,077 ha) (ver tabla 56).

Por tanto, para efectos del proceso de evaluación de la ciudad, se tomarán en cuenta estas últimas divisiones; ya que además, debido a su superficie, población e importancia económica y social, únicamente la localidad de Hermosillo es la que se considerará para el estudio detallado, sin dejar de tomar en cuenta la influencia de las áreas circundantes.

Figura 41. Unidades Territoriales de Planeación del Centro de Población de Hermosillo



Fuente: elaboración propia con base en Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Hermosillo 2014.

Tabla 56. Superficie total por Unidad Territorial de Planeación del Centro de Población de Hermosillo.

SUPERFICIE POR SECTOR			
CLAVE	**UNIDAD TERRITORIAL DE PLANEACIÓN**	**SUPERFICIE (hectáreas)**	**%**
SE	Sureste	4,331.60	11.08
S	Sur	4,257.12	10.89
SO	Suroeste	4,980.38	12.74
E	Este	1,077.43	2.76
C	Centro	1,381.77	3.53
O	Oeste	3,892.73	9.95
NO	Noroeste	5,650.65	14.45
HN	Hermosillo Norte	4,486.16	11.47
N	Norte	2,004.29	5.13
NE	Noreste	7,041.25	18.01
	Superficie Total	**39,103.38**	**100.00**

Fuente: elaboración propia con base en Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Pblación de Hermosillo 2014.

4.1.4. Características Demográficas y urbanas

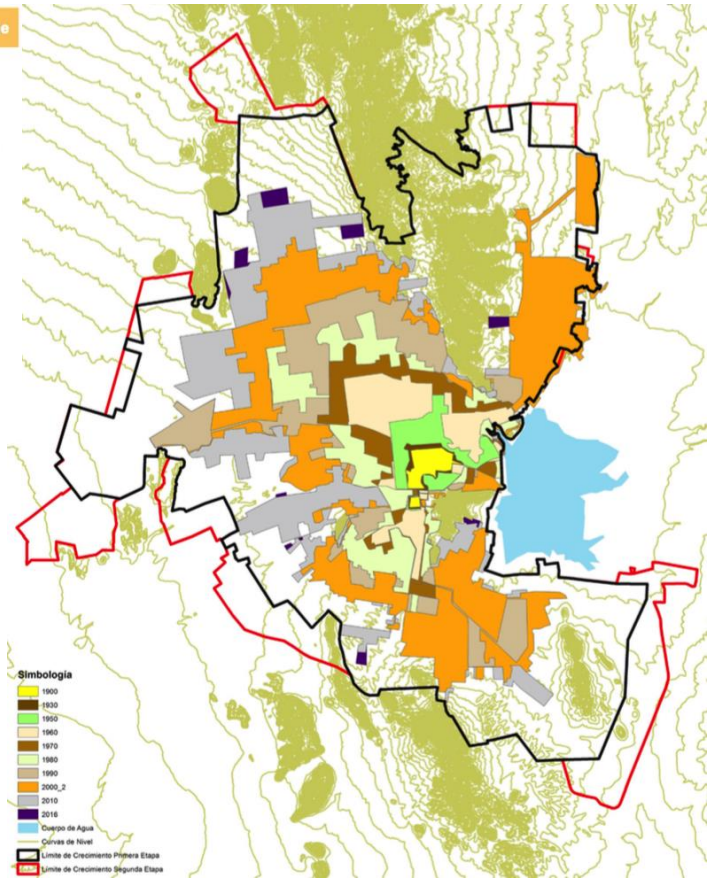
Los orígenes de la ciudad de Hermosillo parten de un asentamiento de carácter militar del siglo XVIII del cual surge la Villa del Pitic en la provincia de Sonora.

Durante el siglo XIX se desarrolló lentamente conformando el Centro Urbano a partir de una retícula generada por canales y acequias que proveían de agua las huertas. Sin embargo, es hasta 1828 que recibe el nombre de Hermosillo como una posible consecuencia del asentamiento de los poderes del Estado (Programa Parcial de Mejoramiento y Conservación del Centro Urbano de Hermosillo, 2000:13-14).

Pero es a partir del siglo XX que la ciudad entra en una dinámica productiva, social y económica más intensa debido a la llegada del ferrocarril, los primeros automóviles, la electricidad, el telégrafo, etc. Esto se puede observar en la figura 33, donde se ve un incremento del suelo urbano de hasta un 193% en el periodo de 1930 a 1950. A partir de este periodo, la intensidad del crecimiento urbano ha ido disminuyendo hasta la actualidad, que al año 2015 ha incrementado un 28% desde el año 2000.

Figura 42. Crecimiento urbano del centro de población de Hermosillo 1900-2015.

Año	Superficie HAS.	Porcentaje
1900	212.11	
1930	290.92	37%
1950	852.54	193%
1960	2,119.42	149%
1970	3,033.89	43%
1980	4,811.51	59%
1990	7,421.85	54%
2000	13,620.00	84%
2010	17,180.00	21%
2015	17,430.00	1.4%

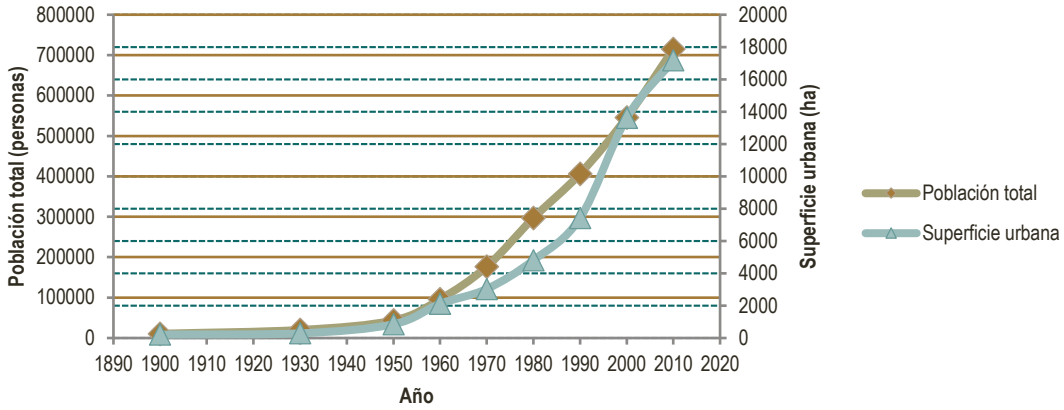


Fuente: Gobierno del Estado de Sonora, Ayuntamiento de Hermosillo, & Secretaría de Desarrollo Agrario, 2016: 78-79)

Por otro lado, el crecimiento poblacional, durante el periodo del 1900 al 2010, se ha dado relativamente similar al crecimiento urbano durante el mismo periodo. Como se puede observar en la figura 43, de 1970 al año 2000, la

tendencia del incremento de la superficie urbana se ve ligeramente disminuida con relación al incremento poblacional. Sin embargo, este fenómeno se vuelve a mantener casi igual para el año 2010.

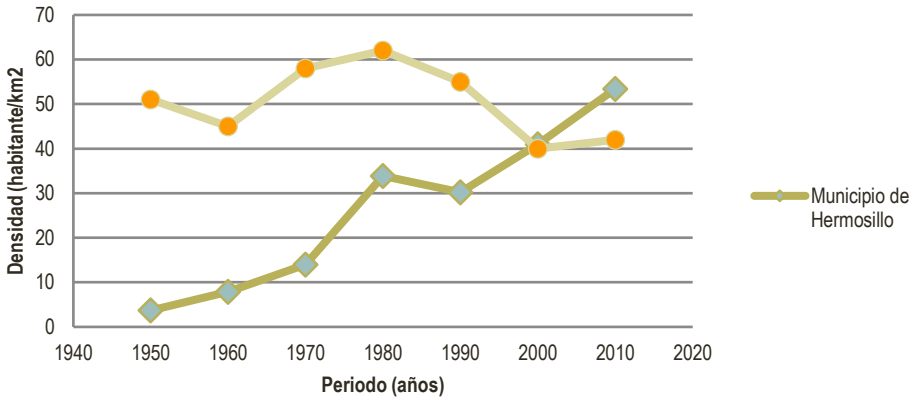
Figura 43. Crecimiento poblacional y urbano de 1900 al 2010



Fuente: elaboración propia con base en (INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010)y Figura x.

Sin embargo, la dinámica de crecimiento ha sido diferente en el municipio de Hermosillo, ya que contrario a la ciudad de Hermosillo, este tuvo un descenso más pronunciado en la densidad poblacional durante el periodo de 1980 al año 2000. Que, si bien la ciudad de Hermosillo repuntó en el 2000, en el municipio siguió disminuyendo (ver figura 44). Este fenómeno puede deberse a un fenómeno de migración, por un lado, por parte de habitantes de otras localidades que cambiaron su residencia a la ciudad capital, debido a los servicios que esta tiene, y por otro lado a un proceso de migración hacia Estados Unidos de América.

Figura 44. Densidad poblacional del municipio y la ciudad de Hermosillo

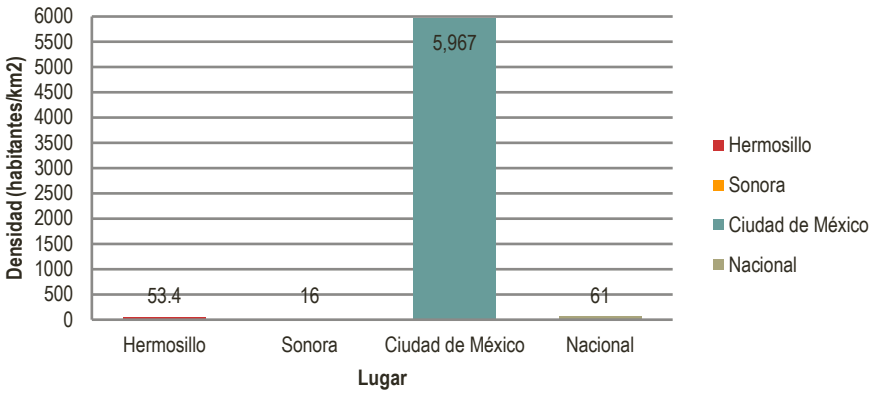


Fuente: elaboración propia con base en figura x y (H. Ayuntamiento de Hermosillo 2012-2015, n.d.)

Así pues, en general, el estado de Sonora tiene una densidad de 16 habitantes/km^2, que en comparación con la media nacional de 61 habitantes/km^2, es baja; o por ejemplo, comparando la ciudad de Hermosillo, con la Ciudad

de México (5,967 habitantes/km^2), aunque las condiciones territoriales son completamente diferentes, esta representa apenas el 0.89% de su densidad (ver figura 45).

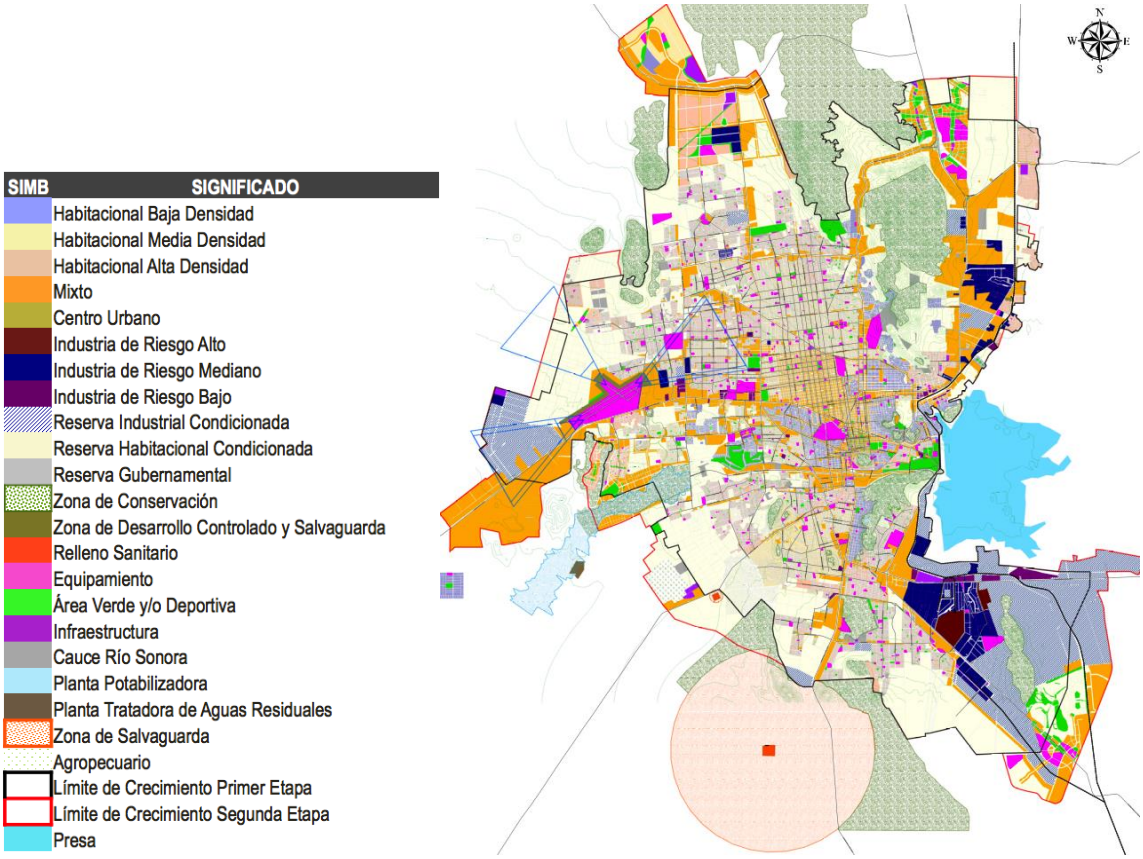
Figura 45. Comparativa de densidades



Fuente: elaboración propia con base en INEGI. México en cifras y cuéntame.inegi.org.mx

Usos de suelo

Figura 46. usos de suelo de la ciudad de Hermosillo



Fuente: IMPLAN, 2014).

4.2. Fase 2: Análisis climático

En este apartado se busca explicar y analizar los factores, fenómenos y condiciones ambientales que dan origen a las características climáticas de la ciudad de Hermosillo. Asimismo, y con base a lo anterior, se busca establecer una serie de requisitos que debiera tener el entorno urbano para que los habitantes puedan llegar a un estado de confort térmico en los espacios exteriores durante un mayor periodo de tiempo.

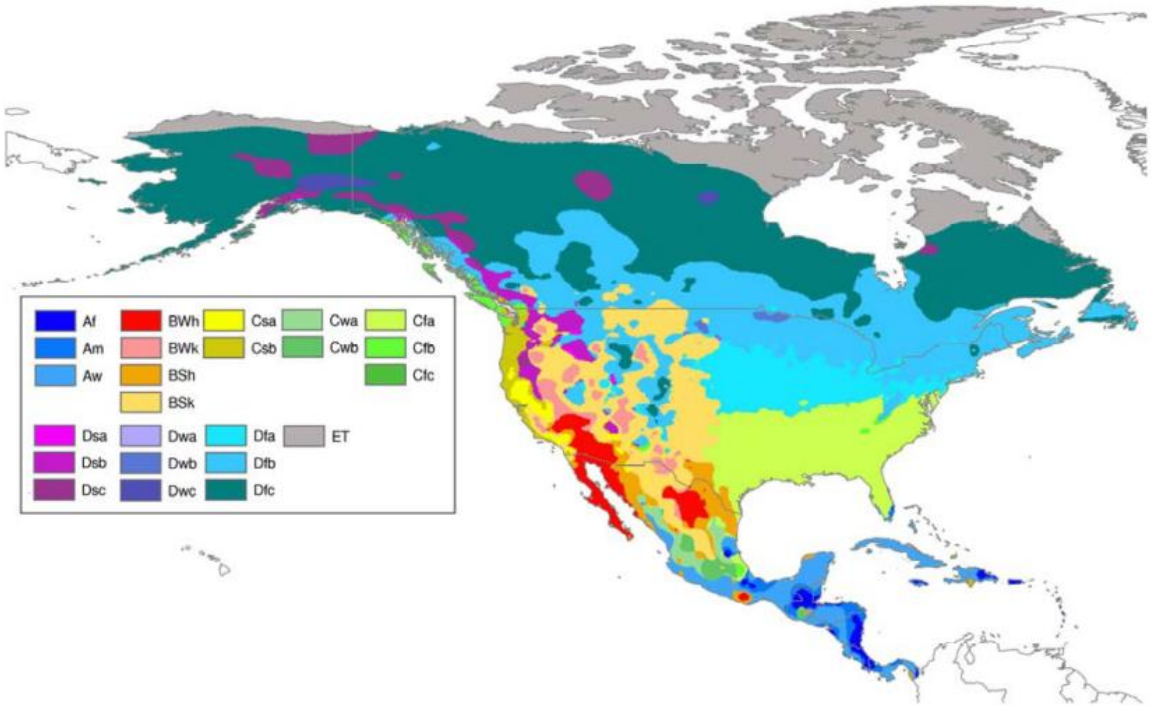
Localización

El municipio de Hermosillo se localiza al surponientejjjjj del estado de Sonora en la latitud norte 29° 04´42", longitud oeste 110°55´48", a una altitud de 211 msnm (Meteonorm, 2010).

Clasificación climática

De acuerdo con la clasificación geográfica de Köppen, Hermosillo tiene un clima *BWh* (ver figura 47) que se caracteriza por ser predominantemente árido y de temperatura cálida seca extremoso, con precipitaciones en verano y escasas el resto del año.

Figura 47. Clasificación climática mundial de Köppen y de América del Norte.



Fuente: (Peel, Finlayson, & McMahon, 2007:1639).

A partir de esta, la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) desarrolló los criterios e indicadores para desarrollos sustentables en México, en los cuales ha establecido una regionalización climática (ver tabla 57).

Tabla 57. Clasificación de ciudades principales de acuerdo a Regiones ecológicas y climáticas de México.

Región Ecológica	Región climática	Ciudades por región
Templada	Semifrío-seco	Tulancingo, Zacatecas
	Semifrío	Ciudad de México, Toluca, Puebla, Morelia, Tlaxcala, Pachuca
	Semifrío-húmedo	Xalapa
	Templado-seco	Aguascalientes, León, Oaxaca, Querétaro, Saltillo, San Luis Potosí, Tijuana
	Templado	Guadalajara, Guanajuato, Chilpancingo
	Templado-húmedo	Tepic, Cuernavaca
Árida	Cálido-seco	Monterrey, Culiacán, Gómez Palacio, La Paz, Torreón
	Cálido-seco-extremoso	Mexicali, Hermosillo, Ciudad Obregón, Chihuahua, Ciudad Juárez
Trópico Seco	Cálido-semihúmedo	Mérida, Colima, Ciudad Victoria, Mazatlán, Tuxtla Gutiérrez
Trópico Húmedo	Cálido-húmedo	Acapulco, Madero-Tampico, Campeche, Cancún, Cozumel, Chetumal, Manzanillo, Tapachula, Veracruz, Villahermosa

Fuente: Criterios e indicadores para desarrollos habitacionales sustentables en México (CONAVI, 2008: 21).

Figura 48. Mapa de Regiones ecológicas de México

Fuente: Criterios e indicadores para desarrollos habitacionales sustentables en México (CONAVI, 2008: 21).

Como se puede observar, México tiene una gran diversidad climática debido a las características de relieve de su territorio, del cual, dos terceras partes son áridas o semiáridas (CONAGUA, 2015). En este sentido, el estado de Sonora se caracteriza por tener un 95% de su territorio con clima muy seco, seco y semiseco. Sin embargo, a pesar de que se han preestablecido las características principales de la zona de estudio, es importante hacer un

análisis climático local, ya que puede haber algún tipo de alteración del mismo según las características específicas del entorno.

Con este propósito se utilizaron las Normales Climatológicas con datos registrados por la estación 00026139 que cuenta con una base de datos de 44 años (1966-2010), siendo esta la más actualizada y completa de las 4 estaciones registradas en CONAGUA. Sin embargo, de estas sólo se tomaron los datos de precipitación pluvial.

Para los datos de temperatura, humedad relativa, radiación solar, nubosidad y viento, se utilizó la base de datos del archivo de clima generado por Meteonorm para la ciudad de Hermosillo.

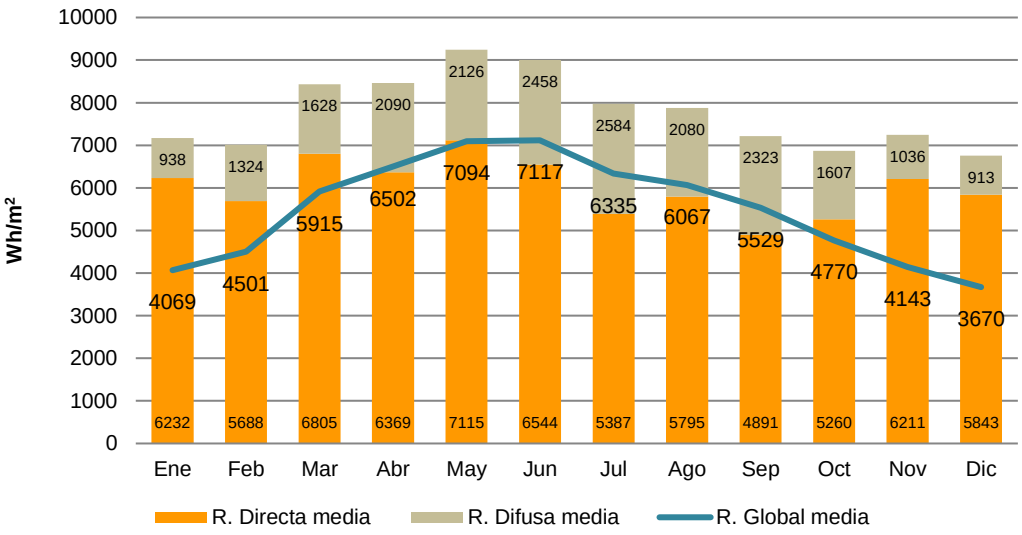
Variables climáticas

4.2.2.1. Radiación solar

Hermosillo, y en general el Estado de Sonora y el norte del país, se caracterizan por ser una zona con alta radiación solar durante la mayor parte del año. En este caso, los meses de mayo y junio son los que en las horas-sol, presentan una mayor radiación solar directa, teniendo como máximo 7,115 Wh/m^2 promedio en mayo y 6,544 Wh/m^2 promedio en el mes de junio.

La radiación global horizontal media, siendo esta la suma de la radiación directa y difusa, muestra que el mes más alto es junio con 7,117 Wh/m^2 y el más bajo el diciembre con 3,670 Wh/m^2, y esto debido a la altura solar (ver figura 49).

Figura 49. Radiación solar directa y difusa promedio mensual en la ciudad de Hermosillo



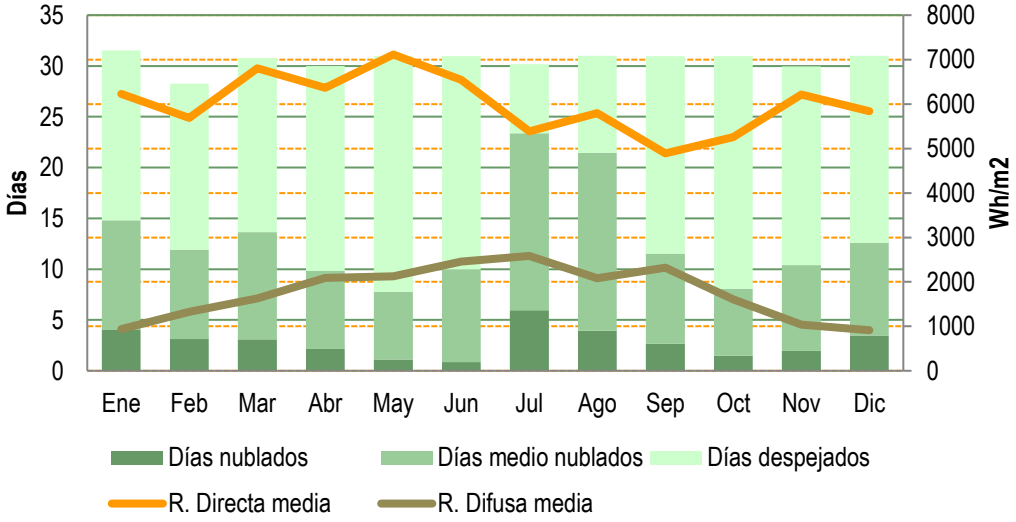
Fuente: elaboración propia con base en datos de Meteonorm.

Nubosidad y radiación solar

En la figura 50, se observan los días nublados, medio nublados y despejados, en contraposición con la radiación directa media y la radiación difusa media. Como se puede apreciar, los meses con mayor días nublados concuerdan con los de mayor precipitación pluvial (julio, agosto y septiembre) como se explicó anteriormente, sin embargo, aunque la radiación solar directa es relativamente más baja en comparación con el mes de mayo y junio, aún sigue siendo mayor que la radiación difusa.

Si bien, no se han obtenido los datos del porcentaje promedio de nubosidad mensual, puede interpretarse que es relativamente bajo, o no suficiente para que en estos meses sea mayor la cantidad de radiación difusa.

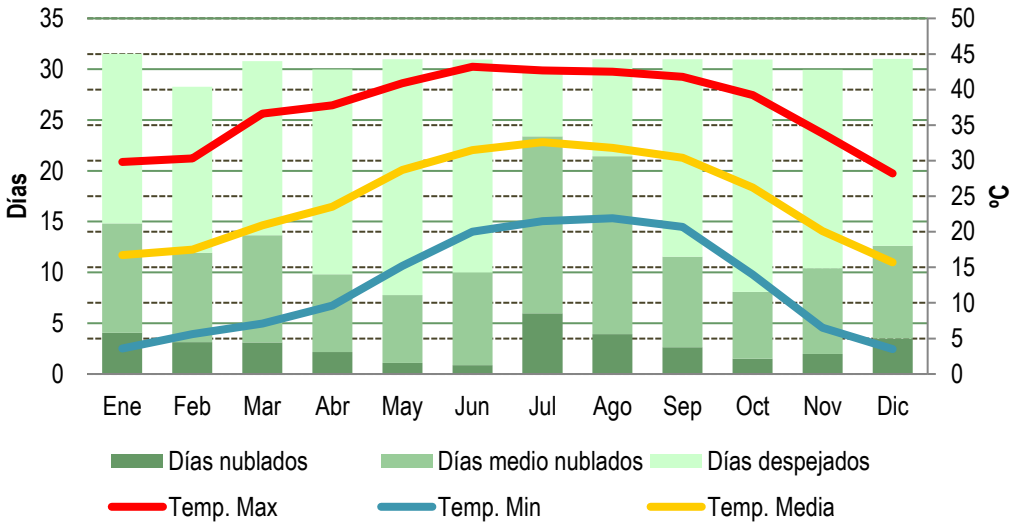
Figura 50. Nubosidad y radiación solar en la ciudad de Hermosillo



Fuente: elaboración propia con base en datos climáticos para la ciudad de Hermosillo de Meteonorm.

Lo anterior también se ve reflejado en la siguiente figura 51, donde se contrapone la nubosidad, la temperatura máxima, mínima y media anual, lo que permite observar que, a pesar de la precipitación pluvial y la presencia de nubosidad, los meses de julio, agosto y septiembre concentran las temperaturas más altas. Esto puede ser debido a un fenómeno de efecto invernadero que se manifiesta cuando la nubosidad no permite liberar la radiación de onda larga emitida por las superficies que anteriormente absorbieron la radiación de onda corta.

Figura 51. Nubosidad y temperatura en la ciudad de Hermosillo



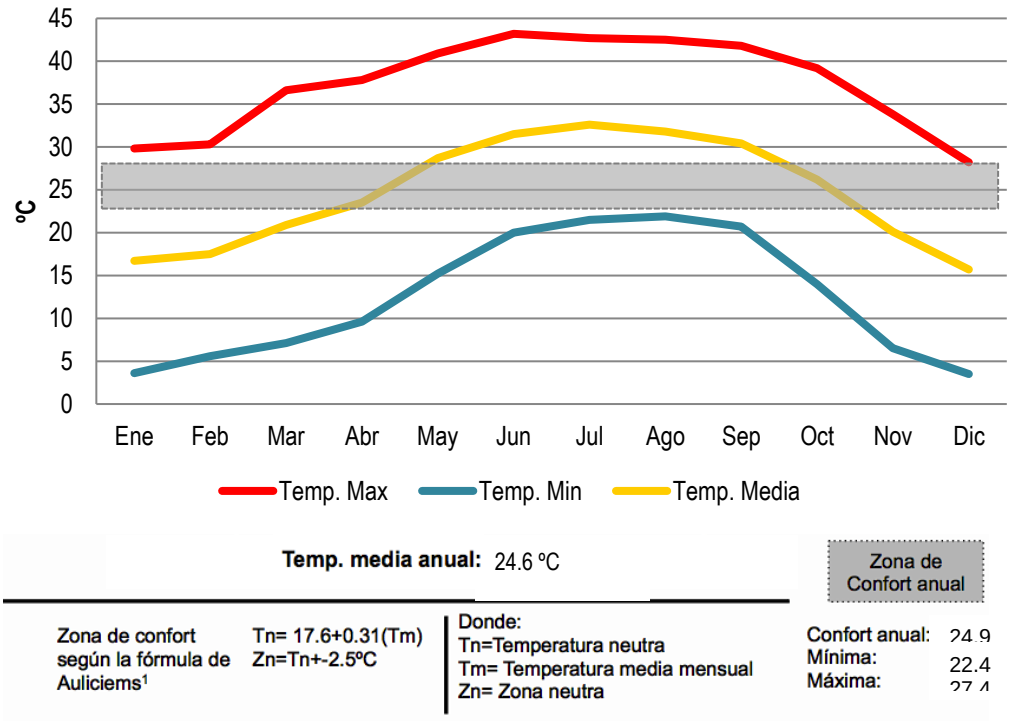
Fuente: elaboración propia con base en datos climáticos para la ciudad de Hermosillo de Meteonorm.
Gráfica bioclimática de Olgyay para la ciudad de Hermosillo

Temperatura

De acuerdo con las Normales Climatológicas, la ciudad de Hermosillo tiene una temperatura media anual de 24.82 ºC, con una temperatura máxima promedio anual de 32.2 ºC, siendo junio el mes más cálido con una temperatura promedio mensual de 39.6 ºC. Asimismo, el mes de julio presenta la temperatura media más alta de 32.6 ºC siendo el mes de enero el que registra la menor temperatura media de 16.6 ºC. En cuanto a la Temperatura promedio mensual mínima, se registra que el mes de agosto obtiene la más alta con 25.9 ºC y el mes de enero la más basa con 8.9ºC

Por tanto y de acuerdo con la fórmula de Aulicims, la zona de confort anual calculada para la ciudad de Hermosillo es de 25.29 ºC, siendo 23.29 ºC la temperatura mínima y 27.29 ºC la temperatura máxima. Dicho esto, se puede observar en la figura 48 que la mayor parte del año se está en disconfort térmico.

Figura 52. Gráfica de temperaturas promedio mensual de la ciudad de Hermosillo.



Fuente: elaboración propia con base en Normales climatológicas.

Isotermas

Las temperaturas horario media mensual (THMM) representadas en isotermas (ver figura 53), muestran que el periodo del año con las THMM más altas es de mayo a octubre, destacando los meses de junio y julio con una máxima de hasta 38.1ºC. La mayor concentración de temperatura se encuentra dentro de un horario de 7:00 a 19:00h del día en promedio, registrando las más altas de 9:00 a 16:00h.

Teniendo en cuenta que la zona de confort térmico se ubica entre los 23.29ºC y los 27.29ºC, se observa que la mayor parte del año se puede estar dentro de este rango únicamente en los meses de junio, julio y agosto de las 00:00 a las 06:00h.

Sin embargo, la ciudad no padece únicamente por las altas temperaturas a lo largo del día durante gran parte del año, sino también por las bajas temperaturas concentradas en las primeras y últimas horas del día (de 01:00 a 08:00h y de 22:00 a 24:00h), en los meses de enero, febrero y diciembre con una THMM mínima registrada de hasta 9.1ºC en el mes de diciembre.

En este sentido, el PDMH establece que:

> *"En relación al incremento en la temperatura; éste irá ligado a un aumento del consumo de energía eléctrica por el uso intensivo de aparatos de aire acondicionado para mantener el confort, así como a un creciente efecto de isla de calor en la ciudad. En este sentido, se carece de políticas de*

generación de energías renovables, así como de construcción de vivienda para reducir la demanda energética por climatización, las cuales resultan cruciales." (Gobierno del Estado de Sonora, Ayuntamiento de Hermosillo, & Secretaría de Desarrollo Agrario, 2016:64).

Figura 53. Isotermas de Hermosillo, Son

HORA/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0:01- 1:00	13.3	14.3	17	19.5	23.9	27.3	29.2	28.7	27.5	23	16.6	12.4
1:01- 2:00	12.4	13.4	15.9	18.4	22.8	26.3	28.4	28	26.7	22.1	15.6	11.5
2:01- 3:00	11.5	12.5	14.9	17.5	22.3	25.7	28	27.5	26	21.2	14.6	10.6
3:01- 4:00	11	12.1	14.4	16.9	21.7	25.1	27.6	27.1	25.6	20.7	14.1	10.2
4:01- 5:00	10.5	11.6	13.8	16.4	21.3	24.8	27.3	26.7	25.3	20.3	13.6	9.7
5:01- 6:00	10.2	11.3	13.4	16.1	21.3	24.8	27.3	26.6	25	20	13.3	9.4
6:01- 7:00	9.9	11	13.4	16.9	22.8	26.3	28.3	27.3	25.4	20.1	13.2	9.1
7:01- 8:00	10.2	11.7	15.4	19.3	25.1	28.3	29.8	29	27.4	22.1	14.8	9.6
8:01- 9:00	13.2	14.5	18	21.9	27.5	30.4	31.5	30.8	29.5	24.6	17.6	12.8
9:01-10:00	16.3	17.4	20.7	24.5	29.7	32.4	33.2	32.6	31.5	27	20.4	15.9
10:01-11:00	19.2	19.9	23.2	26.7	31.9	34.2	34.8	34.2	33.4	29	23.1	18.7
11:01-12:00	21.5	22	25.3	28.4	33.7	35.6	35.9	35.3	34.6	30.7	25.2	20.9
12:01-13:00	23.2	23.7	27	29.6	34.9	36.8	36.8	36.2	35.4	32	26.7	22.5
13:01-14:00	24.3	24.6	28.2	30.5	35.6	37.7	37.5	36.7	35.9	32.7	27.6	23.4
14:01-15:00	24.7	24.9	28.8	30.9	35.9	38.1	37.8	36.9	36	33	27.8	23.7
15:01-16:00	24.3	24.7	28.8	30.8	35.9	38.1	37.8	36.9	35.8	32.6	27.3	22.9
16:01-17:00	22.8	23.6	28	30	35.2	37.6	37.4	36.4	35	31.5	25.8	21.2
17:01-18:00	20.7	21.9	26.5	28.7	34.1	36.6	36.6	35.5	33.7	29.8	23.8	19.1
18:01-19:00	19.6	20.2	24.5	26.9	32.4	35.2	35.5	34.3	32.4	28.6	22.8	18.1
19:01-20:00	18.5	19.2	23.3	25.6	30.9	33.7	34.3	33.3	31.5	27.6	21.7	17.1
20:01-21:00	17.5	18.1	22	24.3	29.4	32.4	33.2	32.3	30.6	26.6	20.6	16.1
21:01-22:00	16.4	17.2	20.7	23	28	31	32.1	31.4	29.7	25.6	19.6	15.1
22:01-23:00	15.3	16.1	19.4	21.7	26.6	29.7	31.1	30.4	28.8	24.6	18.5	14.1
23:01-24:00	14.3	15.2	18.1	20.4	25.2	28.3	30	29.5	28	23.6	17.4	13.1

Muy cálido	32.3	Cálido	31.29	confort	27.29	Fresco	23.29	Frío a muy frío	19.3
			30.29		26.29		22.29		
	31.3		29.29		25.29		21.29		18.3
			28.29		24.29		20.29		
			27.29		23.29		19.29		

Fuente: elaboración propia con base en datos climáticos para la ciudad de Hermosillo de Meteonorm., y F., Víctor. Hoja de cálculo de temperaturas y humedades horarias medias mensuales. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. México, D.F.

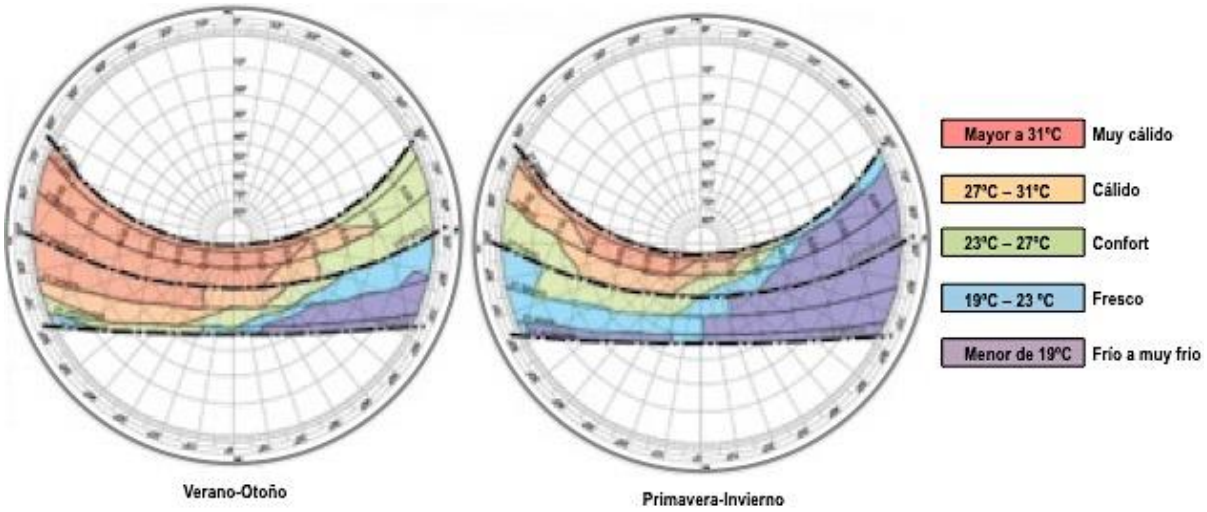
Gráfica solar con isotermas

Para visualizar las temperaturas del aire en conjunto con los horarios de las trayectorias del sol durante el año, se han desarrollado los isotermas en las gráficas solares de la ciudad de Hermosillo para las temporadas de verano-otoño y primavera-invierno (ver figura 54).

Estas gráficas tienen por objetivo proporcionar información acerca de las orientaciones más adecuadas que deben de tener la estructura o la traza de la ciudad, además de servir de guía también para la localización de vegetación, orientación hacia o contra los vientos dominantes, etc.

En este sentido se puede observar que en la temporada de verano-otoño es cuando se tiene un mayor rango de altas temperaturas hacia el poniente y norponiente a horas relativamente tempranas. Mientras que gran parte de la temporada primavera-invierno, los rangos de temperatura más baja se dan el hasta medio día principalmente, pero incluso pueden llegar a ser hasta casi el ocaso en los meses de enero y diciembre.

Figura 54. Gráfica solar por temporada estacional y con isotermas.



Fuente: elaboración propia con base en datos de Meteonorm

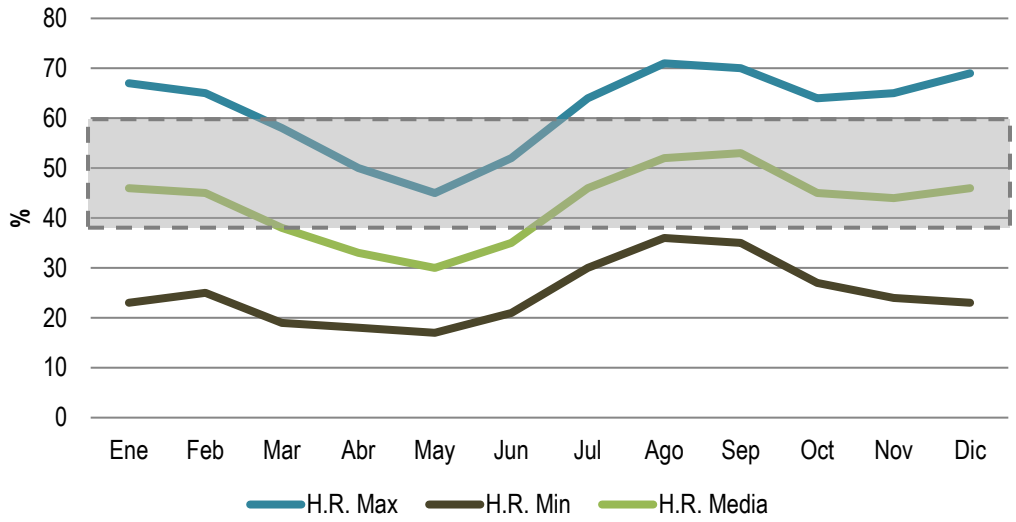
4.2.2.2. Agua

Humedad relativa

La figura 55 representa la humedad relativa media mensual (HRMM) que tiene la ciudad de Hermosillo durante todo el año. Donde la zona de confort se ubica entre el 40% y el 60% de HR. En este caso la media anual es de 42.83%.

De Julio a septiembre se registra la HRMM más alta, especialmente el mes de agosto con hasta un 69.31%. Sin embargo, los porcentajes más bajos se dan en los meses de abril a junio, especialmente en mayo que llega hasta un 17.0%.

Figura 55. Gráfica de humedad relativa promedio mensual de la ciudad de Hermosillo



Fuente: elaboración propia con base en datos climáticos para la ciudad de Hermosillo de Meteonorm.

Conforme lo anterior, se han desarrollado también los isohigras de la ciudad calculados a partir de la humedad relativa horario medio mensual (ver figura 56). En este caso se puede observar que los meses de enero a junio, en un rango horario de 9:00 a 18:00 h son los que presentan una HRMM más baja en relación con los otros meses, siendo los meses de abril, mayo y junio los meses más secos, llegando a tener como mínimo un 17%.

Por otro lado, a partir del mes de julio la HRPM aumenta en las primeras horas del día hasta el mes de agosto hasta en un 71.%. Pero los meses más húmedos son diciembre y enero. Sin embargo, como se puede observar, la oscilación en la HRPM en estos meses puede variar desde un máximo de 65.7% hasta un mínimo de 25.2%.

En comparación con la gráfica anterior de humedad relativa, se puede observar que la mayoría de los meses del año se encuentran fuera del rango confort (entre 40%min-60%max), o bien se llega al porcentaje mínimo requerido en los horarios de mayor actividad urbana; siendo las últimas y primeras horas del día las que se ubican dentro de este rango.

Figura 56. Isohigras de Hermosillo, Son

HORA/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0:01- 1:00	57	56	47	42	39	45	58	62	62	55	53	56
1:01- 2:00	60	58	51	45	41	47	60	64	65	57	56	59
2:01- 3:00	62	60	54	47	42	49	61	66	67	59	59	62
3:01- 4:00	63	62	56	49	43	51	63	68	68	60	61	65
4:01- 5:00	65	64	58	49	44	52	64	70	69	63	62	66
5:01- 6:00	67	65	58	50	45	52	63	71	70	64	64	67
6:01- 7:00	67	65	58	49	42	48	60	69	69	63	65	69
7:01- 8:00	65	62	53	42	36	43	55	62	63	58	60	66
8:01- 9:00	54	53	46	36	32	38	48	55	58	51	51	55
9:01-10:00	42	42	37	28	25	31	40	46	49	42	41	42
10:01-11:00	33	34	30	24	21	27	35	41	42	36	35	34
11:01-12:00	28	29	26	22	19	24	33	38	38	31	30	29
12:01-13:00	25	26	24	20	18	23	32	37	36	28	26	26
13:01-14:00	24	26	21	19	17	21	31	36	35	27	24	24
14:01-15:00	23	25	20	18	17	21	30	36	35	27	24	23
15:01-16:00	24	26	19	19	17	21	31	36	36	29	24	25
16:01-17:00	27	28	20	20	18	22	31	37	37	31	27	28
17:01-18:00	32	32	23	22	19	23	33	40	40	34	31	32
18:01-19:00	39	36	26	24	21	25	35	43	44	40	37	39
19:01-20:00	42	41	33	30	25	28	39	48	51	42	39	41
20:01-21:00	45	45	35	32	29	33	45	52	54	45	42	44
21:01-22:00	48	49	38	34	32	36	48	55	56	47	45	47
22:01-23:00	51	51	41	37	34	38	51	58	59	50	47	50
23:01-24:00	54	54	44	39	36	41	56	60	61	53	50	53

HR>81	Muy húmedo
61<HR<80	húmedo
40<HR<60	Aceptable
21<HR<39	Seco
HR<20	Muy seco

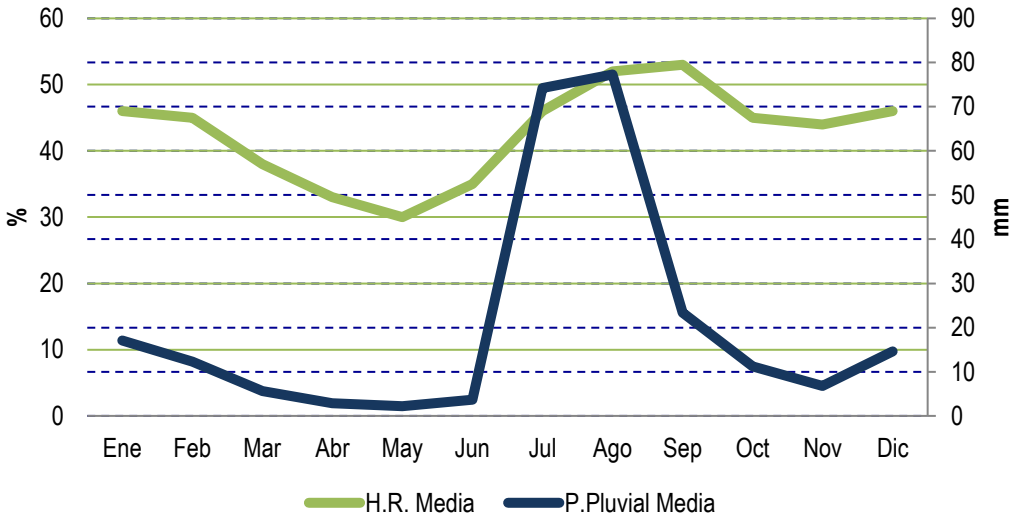
Fuente: elaboración propia con base en datos climáticos para la ciudad de Hermosillo de Meteonorm., y F., Víctor. Hoja de cálculo de temperaturas y humedades horarias medias mensuales. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. México, D.F.

Precipitación pluvial

Los meses de mayor PPM se da en julio (74.2 mm), agosto (77.3 mm) y un poco menos en septiembre (23.4 mm), dejando los otros meses con lluvias esporádicas. En este caso, los meses con menor PPM son marzo, abril, mayo y junio, llegando a un mínimo de hasta 2.2 mm.

Asimismo, se puede observar que la humedad relativa media aumenta y disminuye conforme a la presencia de precipitación pluvia, siendo este el fenómeno que tiene mayor implicación en la misma, así como la temperatura del aire (ver figura 57).

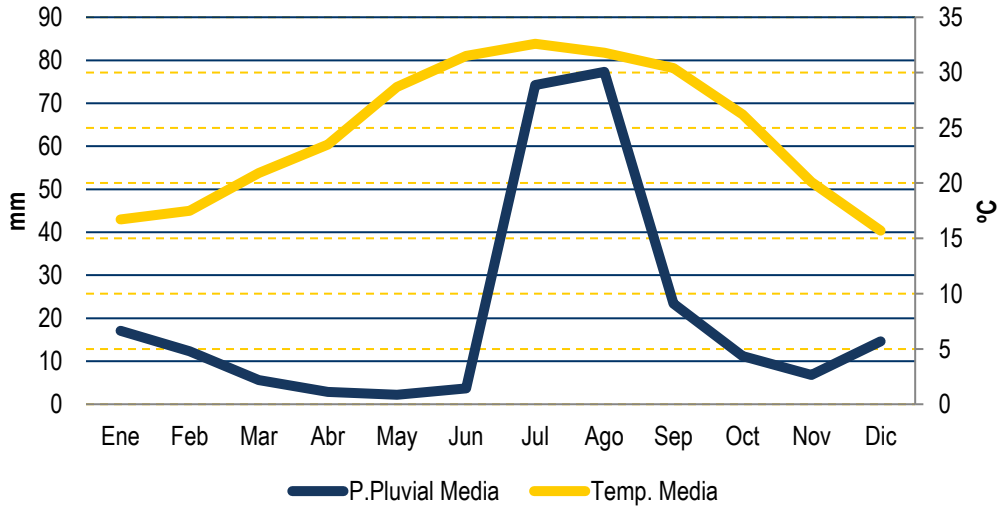
Figura 57. Precipitación pluvial media y humedad relativa media de la ciudad de Hermosillo



Fuente: elaboración propia con base en datos climáticos para la ciudad de Hermosillo de Meteonorm.

La precipitación pluvial con relación a la temperatura del aire representada en la figura 58, muestra que no influye en el descenso de la segunda como suele suceder en otras regiones climáticos. En este caso, tanto la mayor PP como la TM más alta se dan en los mismos meses de julio y agosto. Sin embargo, la TM no sufre grandes descensos en los meses consecuentes, como pasa con la PP.

Figura 58. Precipitación pluvial media y temperatura media de la ciudad de Hermosillo

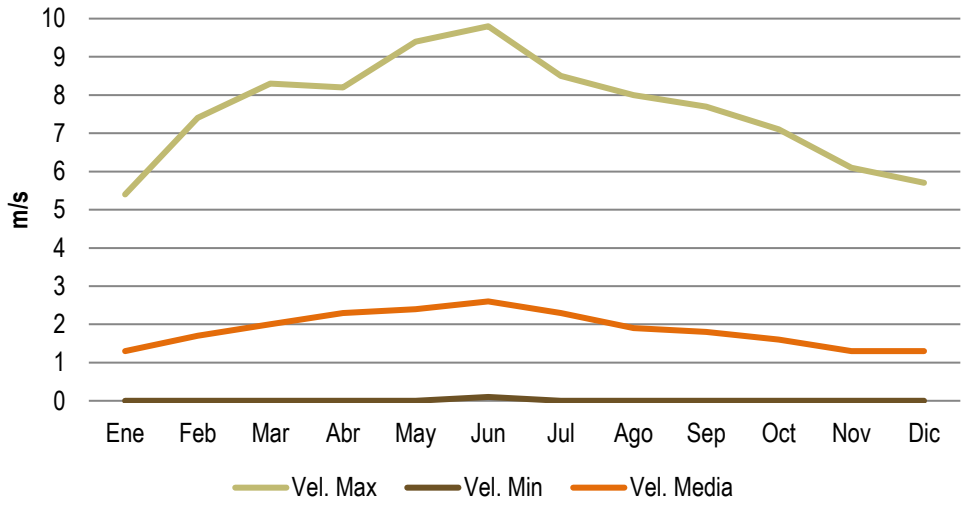


Fuente: elaboración propia con base en datos climáticos para la ciudad de Hermosillo de Meteonorm.

4.2.2.3. Viento

La velocidad máxima del viento en la ciudad de Hermosillo, puede llegar a alcanzar los 9.8 m/s en el mes de junio y la apenas 5.4 m/s en el mes de enero. Sin embargo, como hay periodos durante casi todo el año donde la velocidad mínima es de 0 a 0.1 m/s, la velocidad media mensual disminuye considerablemente hasta tener un máximo de 2.6 m/s para el mes de junio (ver figura 59).

Figura 59. Velocidad del viento media mensual de la ciudad de Hermosillo.



Fuente: elaboración propia con base en datos de Meteonorm.

En la tabla 58 se puede observar que la dirección predominante del viento durante todo el año, es del sur y sureste, incrementándose sobre todo en los meses de abril, mayo, junio, julio y septiembre. Por otro lado, los porcentajes más bajos provienen del noreste y del este.

Tabla 58. Distribución mensual de la dirección del viento (%)

DIR/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Norte	19	15	13	10	8	5	2	4	6	7	10	17
Noreste	4	4	6	6	3	6	2	3	5	3	4	3
Este	4	4	4	5	4	6	8	8	4	5	3	3
Sureste	1	4	11	7	7	10	9	17	10	6	11	4
Sur	18	25	28	30	35	30	46	24	44	28	28	27
Suroeste	29	23	23	30	26	31	27	26	18	27	20	22
Oeste	8	9	6	5	11	9	6	13	7	14	10	11
Noroeste	16	15	10	7	4	3	1	4	6	10	14	13

Fuente: elaboración propia con base en datos de Meteonorm.

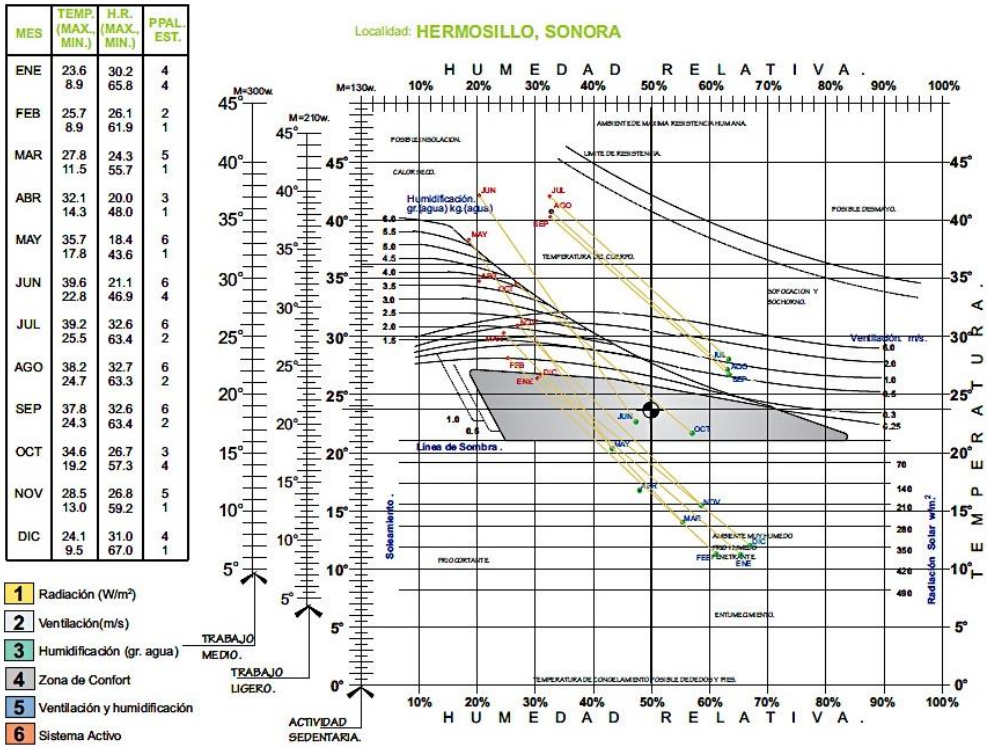
4.3. Fase 3: Requerimientos del entorno urbano

A partir de las temperaturas promedio mensual máximas (tpmmax) y mínimas (tpmmin), así como de las humedades relativas promedio mensual máximas (hrpmmax) y mínimas (hrpmmin) , se ha determinado, a través de la carta bioclimática de Olgyay, los requerimientos del entorno urbano, tales como la cantidad de radiación solar, la humidificación del aire, la ventilación y mixtos (humedad y ventilación), para llegar a la zona de confort térmico teniendo en cuenta la tasa metabólica de 210w. Esto, considerando que la mayor parte de la topografía de la ciudad tiene pendientes por debajo de los 15º, a excepción de la zona de cerros.

Como se puede observar a grandes rasgos en la figura 60, destacan 4 tipos de requerimientos del entorno. Las temperaturas del aire máximas promedio mensual y la humedad relativa de los meses de junio, julio, agosto y septiembre sobrepasan las condiciones climáticas para poder emplear sistemas pasivos y llegar al confort térmico, por lo que es necesario la utilización de sistemas activos; por otro lado, los mismos meses, pero con sus temperaturas y humedad relativa mínimas, requieren de ventilación, a excepción del mes de junio que logra entrar en confort térmico sin emplear ningún tipo de sistema pasivo.

Por otro lado, los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, noviembre y diciembre requieren principalmente la captación de radiación solar conforme a sus hrpmmin; sin embargo, en cuanto a las tpmmax y hrpmax, los espacios requieren de sistemas mixtos (ventilación y humidificación del aire) o particularmente de la humidificación; a excepción del mes de enero y diciembre que logra entrar en la zona de confort térmico. Así pues, los meses de enero, diciembre, junio y octubre, llegan a tener momentos de sensación de confort térmico.

Figura 60. Carta bioclimática de Olgyay anual para la ciudad de Hermosillo.



MES	TEMP. (MAX., MIN.)	H.R. (MAX., MIN.)	PPAL. EST.
ENE	23.6 8.9	30.2 65.8	4 4
FEB	25.7 8.9	26.1 61.9	2 1
MAR	27.8 11.5	24.3 55.7	5 1
ABR	32.1 14.3	20.0 48.0	3 1
MAY	35.7 17.8	18.4 43.6	6 1
JUN	39.6 22.8	21.1 46.9	6 4
JUL	39.2 25.5	32.6 63.4	6 2
AGO	38.2 24.7	32.7 63.3	6 2
SEP	37.8 24.3	32.6 63.4	6 2
OCT	34.6 19.2	26.7 57.3	3 4
NOV	28.5 13.0	26.8 59.2	5 1
DIC	24.1 9.5	31.0 67.0	4 1

Fuente: (Barrera, 2012:46)

Sin embargo, para hacer más detallado el estudio y poder determinar los tipos de requerimientos de acuerdo al horario, se han analizado las cartas bioclimáticas horario mensual (ver en anexos), y a partir de ello es que se realizaron las isopletas de requerimientos (ver figura 61).

Figura 61. Isopletas de requerimientos del entorno para la ciudad de Hermosillo.

HORA/ MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
01:00	1	1	1	1	4	2	2	2	2	4	1	1
02:00	1	1	1	1	4	2	2	2	2	4	1	1
03:00	1	1	1	1	4	2	2	2	2	4	1	1
04:00	1	1	1	1	4	2	2	2	2	4	1	1
05:00	1	1	1	1	4	2	2	2	2	4	1	1
06:00	1	1	1	1	4	2	2	2	2	4	1	1
07:00	1	1	1	1	4	5	6	2	2	4	1	1
08:00	1	1	1	4	5	6	6	6	6	2	1	1
09:00	1	1	4	2	3	6	6	6	6	2	1	1
10:00	1	4	2	5	3	6	6	6	6	6	4	1
11:00	4	4	5	3	3	6	6	6	6	6	2	4
12:00	4	5	5	3	3	6	6	6	6	6	5	4
13:00	2	5	5	3	3	6	6	6	6	6	3	2
14:00	2	5	5	3	3	6	6	6	6	6	3	2
15:00	4	5	2	3	3	6	6	6	6	6	3	2
16:00	4	2	2	5	3	6	6	6	6	6	5	2
17:00	4	4	4	2	3	6	6	6	6	6	5	4
18:00	4	4	4	2	5	6	6	6	6	2	2	4
19:00	1	4	4	4	5	6	6	6	6	2	4	4
20:00	1	1	4	4	2	6	6	6	6	5	4	1
21:00	1	1	1	4	4	5	6	6	6	2	4	1
22:00	1	1	1	4	4	5	6	2	2	2	4	1
23:00	1	1	1	4	4	5	2	2	2	2	1	1
24:00	1	1	1	1	4	2	2	2	2	4	1	1

1	Radiación Solar (W/m2)	4	Confort higrotérmico
2	Ventilación (m/s)	5	Ventilación y Humedad
3	Humedad (gr.agua)	6	Sistema Activo

Fuente: (Barrera, 2012:25)

Isopletas de requerimientos del entorno para la ciudad de Hermosillo

Como se puede observar en la figura x, de acuerdo con las cartas bioclimáticas mensuales, la gran parte de la franja horaria de entre las 6:00 a las 22:00 de los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre, requieren de sistemas activos para poder llegar al estado de confort térmico.

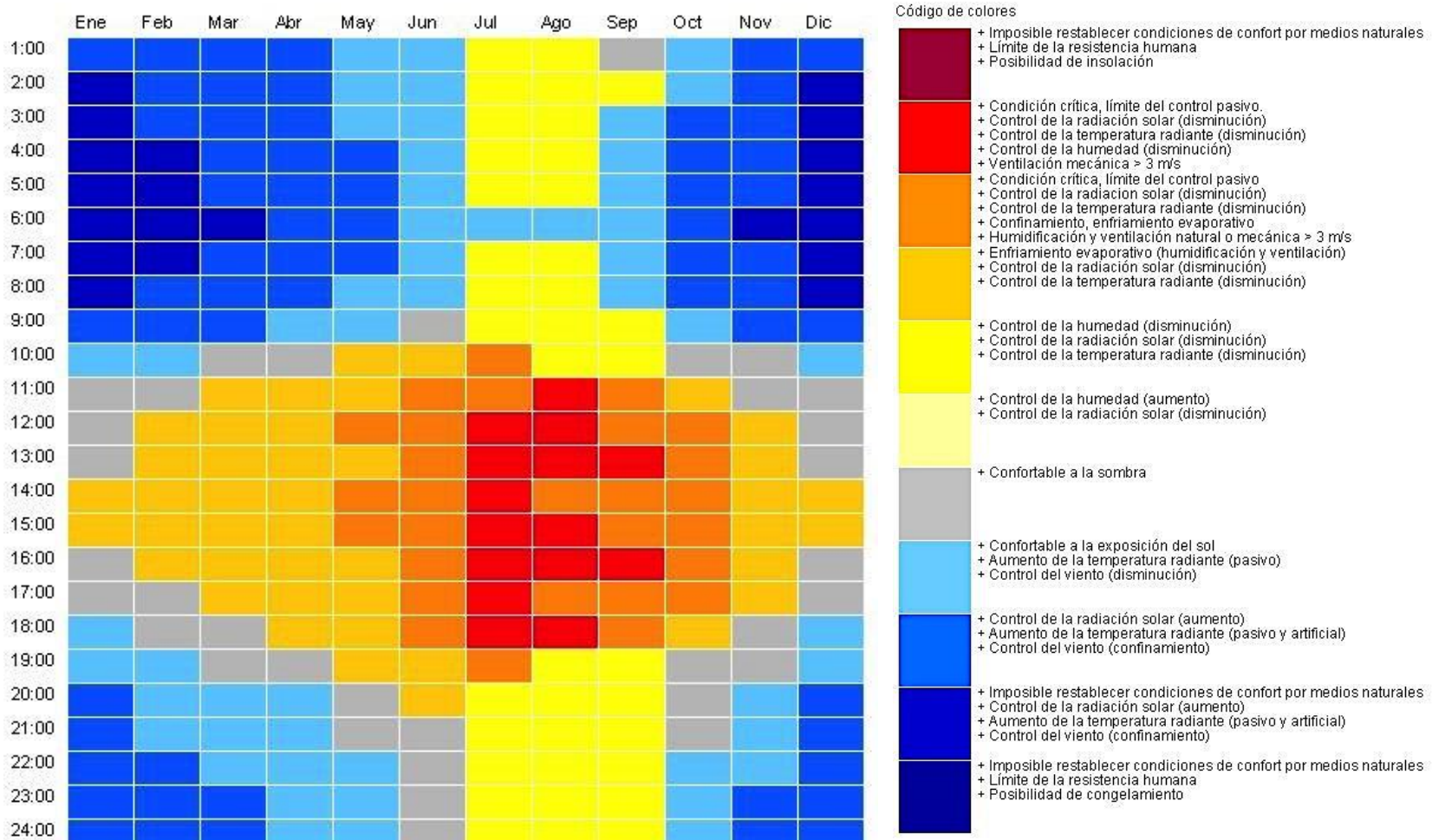
Además, los meses de enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre, requieren de captación de radiación solar principalmente en las mañanas hasta las 10:00, y en las noches a partir de las 19:00; sin embargo, se puede notar igualmente, que las horas de confort térmico también se logran en estos meses, sumándose el mes de mayo.

Asimismo, los meses que se requiere humidificación del aire son abril, mayo y noviembre. Una mayor ventilación la requieren los meses de junio, julio, agosto, septiembre, noviembre y diciembre, pero estos dos últimos a velocidades bajas de entre 0.25 y 0.5 m/s.

COMFORT-EX para la ciudad de Hermosillo, Sonora

A diferencia de las isopletas basadas directamente en las cartas bioclimáticas de Olgyay, el COMFORT-EX muestra que la zona de estudio se encuentra al límite del control pasivo, es decir, aún es posible de restablecer las condiciones de confort por medios naturales; caso contrario con el análisis anterior que mostraba que, en gran parte de los meses de junio a octubre, sólo podría lograrse por medio de sistemas activos.

Figura 62. COMFORT-EX para la ciudad de Hermosillo Sonora



Fuente: (J. Ochoa & Martínez, 2002)

4.4. Fase 4: Análisis del medio físico construido de la ciudad de Hermosillo

El objetivo de esta fase de evaluación, es el de establecer el perfil físico-urbano que caracteriza a la ciudad de Hermosillo, para posteriormente relacionar los resultados con los requerimientos del entorno, que de acuerdo con las características climáticas que la afectan, debería tener.

4.4.1. Variables de análisis de edificaciones

4.4.1.1. Densidad edificatoria

Intensidad de uso

Con base en la cartografía catastral de la ciudad, se llevó a cabo el cálculo de la densidad edificatoria, siendo esta el total de suelo utilizado por cada lote catastral dentro de la ciudad. En este caso, se tomó en cuenta la superficie de cada predio urbano, la altura promedio de piso a techo al interior de la construcción[29]; y a partir de ello se hizo la sumatoria de los resultados conforme al número de niveles construidos que tiene el predio.

$$D_e = \Sigma^n (Spu * h)$$

Donde:
D_e: Intensidad de uso
Σ^n: sumatoria del número de niveles construidos sobre el predio urbano
Spu: superficie del predio urbano (m2)
h: altura promedio piso-techo al interior de la construcción= 2.7m

Como se puede observar en la figura 63, la zona central de la ciudad presenta una mayor intensidad de uso. Esto se debe principalmente que en esta zona se tiene una mayor cantidad de edificaciones con el mayor número de niveles y altura. Sin embargo, en la zona sureste, las características representadas corresponden en realidad a que las superficies de los predios industriales (normalmente de un solo nivel) son mayores o iguales al total de la sumatoria de los m^2 de construcción de algunas edificaciones en la zona centro.

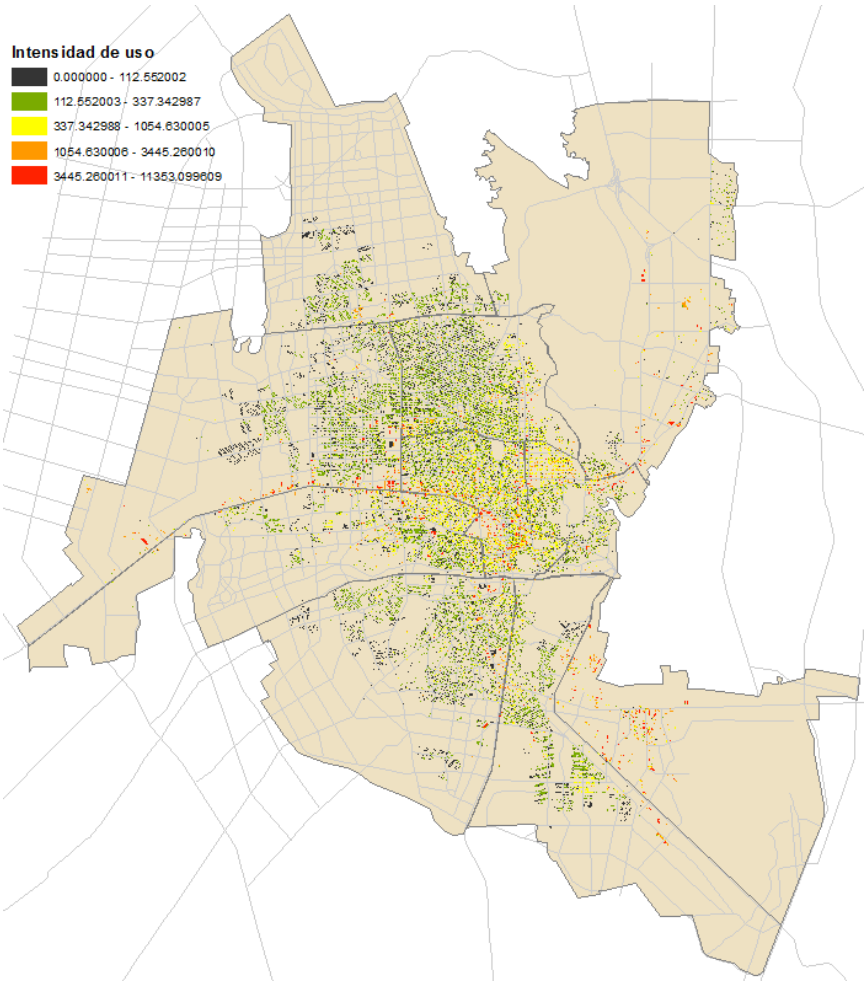
Por otro lado, en la zona norte, Hermosillo Norte y noroeste principalmente, son las zonas donde se tiene la densidad edificatoria más baja, ya que normalmente las construcciones tienen un nivel o incluso son predios baldíos.

De acuerdo con el PDMH, el 36.35% del total de los predios urbanos están construidos, mientras que un 37.66% son baldíos (PDMH, 2016:71). Esto ha provocado, además de la estructura vial, que la estructura urbana sea más dispersa conforme se tiene mayor distancia con respecto al centro urbano hacia los límites de la ciudad.

[29] De acuerdo con un estudio realizado por Irene Marincic et al. (2011:191) a 25 diferentes modelos de vivienda que correspondían a 4 mil 159 viviendas construidas en el año 2010 (un 21% del total de vivienda nueva construida). Determinó que un 26% tenían una altura mayor a 2.8 m; el 66% una altura mayor o igual a 2.4m pero menor o igual a 2.8m; y finalmente el 8% restante una altura menor a 2.4m. Por tanto, la altura promedio que se estableció para realizar el cálculo de la intensidad edificatoria es de 2.7m en general (exceptuando los lotes baldíos o espacios abiertos), incluyendo todas aquellas edificaciones de uso diferente al habitacional y/o mixto.

En este caso, también se menciona que cerca del 80% de los lotes baldíos son de uso habitacional, y aquellos de mayores dimensiones son destinados para uso industrial, comercial y/o de equipamiento.

Figura 63. Intensidad de uso de la ciudad de Hermosillo.



Fuente: elaboración propia con base en cartografía catastral de la ciudad de Hermosillo.

4.4.1.2. Sombreamiento

Para el cálculo de la superficie sombreada generada en la ciudad de Hermosillo, se empleó la cartografía de modelos digitales de elevación (MDE) del territorio mexicano, para el Estado de Sonora, lo cual es posible hacerlo a través de portal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La Descarga de estos archivos pueden hacerse a nivel nacional, por Área Geoestadística Estatal o bien, el área que el usuario especifique, así como el tipo de resolución a 15, 30, 60, 90 y 120 m, entre otras características (ver tabla 59).

Tabla 59. Características principales de los MDE del territorio mexicano

Características	Descripción
Año de publicación	2013
Resolución	15m x 15m
Valores de Z	Enteros positivos y negativos
Unidades de Z	Metros

Datos de referemcia geodésica	El datum corresponde a ITRF92 época 1988.0, elipsoide GRS80, coordenadas geográficas.
Cobertura gráfica	Territorio continental de los Estados Unidos Mexicanos
Error medio cuadrático general	4.8 m
Error medio cuadrático por rango de pendiente	-
De 0 a 14	4.5 m
de 15 a 36	6.0 m
Mayor que 36	7.2 m
Medio de distribución	Principalmente por internet mediante el portal del INEGI. Considera varias opciones
Formato de distribución	BIL (Banda etrelazada por línea. Forma Raster, para las descargas total del territorio y por entidad federativa. Formato TIFF (Tagged Image File Format) para las descargas por selección de área y carta respectivamente.
Software utilizado para su generación	ArcGis 10.3

Fuente: Inegi.org.mx (2017).

Para la generación y cáluco de sombras a partir del uso de la imagen anterior, se llevó a cabo la metodología propuesta en el capítulo anterior. Esto ha dado como resultado una superfice total sombreada de 3,734.86 hectáreas, las cuales representan un 9.55% total de la superficie total de planeación.

En este caso, se puede observar que el sombreamiento se encuentra de manera más intensa en las zonas menos consolidadas y de menor densidad de la ciudad. Por el contrario, la zona más consolidada y compacta como lo es el sector centro, muestran una menor cantidad de superficie sombreada (ver figura 64). Estos resultados pueden deberse a la resolución de la imagen en contraste con el ancho de superficie de vialidades o espacios abiertos que no permite distinguir el área sombreada en estas zonas.

En este caso el sector noreste es la que presenta un mayor porcentaje de superficie sombreada (631.7 ha), lo cual puede ser debido a que es la zona con mayor pendiente al ser un importante sistema montañoso, así como a la altura solar.

Figura 64. Superficie sombreada calculada

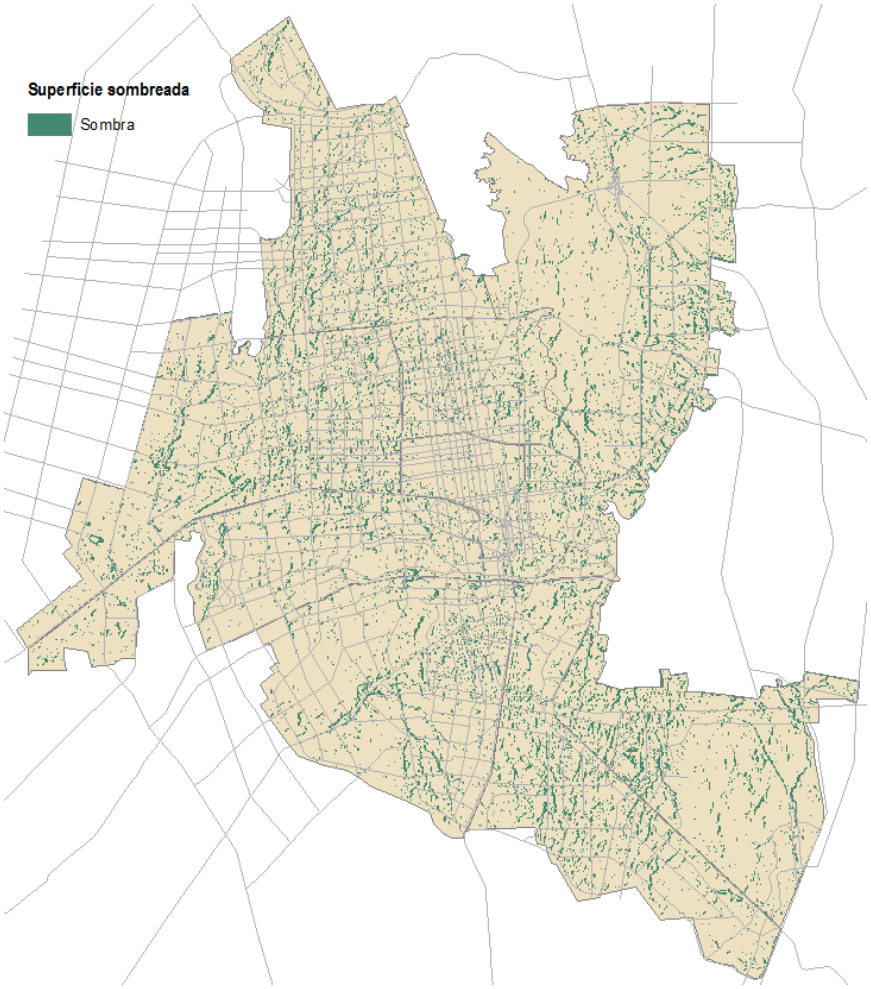


Tabla 60. Superficie total sombreada

SUPERFICIE SOMBREADA			
CLAVE	**UNIDAD TERRITORIAL DE PLANEACIÓN**	**SUPERFICIE (hectáreas)**	**%**
SE	Sureste	561.83	1.44
S	Sur	471.90	1.21
SO	Suroeste	397.82	1.02
E	Este	122.91	0.31
C	Centro	97.73	0.25
O	Oeste	284.90	0.73
NO	Noroeste	553.38	1.42
HN	Hermosillo Norte	4.05	0.01
N	Norte	207.88	0.53
NE	Noreste	631.70	1.62
	Superficie Total	**3,734.86**	**9.55**

Fuente: elaboración propia con base a figura 55.

4.4.2. Variables de análisis de vialidades

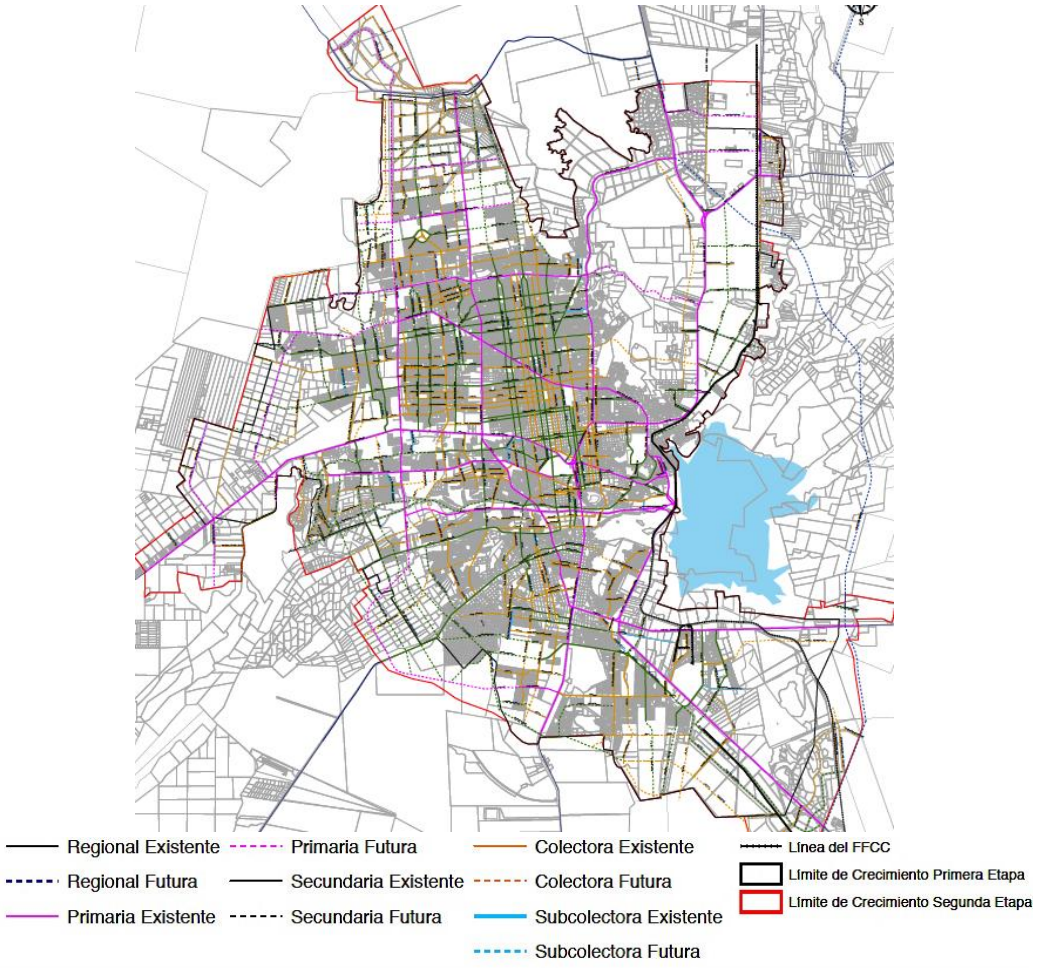
Las vialidades son uno de los elementos de mayor relevancia e impacto del entorno urbano, ya que estas determinan la estructura de la ciudad; la exposición a la radiación solar de los espacios exteriores; la orientación de la misma estructura para proteger e incentivar la intensidad del viento, así como la captación de radiación durante el año, etc.

Por tanto, su dimensionamiento, su orientación, el tipo de material del cual están hechas y el color de las mismas, son algunos de los aspectos físicos que son necesarios evaluar para determinar si son adecuados acorde al clima en el que se encuentran.

4.4.2.1. Superficie vial

De acuerdo con los datos obtenidos por el PDUCP de Hermosillo en la actualización del 2014 (figura 65), el total de superficie de vialidades era de 6 mil 584.47 hectáreas. De las cuales, la UTP Suroeste es la que tiene el mayor porcentaje de esta, con un 16.81% (1,107.02 ha); seguida de la UTO Noroeste con el 16.01% (1,054.14 ha); la UTP Norte con el 14.50% (954.58 ha) y la UTP Centro con el 12.21% (803.98 ha) (ver tabla x). Las demás UTP de la ciudad cuentan con superficies viales de entre el 10.33% y el 1.57%, que en este caso es la UTP Sureste que alberga la principal zona industrial de la ciudad (ver tabla 54).

Figura 65.Vialidades existentes y futuras de la ciudad de Hermosillo



Fuente: Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Hermosillo, Sonora (2014).

Tabla 61. Superficie total de vialidades por UTP de la ciudad de Hermosillo.

SUPERFICIE DE VIALIDADES			
CLAVE	**UNIDAD TERRITORIAL DE PLANEACIÓN**	**SUPERFICIE (hectáreas)**	**%**
SE	Sureste	103.13	1.57
S	Sur	626.45	9.51
SO	Suroeste	1107.02	16.81
E	Este	359.32	5.46

C	Centro	803.98	12.21
O	Oeste	680.07	10.33
NO	Noroeste	1054.14	16.01
HN	Hermosillo Norte	597.05	9.07
N	Norte	954.58	14.50
NE	Noreste	298.74	4.54
	Superficie Total	**6,584.47**	**100.00**

Fuente: elaboración propia con base en cartografía del PDUCP de Hermosillo

Otro de los aspectos importantes dentro del análisis de las vialidades, es la sección que tienen de acuerdo a la jerarquía vial establecida en el PDUCP de Hermosillo (2014). Ya que estos datos han permitido (ver apartado 4.4.2.2.) calcular igualmente la superficie correspondiente para cada tipo de material.

4.4.2.2. Tipo de material

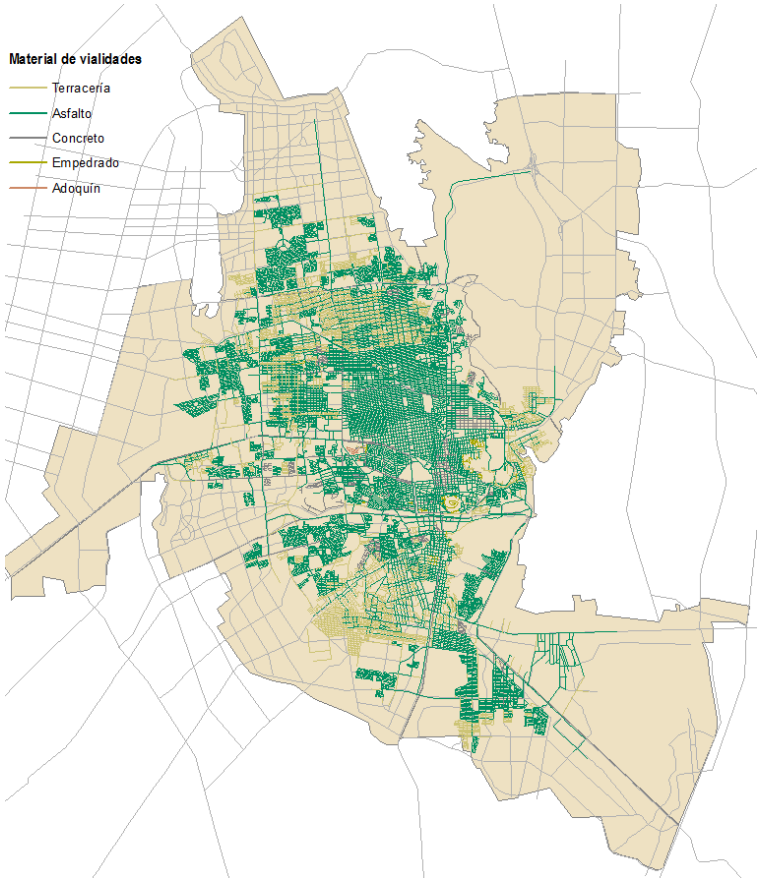
Actualmente las vialidades de la ciudad están conformadas por cinco diferentes tipos de materiales: terracería, asfalto, concreto, empedrado y adoquín (ver figura 66). Sin embargo, como se puede observar en la figura x, las vialidades asfaltadas son las que ocupan un mayor porcentaje de superficie del área de estudio (76.4%), seguido de la terracería con un 18.31%, el concreto con 5.16% y finalmente con adoquín y empedrado con un 0.11 y 0.02 % respectivamente (ver tabla 55).

El cálculo para determina la superficie comprendida por cada tipo de material de las vialidades de la ciudad se hizo a partir de las medidas estándar que tienen cada una de ellas de acuerdo a su jerarquía vial (primarias, secundarias, colectoras, subcolectoras y locales).

$$\textit{Superficie vial por tipo de material} = \sum (a) (l)$$

Donde:
a: ancho de la vialidad de acuerdo al tipo de jerarquía.
l: longitud de calle.

Figura 66. Tipo de material de vialidades



Fuente: elaboración propia con base en Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Hermosillo, Sonora (2014).

Dando como resultado la siguiente tabla con la superficie por tipo de material de vialidades y su porcentaje correspondiente.

Tabla 62. Superficie y porcentajes por tipo de material de vialidades

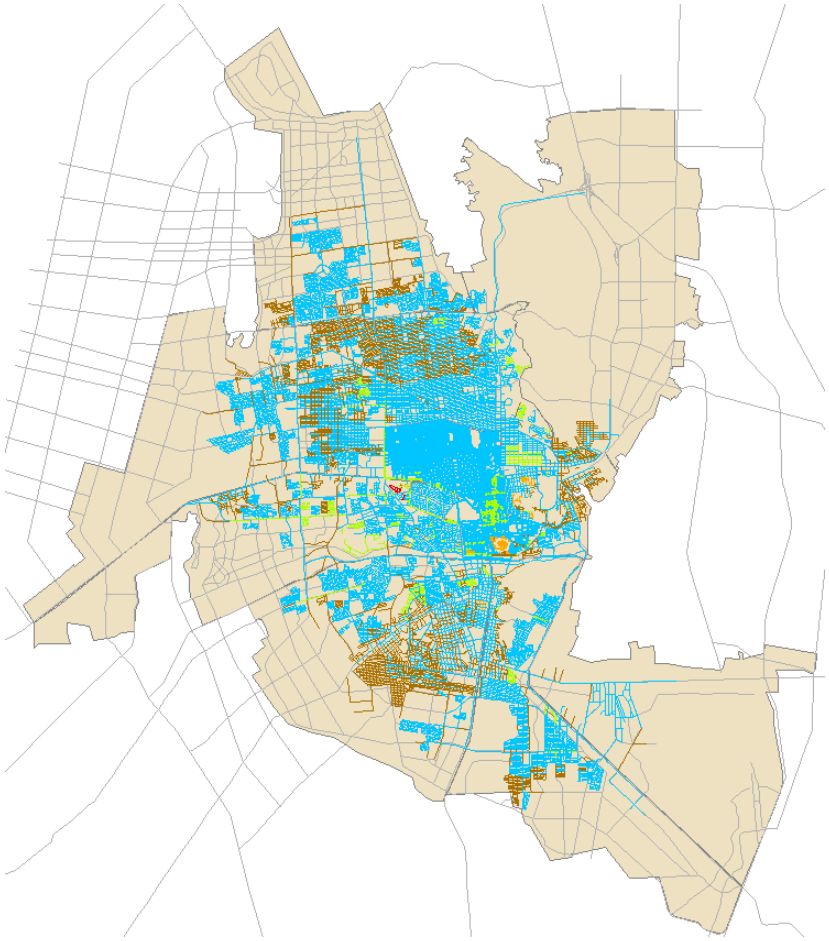
MATERIAL DE VIALIDADES						
CLAVE	**UNIDAD TERRITORIAL DE PLANEACIÓN**	**Terracería**	**Asfalto**	**Concreto**	**Empedrado**	**Adoquín**
SE	Sureste	9.00	94.00	0.00	0.00	0.00
S	Sur	95.00	503.00	28.00	1.00	0.00
SO	Suroeste	323.00	747.00	35.00	2.00	0.00
E	Este	69.00	257.00	10.00	23.00	0.00
C	Centro	3.00	718.00	73.00	10.00	0.00
O	Oeste	72.00	499.00	99.00	2.00	7.00
NO	Noroeste	276.00	751.00	26.00	1.00	0.00
HN	Hermosillo Norte	153.00	443.00	1.00	0.00	0.00
N	Norte	148.00	784.00	21.00	1.00	0.00
NE	Noreste	50.00	205.00	43.00	1.00	0.00
	Superficie Total	**1198.00**	**5001.00**	**337.00**	**41.00**	**7.00**
	% Total	**18.31**	**76.40**	**5.16**	**0.02**	**0.11**

Fuente: elaboración propia con Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Hermosillo, Sonora (2014).

4.4.2.3. Albedo

El albedo de los materiales de las superficies es una de las características que hay que emplear acorde a lo que se quiere controlar en la zona a evaluar, es decir, si los requerimientos del entorno dictan que se necesita controlar el calor en ese espacio urbano (disminuirlo), lo ideal será tener materiales claros de alto albedo; o viceversa, si se requiere aumentar el calor, se deberá emplear materiales obscuros con un albedo más bajo. En este caso, el mayor porcentaje de la superficie vial es de asfalto, siendo este uno de los materiales con un albedo bajo y por tanto con una mayor tendencia a generar el fenómeno de la ICU en la ciudad.

Figura 67. Porcentaje de albedo por tipo de material de vialidades



Fuente: elaboración propia con base en figura 66 y tabla 28.

4.4.2.4. Temperatura superficial

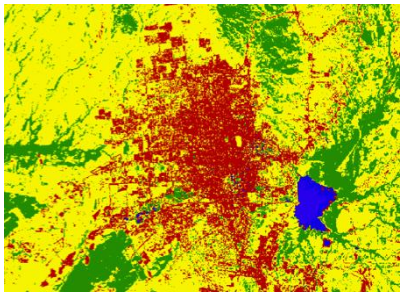
Para el cálculo de la temperatura superficial de la ciudad de Hermosillo, se emplearon las imágenes multiespectrales del satélite LANDSAT8 OLI/TIRS con fecha del 10 de junio del 2015, tomadas a las 17:52:05 h; con una nubosidad del 0.71%; un azimuth de 101.01 y una altura solar de 69.05.

La descarga de imágenes fue realizada a través del software QGIS.2.14.1, habiendo ejecutado la conversión directa de los número digitales de las bandas ráster a reflectancia atmosférica y la banda térmica al brillo de temperatura satelital; así como la corrección atmosférica de las bandas, y finalmente el cambio de temperatura de °K a °C. A partir de esto, se llevó a cabo todo el proceso metodológico propuesto (ver figura 68).

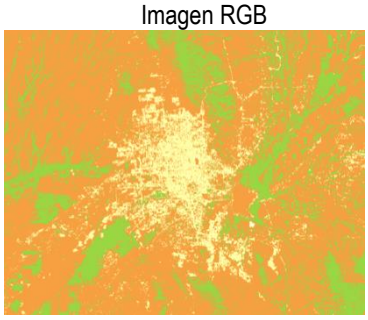
Figura 68. Proceso metodológico para el cálculo de temperatura superficial aplicado al caso de estudio

Imagen RGB

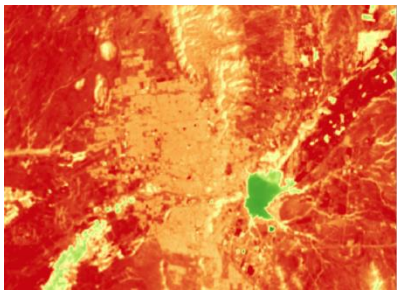
Generación de ROIs



Clasificación de cubierta de suelo



Emisividad por tipo de cubierta de suelo



Temperatura superficial

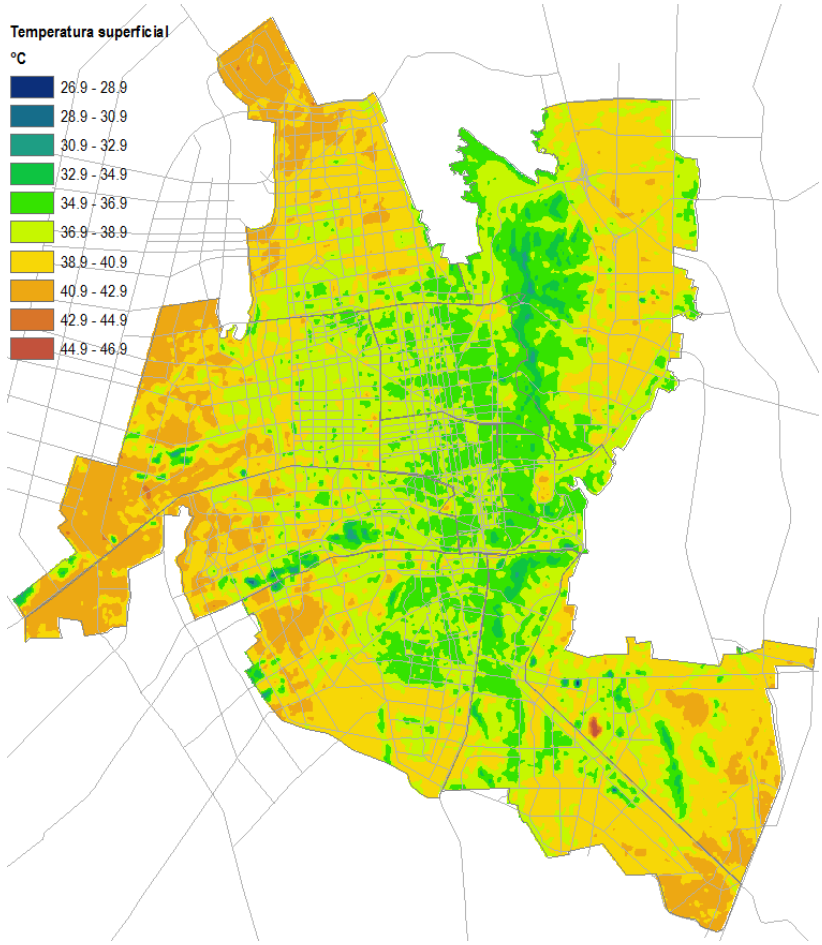
Fuente: elaboración propia con base a procesamiento de imágenes satelitales LANDSAT8 OLI.

En este caso, por la resolución de la imagen satelital (30m x 30m por pixel), el cálculo y análisis de la temperatura superficial de la ciudad, ha englobado las variables de vialidades y espacios abiertos en datos globales.

Así pues, como se observa en la figura 69, la ciudad de Hermosillo, en el día y hora mencionado, ha registrado un rango de temperaturas en toda su superficie que oscilan entre los 26.9 hasta los 46.9 ºC. Las zonas más frías se han registrado principalmente hacia la parte más consolidada de la ciudad, al centro, y las zonas más cálidas hacia las zonas más dispersas de la misma, así como también algunas partes del cerro del Bachoco y algunas tierras productivas.

Sin embargo, la temperatura más alta se dio en la zona sureste donde se encuentra la zona industrial de la ciudad; además que también en esta zona se registró la temperatura superficial más baja, correspondiente a un cuerpo de agua.

Figura 69. Mapa de temperatura superficial de la ciudad de Hermosillo



Fuente: elaboración propia con base en imágenes satelitales LANDSAT8.

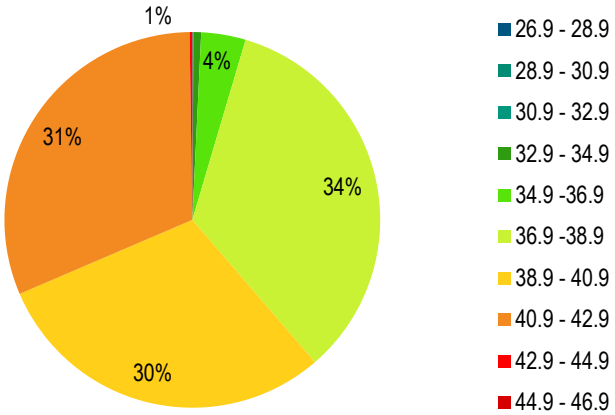
Así pues, si bien el sector sureste no es el más grande de la ciudad, este ha presentado en su superficie todo el rango de temperaturas registrado, destacando con 23.801 km^2 temperaturas entre 38.9 y 40.9 ºC. Además, se puede observar que, en la mayoría de los sectores, la mayor superficie abarcada es aquellas que su temperatura oscila entre los 36.9 y los 40.9 ºC. Por otro lado, la mayor superficie con un menor rango de temperatura superficial se localizó en el sector noreste con 0.251 km^2 de 30.9 a 32.9ºC; seguido del sector oeste con 0.219 km^2 (ver tabla 63).

Tabla 63. Superficie de suelo (ha) por rangos de temperatura superficial

Rango de temperatura superficial (°C)	Noroeste	Hermosillo norte	Oeste	Suroeste	Sur	Sureste	Este	Norte	Noreste	Centro
26.9 - 28.9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000
28.9 - 30.9	0.000	0.000	0.021	0.002	0.005	0.007	0.000	0.000	0.001	0.000
30.9 - 32.9	0.055	0.000	0.219	0.046	0.035	0.055	0.014	0.006	0.251	0.000
32.9 - 34.9	0.371	0.033	0.692	0.276	1.183	0.450	0.231	0.255	3.409	0.152
34.9 -36.9	2.160	1.943	4.280	8.305	8.314	2.160	5.486	9.197	15.341	5.826
36.9 -38.9	19.242	10.401	12.329	17.005	13.411	12.054	4.164	9.998	23.096	7.493
38.9 - 40.9	16.862	21.611	10.875	19.748	15.773	23.810	0.699	0.567	27.251	0.115
40.9 - 42.9	17.616	10.557	10.282	4.394	3.803	4.216	0.066	0.000	0.525	0.019
42.9 - 44.9	0.130	0.032	0.008	0.000	0.000	0.084	0.000	0.000	0.000	0.000
44.9 - 46.9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.087	0.000	0.000	0.000	0.000

Fuente: elaboración propia con base en imágenes satelitales LANDSAT8.

Figura 70. Porcentaje de superficie por rango de temperatura superficial



Fuente: elaboración propia con base en figura 61 y tabla 56.

Finalmente, y como se muestra en la figura anterior (figura 70), se identificó que en el 95% de la superficie de la ciudad engloba principalmente 3 rangos de temperatura; el 34% comprende temperaturas de entre 36.9 y 38.9 ºC, seguidos de un 31% con temperaturas entre 40.9 a 42.9ºC y un 30% entre 38.9 a 40.9ºC

4.4.2.5. Vegetación

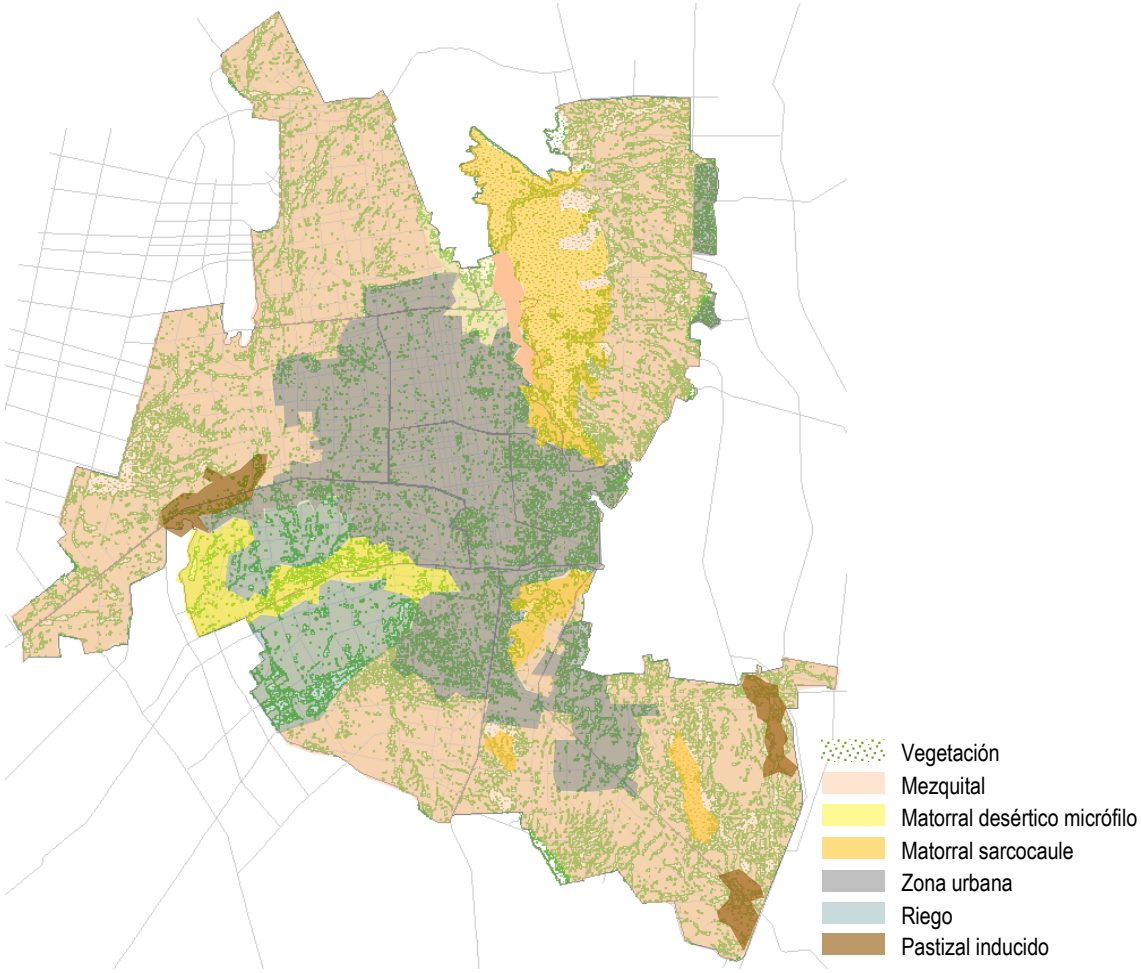
De acuerdo con el PDMH (2016:67), además de la zona urbana y los cuerpos de agua, Hermosillo cuenta con 8 tipos de vegetación (ver tabla 64 figura 71). El predominante es el Mezquital que comprende el 58.24% de la superficie, seguido de la vegetación de riego con un 12.56%, y el matorral sarcocaule con un 9.86% total.

Tabla 64. Tipología de vegetación y suelo de acuerdo al PDMH.

Tipo de vegetación	Descripción
Mezquital	Vegetación arbórea formada principalmente por mezquites (prosopis), en zonas semiáridas, sobre suelos planos y profundos
Riego	Los cultivos reciben agua mediante algún sistema de riego durante todo el ciclo agrícola
Matorral sarcocaule	Vegetación arbustiva mixta con abundancia de plantas de tallos carnosos (sarcocaules). Se distribuye en la Península de Baja California y Sonora
Zona urbana	Lugar ocupado por más de 2 mil 500 personas
Matorral desértico micrófilo	Vegetación de zonas áridas con predominancia de arbustos con hojas o folíolos pequeños
Cuerpo de agua	Las diferentes formas de agua encontradas en la naturaleza, ya sean, aguas superficiales, subterráneas, marinas o casquetes polares
Pastizal inducido	Se desarrolla al eliminarse la vegetación original (bosque, selva, matorral, otros), o en áreas agrícolas abandonadas
Riego suspendido	Áreas que tuvieron irrigación y han sido abandonadas
Bosque cultivado	Plantaciones de árboles establecidas con diferentes fines: uso forestal, constrol de erosión, recreación, etc.
Pastizal cultivado	Se introduce por medio de labores de cultivo. Se encuentran principalmente en zonas tropicales.

Fuente: Programa de Desarrollo Metropolitano de Hermosillo 2016.

Figura 71. Vegetación detectada con LANDSAT8 y su tipología de acuerdo al PDMH



Fuente: elaboración propia con base a figura x y (PDMH, 2016:66).

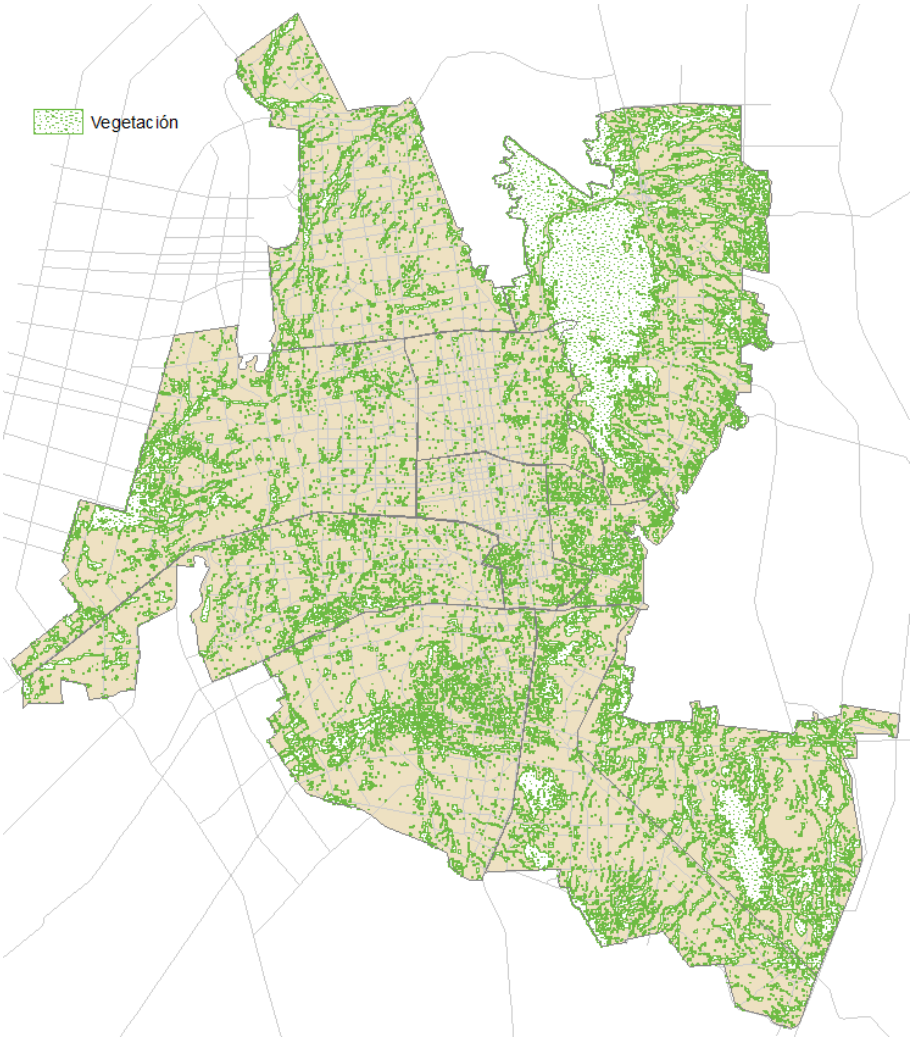
En conjunto y con base en el cálculo del NDVI a través de las imágenes satelitales, se obtuvieron 9 mil 246 hectáreas de superficie con vegetación. Esta contempla aquella localizada en la zona urbana, la urbanizable y la de conservación.

Como se puede observar en la figura 64 y la tabla 65, el sector o UTP con mayor superficie de vegetación es el Noreste con 3 mil 550 ha, las cuales representan más del 50% del total de la vegetación de la ciudad. Esto debido a que en esta zona se localiza una importante área montañosa como lo es el Cerro del Bachoco. Por tanto.

Por otro lado, la UTP con menor superficie con vegetación es la Norte, ya que únicamente abarca un 7.05% del área total; seguido de la zona Centro con un 12.82%. Es decir, las dos UTP con mayor consolidación urbana, son las que menor cantidad de superficie de vegetación tiene.

En general y a pesar de las zonas montañosas que se encuentran dentro de la ciudad, el porcentaje de vegetación es relativamente bajo, ya que únicamente abarca un 23.65% del total de su superficie.

Figura 72. Vegetación detectada con LANDSAT8 en la ciudad de Hermosillo



Fuente: elaboración propia con base en imágenes satelitales LANDSAT8.

Tabla 65. Superficie con vegetación por cada UTP

SUPERFICIE CON VEGETACIÓN			
Clave	**Unidad Territorial de Planeación (UTP)**	**Superficie con vegetación (ha)**	**Porcentaje de vegetación por UTP (%)**
SE	Sureste	1,354.3	31.27
S	Sur	891.5	20.94
SO	Suroeste	829.3	16.65
E	Este	305.9	28.39
C	Centro	179.2	12.97
O	Oeste	535.0	13.74
NO	Noroeste	883.9	15.64
HN	Hermosillo Norte	575.0	12.82
N	Norte	141.3	7.05
NE	Noreste	3,550.7	50.43
Superficie Total		**9,246.2**	**23.65**

Fuente: elaboración propia con base en imágenes satelitales LANDSAT8.

4.4.3. Variables de análisis de espacios abiertos

Los espacios abiertos analizados en este apartado, engloban aquellos de tipo recreativo como plazas, jardines y parques, además de áreas deportivas y áreas verdes.

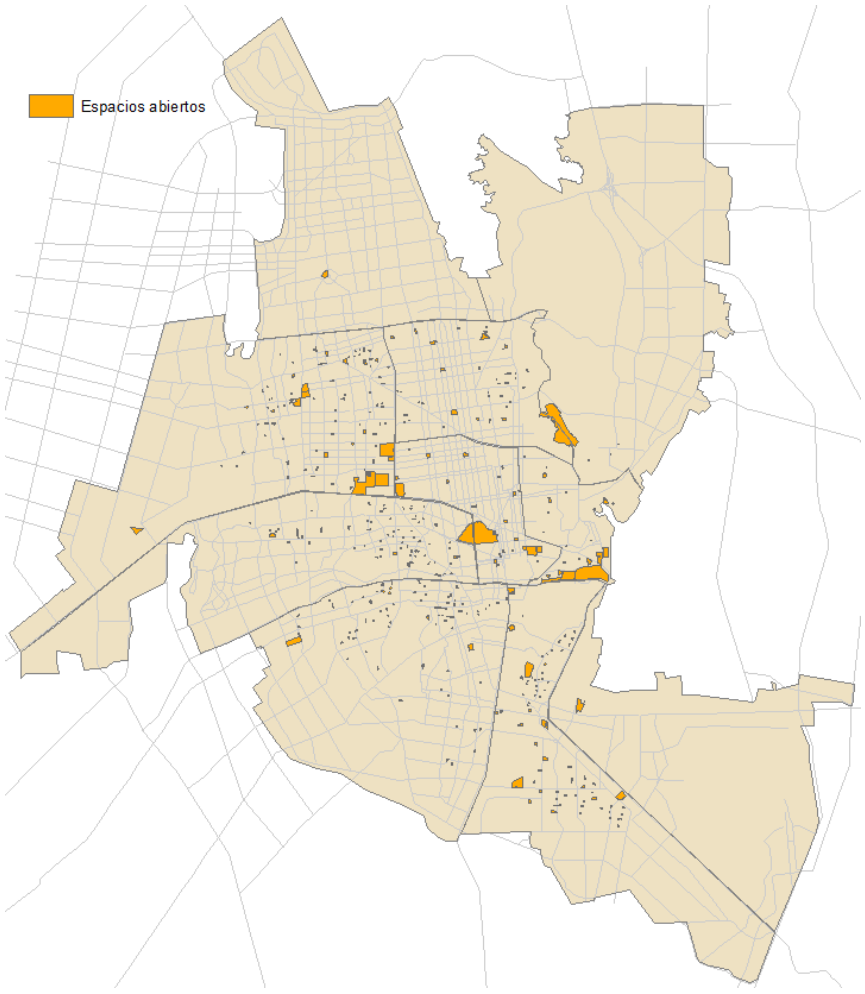
4.4.3.1. Superficie

Dentro de la zona urbana, se tienen siete grandes superficies de espacios abiertos, localizados principalmente en la zona centro, este, oeste, noreste, y noroeste (ver figura 73). Por los demás, tienen en promedio una superficie similar.

Las grandes áreas de espacios abiertos son identificadas como:

- Parque de la Sauceda (Este)
- Parque Madero; Parque infantil de Hermosillo; Parque el mundito. (Centro)
- Centro de Usos Múltiples (Noroeste)
- Área deportiva del Instituto Tecnológico de Hermosillo (Noroeste)
- Área Verde del Fraccionamiento La Joya (Noreste)
- Unidad deportiva de la Universidad de Sonora; estadio Miguel Castro Servín (Centro y Oeste)
- Estadio Héroes de Nacozari (Noroeste).

Figura 73. Localización y superficie de los espacios abiertos de la ciudad de Hermosillo



Fuente: elaboración propia con base en imágenes satelitales LANDSAT8.

En general, la superficie de espacios abiertos en la ciudad, apenas representa un 1.51% (ver tabla 66), siendo la UTP Centro con la mayor superficie de estos (132.40 ha), en parte debido al área deportiva de la Universidad de Sonora y otras zonas dentro de la misma. Por otro lado, la zona noroeste es la segunda que más superficie de espacios abiertos tiene, los cuales son en su mayoría deportivos (105.71 ha).

El tercer caso más grande, se refiere al Área Verde perteneciente al fraccionamiento La Joya, en el sector Este de la ciudad. Sin embargo, por sus características físicas (principalmente las pronunciadas pendientes que presenta), no es desarrollable para ningún uso.

Por otro lado, la UTP sureste, es la que menor superficie tiene destinada a este tipo de espacios (7.09 ha), y esto está relacionado con su tipo de suelo predominante que es industrial.

Tabla 66. Superficie de Espacios Abiertos por cada UTP

SUPERFICIE ESPACIOS ABIERTOS				
Clave	**Unidad Territorial de Planeación (UTP)**	**Superficie de Espacios abiertos (ha)**	**Superficie de UTP (ha)**	**Porcentaje de Espacios abiertos por UTP (%)**
SE	Sureste	7.09	4,331.60	0.16
S	Sur	49.50	4,257.12	1.16
SO	Suroeste	28.89	4,980.38	0.58
E	Este	78.00	1,077.43	7.24
C	Centro	132.40	1,381.77	9.58
O	Oeste	31.90	3,892.73	0.82
NO	Noroeste	105.71	5,650.65	1.87
HN	Hermosillo Norte	18.47	4,486.16	0.41
N	Norte	76.56	2,004.29	3.82
NE	Noreste	60.05	7,041.25	0.85
	Superficie Total	**588.58**	**39,103.38**	**1.51**

Fuente: elaboración propia con base en cartografía PDUCPH (2007).

4.4.3.2. Cuerpos de agua

Si bien no se encuentra dentro del área de planeación de la localidad de Hermosillo, el cuerpo de agua principal localizado a un costado de la UTP Este, es la presa Abelardo L. Rodríguez. La cual tiene una superficie aproximada de 1,559.23 ha.

Por lo demás, se tienen cuerpos de agua en el Parque la Sauceda, a partir de una serie de juegos infantiles acuáticos y un lago artificial; el Parque Madero igualmente alberga un lago en su interior; la Plaza Bicentenario en la zona Centro, cuenta con una fuente de agua a chorro; Además, otra zona con superficies con agua en zona habitacional, es el Fraccionamiento Los Lagos, localizado en la zona Oeste de la ciudad.

En esta misma zona se localiza una serie de cuerpos de agua, que, si bien no forman parte de un Espacio Abierto recreativo o deportivo por sus dimensiones, pueden llegar a tener influencia en las zonas colindantes a ellos, sin embargo, no se encuentran desarrolladas, es decir, a su alrededor se tienen principalmente lotes baldíos (ver figura 74).

Figura 74. Cuerpos de agua que influencian la ciudad de Hermosillo

Fuente: elaboración propia con base en imágenes satelitales LANDSAT8.

4.4.3.3. Temperatura superficial

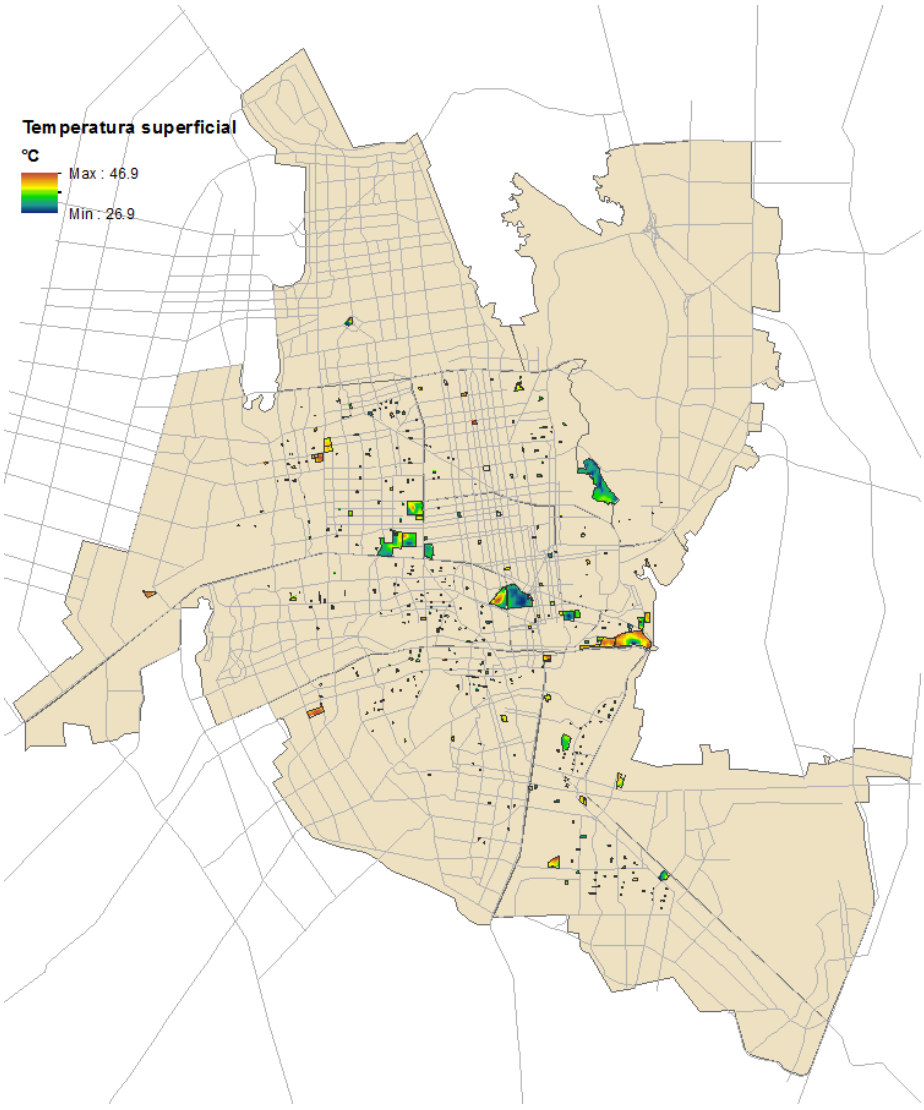
La temperatura superficial de los diferentes espacios abiertos de la ciudad, varían en promedio de entre los 30.9 hasta los 42.9 ºC. Sin embargo, la mayor superficie de estos espacios que albergan las temperaturas medianamente altas, se localizan al noroeste, con alrededor de 57 ha de entre 36.9 a 38.9 ºC y 41.04 ha de entre 38.9 a 40.9ºC; y es precisamente también en este sector donde se ubican también las temperaturas superficiales más altas, que van desde 40.9 a 42.9ºC en un área de 3.6 ha, así como en el sector suroeste con 4.77 ha. Por otro lado, las temperaturas superficiales más bajas se dan en el sector este, las cuales varían entre 30.9 y 32.9 ºC cubriendo un área de 1.35 ha (ver figura 76 y tabla 67).

Estas temperaturas superficiales se deben principalmente al tipo de material con el cual se encuentran recubiertas, a la ausencia de vegetación, la presencia de cuerpos de agua, o bien al sombreamiento. Por ejemplo, en el área del Parque de la Sauceda, las temperaturas más bajas se dan en la zona donde se encuentra el lago artificial; lo mismo pasa con el Parque Madero, que debido a los cuerpos con agua y de vegetación arbórea dispuesta de manera más compacta, propicia que las temperaturas superficiales sean más bajas (ver imagen 75).

Figura 75. Espacios Abiertos con baja temperatura superficial. Parque Madero y Parque La Sauceda.

Fuente: Google Earth[30]

Figura 76. Mapa de temperatura superficial de los espacios abiertos de la ciudad de Hermosillo



Fuente: elaboración propia con base en imágenes satelitales LANDSAT8.

[30] Imagen tomada en Septiembre del 2015

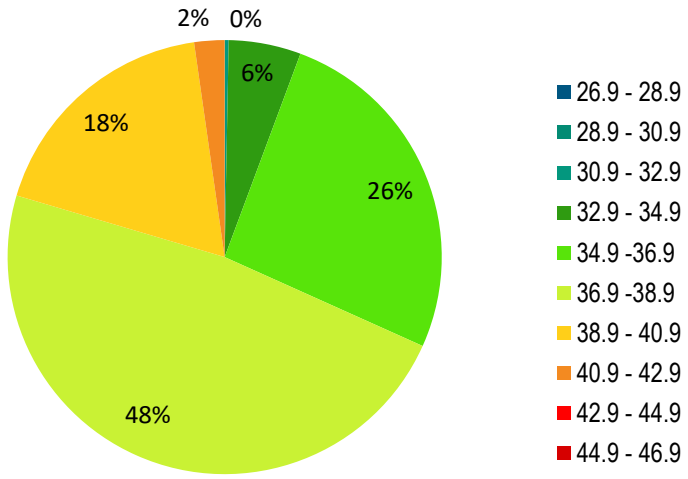
Tabla 67. Superficie de suelo (ha) por rangos de temperatura superficial de los espacios abiertos de la ciudad de Hermosillo.

Rango de temperatura superficial (°C)	Noroeste	Hermosillo norte	Oeste	Suroeste	Sur	Sureste	Este	Norte	Noreste	Centro
26.9 - 28.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28.9 - 30.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30.9 - 32.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35	0.00	0.00	0.00
32.9 - 34.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.26	3.15	14.76	5.31
34.9 -36.9	1.26	1.26	1.26	2.34	8.46	0.00	17.28	27.63	21.24	37.71
36.9 -38.9	56.97	13.05	7.38	13.32	35.73	0.36	43.20	6.66	0.18	40.86
38.9 - 40.9	41.04	5.40	0.72	4.32	4.41	6.66	10.35	2.97	0.00	6.75
40.9 - 42.9	3.60	0.00	0.00	4.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.89
42.9 - 44.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
44.9 - 46.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia con base en imágenes satelitales LANDSAT8.

Finalmente se cuenta que los tres rangos de temperatura más representativos tienen que el 48% de la superficie de estos espacios adquieren temperaturas superficiales de entre 36.9 a 38.9ºC, un 26% entre los 34.9 y los 36.9 ºC, y finalmente el 18% con temperaturas más altas de entre 38.9 y 40.9ºC (ver figura 77)

Figura 77. Porcentajes de superficie por rango de temperatura superficial en los espacios abiertos de la ciudad



Fuente: elaboración propia con base en tabla x.

4.4.3.4. Vegetación

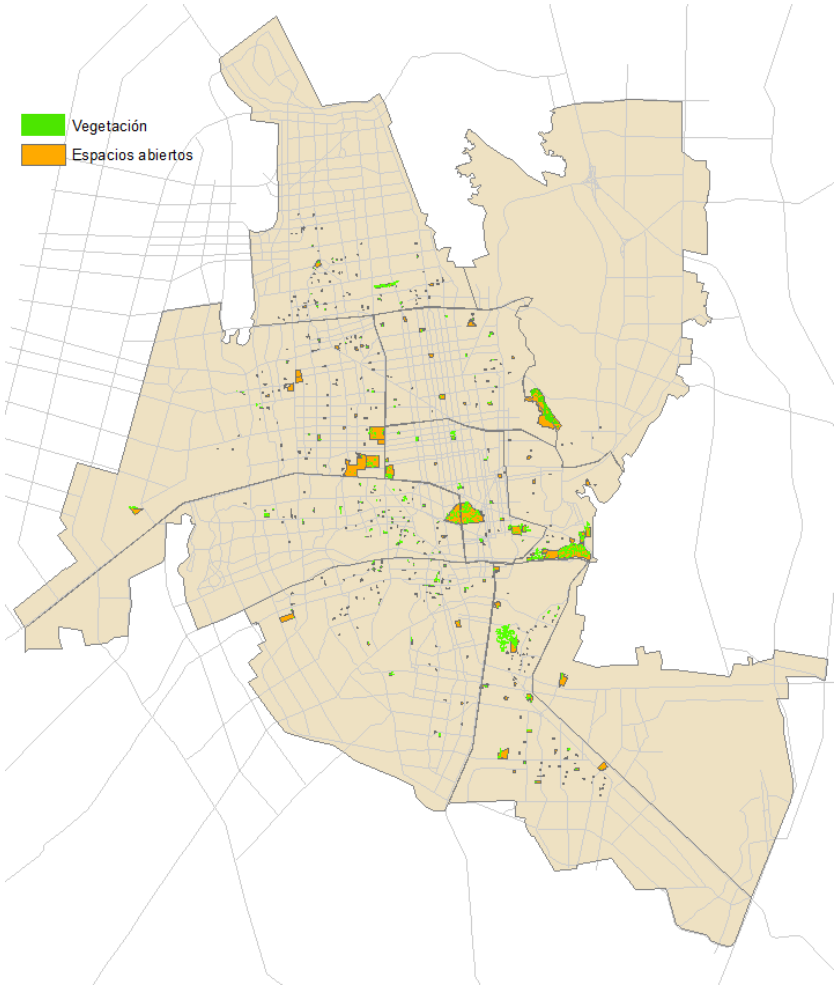
La vegetación localizada dentro de los espacios abiertos suma 43.91 ha en total, las cuales representan un 7.46% (ver tabla x) de la superficie del conjunto de estas áreas de la ciudad. En este caso, la UTP Noreste tiene un 41.14% de superficie cubierta con vegetación (24.70 ha), principalmente matorral desértico, siendo esta la más grande de todos (ver figura 78 y 79).

Figura 78. Vegetación de Área Verde en UTP Noreste

Fuente: Google Earth[31]

Por otro lado, en las UTM Sur, Este y Centro, la superficie de vegetación caría entre los 4.25 y 4.66 ha, pero estas sólo representan entre el 3.23% al 8.59% de la superficie de los espacios abiertos ahí localizados. Por su parte, las UTP Suroeste, Oeste, Noroeste y Hermosillo Norte, tienen una superficie con vegetación de entre 1.03 a 1.66 ha, de lo cual, los porcentajes que representan dentro del total de los espacios abiertos es muy bajo (entre 1.45 a 5.79%). Finalmente los que contienen una menor superficie con vegetación son el sector Sureste con 0.11 ha y la Norte con 0.61 ha (representan el 1.52% y 0.8% respectivamente)

Figura 79. Vegetación detectada con LANDSAT8 en los espacios abiertos de la ciudad de Hermosillo



Fuente: elaboración propia con base en imágenes satelitales LANDSAT8.

[31] Imagen tomada en agosto del 2015

Tabla 68. Superficie con vegetación calculada en los espacios abiertos de la ciudad de Hermosillo

SUPERFICIE CON VEGETACIÓN				
Clave	**Unidad Territorial de Planeación (UTP)**	**Superficie con vegetación (ha)**	**Superficie de Espacios abiertos (ha)**	**Porcentaje de vegetación en Espacios abiertos por UTP (%)**
SE	Sureste	0.11	7.09	1.52
S	Sur	4.25	49.50	8.59
SO	Suroeste	1.03	28.89	3.58
E	Este	4.66	78.00	5.97
C	Centro	4.28	132.40	3.23
O	Oeste	1.66	31.90	5.21
NO	Noroeste	1.53	105.71	1.45
HN	Hermosillo Norte	1.07	18.47	5.79
N	Norte	0.61	76.56	0.80
NE	Noreste	24.70	60.05	41.14
	Superficie Total	**43.91**	**588.58**	**7.46**

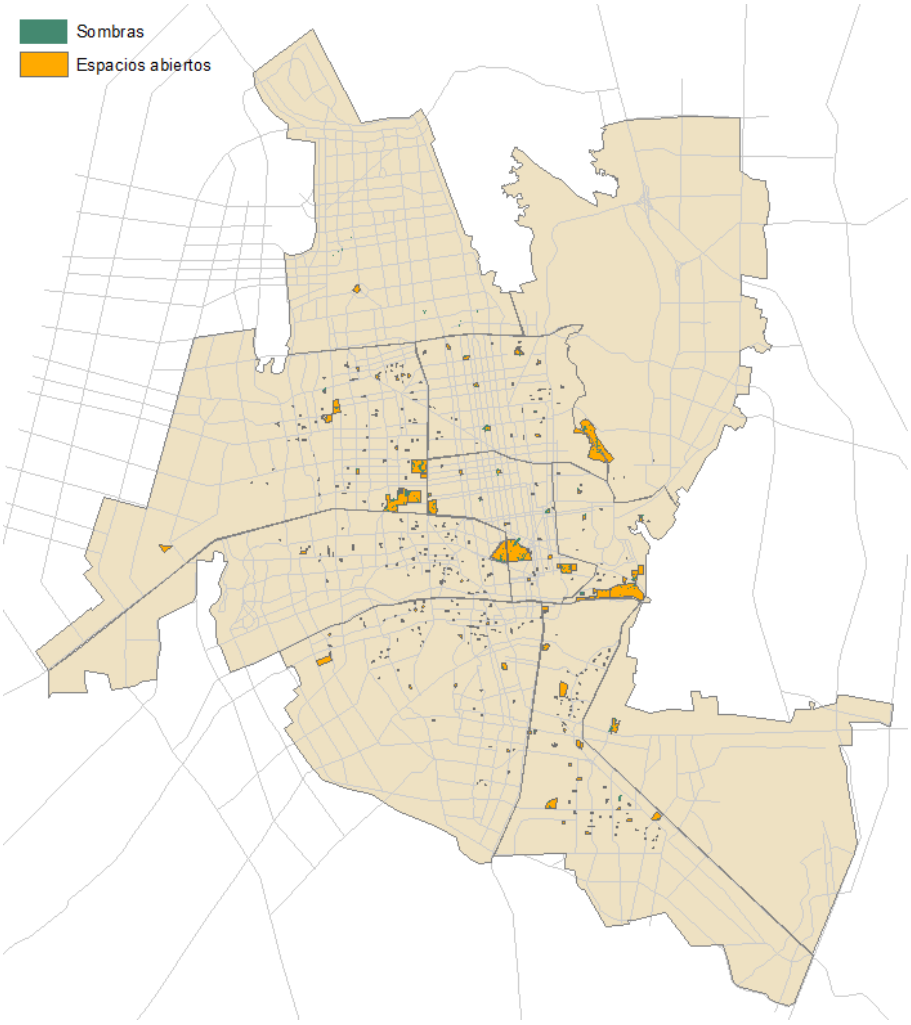
Fuente: elaboración propia con base en figura 71.

4.4.3.5. Sombras

En este caso, como se puede observar, los espacios abiertos con una mayor superficie sombreada se localizaron en la zona centro, y esto se debe principalmente a que en estas áreas se tiene un mayor porcentaje de vegetación arbórea que propicia generar un mayor porcentaje de sombras. Asimismo, en el sector noroeste se encuentran los espacios abiertos con una mayor superficie sombreada (ver figura 80 y tabla 69).

Por otro lado, la zona Oeste, a pesar de que es una de los sectores con mayor superficie de espacios abiertos, esta resultó ser una de las zonas donde menos sombreamiento tiene, debido principalmente a la falta de vegetación arbórea. Asimismo, Hermosillo Norte resultó ser la zona donde menos sombreamiento tienen los espacios abiertos, pero esto va ligado a que la superficie destinada a estos es muy baja.

Figura 80. Superficie sombreada calculada en los espacios abiertos de la ciudad de Hermosillo.



Fuente: elaboración propia con base en imágenes satelitales LANDSAT8.

Tabla 69. Superficie con vegetación calculada en los espacios abiertos de la ciudad de Hermosillo.

SUPERFICIE SOMBREADA				
Clave	**Unidad Territorial de Planeación (UTP)**	**Superficie sombreada (ha)**	**Superficie de Espacios abiertos (ha)**	**Porcentaje de sombreamiento en Espacios abiertos por UTP (%)**
SE	Sureste	1.62	7.09	22.84
S	Sur	4.41	49.50	8.91
SO	Suroeste	1.89	28.89	6.54
E	Este	1.908	78.00	2.45
C	Centro	19.44	132.40	14.68
O	Oeste	1.08	31.90	3.39
NO	Noroeste	16.65	105.71	15.75
HN	Hermosillo Norte	1.62	18.47	8.77
N	Norte	4.95	76.56	6.47
NE	Noreste	7.11	60.05	11.84
	Superficie Total	**60.678**	**588.58**	**10.31**

Fuente: elaboración propia con base en figura x.

En promedio se calculó una superficie sombreada de 77.85 ha, lo cual representa el 4.06% del total de la superficie de la ciudad

4.5. Fase 5: Evaluación

4.5.1. *Establecimiento de requerimientos del entorno de acuerdo a las características climáticas de la ciudad.*

A partir de la tabla de requerimientos del entorno del COMFORT-EX para la ciudad de Hermosillo, se han determinado, bajo un horario de actividades de 7:00 a 20:00 h, el nivel de prioridad de atención de dichos requerimientos.

De lo anterior, se puede observar en la figura x que, dentro del horario analizado, se incluyen todos los requerimientos del entorno que abarcan la totalidad del año. Esto se debe principalmente a la oscilación térmica que tiene la ciudad durante todo el año y principalmente en las horas diurna.

Así pues, a partir de la tabla 70 y la figura 81, se entiende que la ciudad, como respuesta a sus características climáticas, tiene como prioridad propiciar el enfriamiento evaporativo, disminuir la radiación solar, disminuir la temperatura radiante, propiciar en confinamiento, e incluso llegar a emplear sistemas activos para generar enfriamiento evaporativo por medios mecánicos.

A excepción de los meses de julio, agosto y casi en su totalidad del mes de septiembre, se llegan a tener en promedio, algunas horas de confort térmico. Gran parte de ello se da incluso en el horario de actividades marcado. Sin embargo, los requerimientos en torno al alba y al ocaso (exceptuando los meses de julio, agosto y septiembre), suelen enfocarse al aumento de la radiación solar, al aumento de la temperatura radiante y el control del viento.

Si no se tomase en cuenta el horario de actividades, se puede observar en la figura x que el porcentaje de los requerimientos del entorno principales, en realidad se enfocan en conjunto, al aumento de radiación solar y de temperatura, pero que por medios pasivos no es posible lograr debido a la ausencia de radiación solar.

Por otro lado, y nuevamente debido a la gran oscilación térmica que tiene este tipo de clima de la ciudad de Hermosillo, se tienen en menor medida, momentos higrotérmicos críticos en los que se encuentran al límite del control pasivo para poder alcanzar un estado de Confort. Los meses de julio, agosto y septiembre en este caso, son los que presentan esta condición dentro del horario de actividades, debido a las altas temperaturas y humedad relativa.

Entonces bien, a partir de lo anterior, se llevará a cabo la siguiente etapa de la evaluación que consta en establecer una serie de puntuaciones de acuerdo con las características presentes en cada uno de los indicadores medidos y calculados anteriormente en el estudio del medio físico construido. Esto con el objetivo de determinar si sus características van acorde con lo que, de acuerdo al clima, deben de tener en el entorno urbano.

Tabla 70. Requerimientos del entorno urbano de la ciudad de Hermosillo y su nivel de prioridad

SIMBOLOGÍA	CARACTERÍSTICAS Y/O REQUERIMIENTOS DEL ENTORNO URBANO	CLIMA CÁLIDO-SECO
I	Imposible restablecer condiciones de confort por medios naturales Límite de la resistencia humana Posibilidad de insolación	-
II	Condición crítica, límite del control pasivo Control de la radiación solar (disminución) Control de la temperatura radiante (disminución) Control de la humedad (disminución) Ventilación mecánica > 3m/s	6
III	Condición crítica, límite del control pasivo Control de la radiación solar (disminución) Control de la temperatura radiante (disminución) Confinamiento, enfriamiento evaporativo Humidificación y ventilación natural o mecánica > 3 m/s	2
IV	Enfriamiento evaporativo (humidificación y ventilación) Control de la radiación solar (disminución) Control de la temperatura radiante (disminución)	1
V	Control de la humedad (disminución) Control de la radiación solar (disminución) Control de la temperatura radiante (disminución)	7
VI	Control de la humedad (disminución) Control de la radiación solar (disminución)	-
VII	Confortable a la sombra	4
VIII	Control de la radiación solar (aumento) Aumento de la temperatura radiante (pasivo y artificial) Control del viento (confinamiento)	3
IX	Control de la radiación solar (aumento) Aumento de la temperatura radiante (pasivo y artificial) Control del viento (confinamiento)	5
X	Imposible restablecer condiciones de confort por medios naturales Control de la radiación solar (aumento) Aumento de la temperatura radiante (pasivo y artificial) Control del viento (confinamiento)	8
XI	Imposible restablecer condiciones de confort por medios naturales Límite de la resistencia humana Posibilidad de congelamiento	-

Figura 81 Requerimientos del entorno urbano de la ciudad de Hermosillo

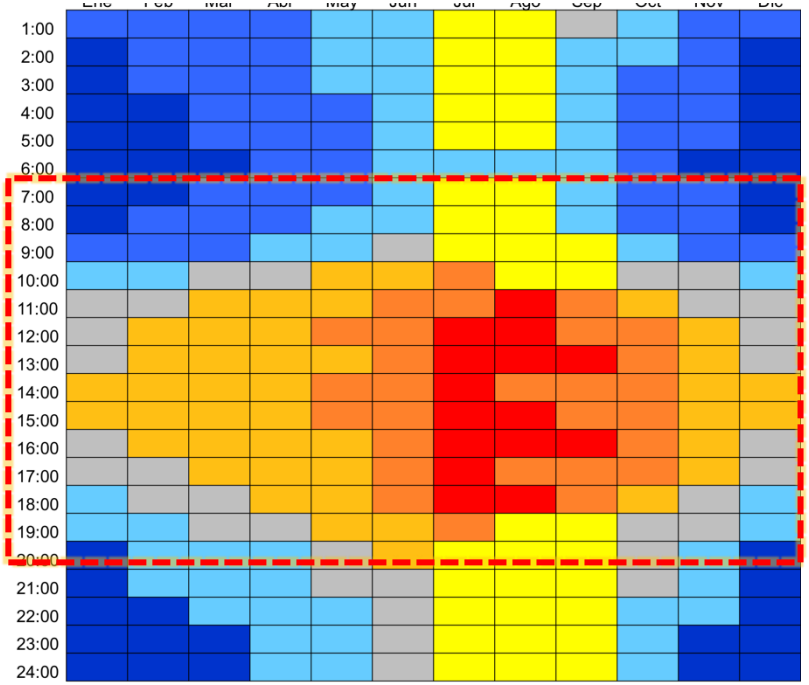


Figura 74. Porcentaje por tipo de requerimiento del entorno de Hermosillo.

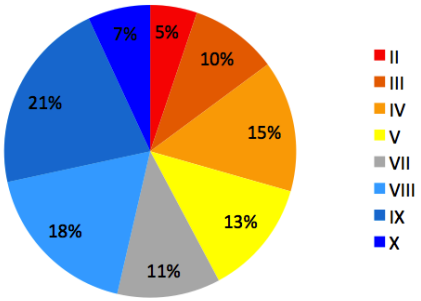
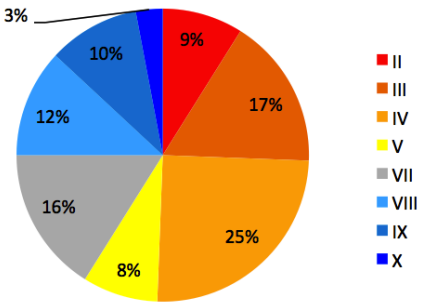


Figura 75. Porcentaje por tipo de requerimiento del entorno de Hermosillo por nivel de prioridad.



4.5.2. Proceso de puntuación de los indicadores del medio físico construido en relación con los requerimientos del entorno.

Para establecer la puntuación indicada del estado actual de los diferentes indicadores por cada tipo de parámetro (edificaciones, vialidades y espacios abiertos), la metodología de evaluación determinó una serie de valores otorgados de acuerdo a las características que presentaran dichos indicadores para cada tipo de clima y requerimiento del entorno urbano. Estos valores varían desde el 1 al 4.

De tal manera que, la siguiente puntuación que se le da a los distintos indicadores, surge a partir de los resultados del análisis del Medio físico construido realizado anteriormente, atendiendo igualmente los requerimientos del entorno surgidos del COMFORT-EX y para el clima cálido seco.

Finalmente, a partir de las puntuaciones establecidas, se ha de llevar a cabo a cabo la graficación de los resultados de acuerdo al tipo de requerimiento del entorno urbano y los diferentes indicadores evaluados. Además, establecer los porcentajes de cumplimiento de dichos requerimientos por cada tipo de parámetro; esto tomando en cuenta que el 100% sería la sumatoria de las puntuaciones más altas de todos los indicadores.

CONDICIÓN CRÍTICA. LÍMITE DEL CONTROL PASIVO.						
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**			
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**	
1.1.	**Densidad edificatoria**					
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Grandes volúmenes de edificaciones.	4		
		1.1.1.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3		
		1.1.1.c.	Volumetría de edificaciones baja.	2		2
		1.1.1.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1		
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	≥a 5 niveles	4		
		1.1.2.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3		
		1.1.2.c.	≤ 2 niveles	2		2
		1.1.2.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1		
1.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4		
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3		

		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	1
			Puntaje máximo	**12**	
			Puntaje total evaluado		**5**
	Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**	
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
2.1.	**Material de vialidad**				
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	4	
		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	3	
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	2	
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	1	1
2.1.2.	Tipo de material	2.1.2.a.	Mayor % de suelo con vegetación	4	
		2.1.2.b.	Mayor % de materiales petreos	3	
		2.1.2.c.	Mayor % de material hormigón	2	
		2.1.2.d.	Mayor % de material asfáltico	1	1
2.1.3.	albedo	2.1.3.a.	Mayor superficie con un % aproximado entre 21 - 45 % de albedo	4	
		2.1.3.b.	Mayor superficie con un % aproximadamente ≥ 45 % de albedo	3	
		2.1.3.c.	Mayor superficie con un % aproximado entre 6 - 20 % de albedo	2	
		2.1.3.d.	Mayor superficie con un % aproximado < del 5% de albedo	1	1
2.1.4.	Temperatura Superficial	2.1.4.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4	
		2.1.4.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3	

		2.1.4.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2	2
		2.1.4.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1	
2.2.	**Vegetación**				
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	4	
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	3	
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	2	2
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	1	
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	1
			Puntaje máximo	**24**	
			Puntaje total evaluado		**8**

Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**		
Indicador		**Estado**		**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	3
		3.1.c.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2	
		3.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1	
3.2.	**Cuerpos de agua**	3.2.a.	Muy Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	4	
		3.2.b.	Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	3	
		3.2.c.	Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	2	
		3.2.d.	Muy Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	1	1
3.3.	**Temperatura superficial**	3.3.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4	

		3.3.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3		
		3.3.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2		2
		3.3.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1		
3.4.	**Vegetación**					
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	4		
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	3		
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	2		
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	1		1
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4		
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3		
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2		
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1		1
				Puntaje máximo	**20**	
				Puntaje total evaluado		**8**
				Puntaje máximo del requerimiento		56
				Puntaje obtenido del requerimiento		**21**
				% obtenido		**37.5%**

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (DISMINUCIÓN)					
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Grandes volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.1.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	

		1.1.1.c.	Volumetría de edificaciones baja.	2	2
		1.1.1.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	≥a 5 niveles	4	
		1.1.2.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.2.c.	≤ 2 niveles	2	2
		1.1.2.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.2.	Sombras	1.2.1.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		1.2.1.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		1.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		1.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	1
			Puntaje máximo	**12**	
			Puntaje total evaluado		**5**

Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
2.1.	**Material de vialidad**				
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	4	
		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	3	
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	2	
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	1	1
2.2.	**Vegetación**				

2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	4	
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	3	
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	2	2
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	1	
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	1
			Puntaje máximo	**12**	
			Puntaje total evaluado		**4**

Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	3
		3.1.c.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2	
		3.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1	
3.4.	**Vegetación**				
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	4	
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	3	
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	2	
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	1	1
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	1

				Puntaje máximo	12
				Puntaje total evaluado	5
				Puntaje máximo del requerimiento	36
				Puntaje obtenido del requerimiento	14
				% obtenido	**38.8%**

	CONTROL DE LA TEMPERATURA RADIANTE (DISMINUCIÓN)				
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Grandes volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.1.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.1.c.	Volumetría de edificaciones baja.	2	2
		1.1.1.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	≥a 5 niveles	4	
		1.1.2.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.2.c.	≤ 2 niveles	2	2
		1.1.2.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.2.	Sombras	1.2.1.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		1.2.1.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		1.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		1.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	1
				Puntaje máximo	12
				Puntaje total evaluado	5

Tipo de clima	CÁLIDO-SECO	Parámetro físico	2. VIALIDADES		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
2.1.	**Material de vialidad**				
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	4	
		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	3	
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	2	
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	1	1
2.1.2.	Tipo de material	2.1.2.a.	Mayor % de suelo con vegetación	4	
		2.1.2.b.	Mayor % de materiales petreos	3	
		2.1.2.c.	Mayor % de material hormigón	2	
		2.1.2.d.	Mayor % de material asfáltico	1	1
2.1.3.	albedo	2.1.3.a.	Mayor superficie con un % aproximado entre 21 - 45 % de albedo	4	
		2.1.3.b.	Mayor superficie con un % aproximadamente ≥ 45 % de albedo	3	
		2.1.3.c.	Mayor superficie con un % aproximado entre 6 - 20 % de albedo	2	
		2.1.3.d.	Mayor superficie con un % aproximado < del 5% de albedo	1	1
2.1.4.	Temperatura Superficial	2.1.4.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4	
		2.1.4.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3	
		2.1.4.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas	2	2
		2.1.4.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1	

2.2.	**Vegetación**				
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4	
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3	
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2	2
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1	
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	1
			Puntaje máximo	**24**	
			Puntaje total evaluado		**8**

Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	3
		3.1.c.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2	
		3.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1	
3.2.	**Cuerpos de agua**	3.2.a.	Muy Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	4	
		3.2.b.	Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	3	
		3.2.c.	Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	2	
		3.2.d.	Muy Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	1	1

3.3.	**Temperatura superficial**	3.3.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4	
		3.3.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3	
		3.3.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas	2	2
		3.3.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1	
3.4.	**Vegetación**				
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	4	
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	3	
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	2	
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea, pastizal, matorral, etc.)	1	1
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	1
			Puntaje máximo	**20**	
			Puntaje total evaluado		**8**
			Puntaje máximo del requerimiento		56
			Puntaje obtenido del requerimiento		**21**
			% obtenido		**37.5%**

	CONTROL DE LA HUMEDAD (DISMINUCIÓN)		
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**

			Estado	Valor	Puntaje
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.1.b.	Grandes volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.1.c.	Volumetría de edificaciones baja.	2	2
		1.1.1.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.2.b.	≥a 5 niveles	3	
		1.1.2.c.	≤ 2 niveles	2	2
		1.1.2.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.2.	Sombras	1.2.1.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		1.2.1.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		1.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		1.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	1
			Puntaje máximo	**12**	
			Puntaje total evaluado		**5**

Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
2.1.	**Material de vialidad**				
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	4	

		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	3	
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	2	
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	1	1
2.1.2.	Tipo de material	2.1.2.a.	Mayor % de suelo con vegetación	4	
		2.1.2.b.	Mayor % de suelo natural	3	
		2.1.2.c.	Mayor % de material hormigón	2	
		2.1.2.d.	Mayor % de material asfáltico	1	1
2.1.3.	albedo	2.1.3.a.	Mayor superficie con un % aproximado entre 21 - 45 % de albedo	4	
		2.1.3.b.	Mayor superficie con un % aproximado entre 6 - 20 % de albedo	3	
		2.1.3.c.	Mayor superficie con un % aproximadamente ≥ 45 % de albedo	2	
		2.1.3.d.	Mayor superficie con un % aproximado < del 5% de albedo	1	1
2.1.4.	Temperatura Superficial	2.1.4.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4	
		2.1.4.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3	
		2.1.4.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas	2	2
		2.1.4.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1	
2.2.	**Vegetación**				
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4	4
		2.2.1.b.	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3	

		2.2.1.c.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2	
		2.2.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1	
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	1
			Puntaje máximo	**24**	
			Puntaje total evaluado		**10**

Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**		
	Indicador		**Estado**	**Valor**	**Puntaje**
3.1.	**Superficie construida**	3.1.a.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	4	
		3.1.b.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	3	
		3.1.c.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	2	
		3.1.d.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos	1	1
3.2.	**Cuerpos de agua**	3.2.a.	Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	4	
		3.2.b.	Muy Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	3	3
		3.2.c.	Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	2	
		3.2.d.	Muy Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	1	
3.3.	**Temperatura superficial**	3.3.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4	
		3.3.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3	

		3.3.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas	2	2
		3.3.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1	
3.4.	**Vegetación**				
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4	
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3	
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2	
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1	1
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	1
			Puntaje máximo	**20**	
			Puntaje total evaluado		**8**
				Puntaje máximo del requerimiento	56
				Puntaje obtenido del requerimiento	**23**
				% obtenido	**41.1%**

CONFINAMIENTO. ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO

Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**1. EDIFICACIONES**		
Indicador		**Estado**		**Valor**	**Puntaje**
1.1.	**Densidad edificatoria**				
1.1.1.	Intensidad de uso	1.1.1.a.	Grandes volúmenes de edificaciones.	4	
		1.1.1.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	

		1.1.1.c.	Volumetría de edificaciones baja.	2	2
		1.1.1.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.1.2.	Verticalidad	1.1.2.a.	≥a 5 niveles	4	
		1.1.2.b.	Variedad de volúmenes de edificaciones.	3	
		1.1.2.c.	≤ 2 niveles	2	2
		1.1.2.d.	Grandes predios vacíos/baldíos.	1	
1.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	1
			Puntaje máximo	**12**	
			Puntaje total evaluado		**5**

Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**		
Indicador		**Estado**		**Valor**	**Puntaje**
2.1.	**Material de vialidad**				
2.1.1.	Superficie	2.1.1.a.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:3 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	4	
		2.1.1.b.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 1:2 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	3	
		2.1.1.c.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 2:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	2	
		2.1.1.d.	Mayor % de superficie vial en Proporción ≥ 3:1 con relación con la altura y volúmen de las edificaciones.	1	1
2.1.2.	Tipo de material	2.1.2.a.	Mayor % de suelo con vegetación	4	
		2.1.2.b.	Mayor % de materiales pétreos	3	
		2.1.2.c.	Mayor % de material hormigón	2	
		2.1.2.d.	Mayor % de material asfáltico	1	1

2.1.3.	albedo	2.1.3.a.	Mayor superficie con un % aproximado entre 21 - 45 % de albedo	4	
		2.1.3.b.	Mayor superficie con un % aproximadamente ≥ 45 % de albedo	3	
		2.1.3.c.	Mayor superficie con un % aproximado entre 6 - 20 % de albedo	2	
		2.1.3.d.	Mayor superficie con un % aproximado < del 5% de albedo	1	1
2.1.4.	Temperatura Superficial	2.1.4.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4	
		2.1.4.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3	
		2.1.4.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2	2
		2.1.4.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1	
2.2.	**Vegetación**				
2.2.1.	Superficie	2.2.1.a	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4	
		2.2.1.b.	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3	
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2	2
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1	
2.2.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	1
			Puntaje máximo	**24**	
			Puntaje total evaluado		**8**

Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**		
Indicador		**Estado**		**Valor**	**Puntaje**
3.1. **Superficie construida**	3.1.a.	Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos		4	
	3.1.b.	Muy Bajo porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos		3	3
	3.1.c.	Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos		2	
	3.1.d.	Muy Alto porcentaje de superficie de espacios abiertos recreativos y/o deportivos		1	
3.2. **Cuerpos de agua**	3.2.a.	Muy Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua		4	

		3.2.b.	Alto porcentaje de superficie con cuerpos de agua	3	
		3.2.c.	Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	2	
		3.2.d.	Muy Bajo porcentaje de superficie con cuerpos de agua	1	1
3.3.	**Temperatura superficial**	3.3.a.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más bajas	4	
		3.3.b.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio bajas	3	
		3.3.c.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales medio altas bajas	2	2
		3.3.d.	Mayor porcentaje de superficie con las temperaturas superficiales más altas	1	
3.4.	**Vegetación**				
3.4.1.	Superficie	2.2.1.a	Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	4	
		2.2.1.b.	Muy Alto porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	3	
		2.2.1.c.	Bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	2	
		2.2.1.d.	Muy bajo porcentaje de superficie con vegetación (arbórea y pastizal)	1	1
3.4.2.	Sombras	2.2.2.a	Muy Alto porcentaje de superficie sombreada	4	
		2.2.2.b.	Alto porcentaje de superficie sombreada	3	
		2.2.2.c.	Bajo porcentaje de superficie sombreada	2	
		2.2.2.d.	Muy bajo porcentaje de superficie sombreada	1	1
			Puntaje máximo	**20**	
			Puntaje total evaluado		**8**
			Puntaje máximo del requerimiento		56
			Puntaje obtenido del requerimiento		21
			% obtenido		**37.5%**

CONTROL DE LA RADIACIÓN SOLAR (AUMENTO)

Tipo de clima	CÁLIDO-SECO	Parámetro físico	1. EDIFICACIONES
*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante			
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**2. VIALIDADES**
*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante			
Tipo de clima	**CÁLIDO-SECO**	**Parámetro físico**	**3. ESPACIOS ABIERTOS**
*Importante considerar que normalmente en este clima, este tipo de requerimiento del entorno se tiene en horarios nocturnos o durante un horario de poca actividad al exterior. Por lo que atender esta necesidad no es prioridad, a menos que se especifique alguna causa importante			

4.5.3. Análisis de resultados de evaluación.

Condición crítica, límite del control pasivo.

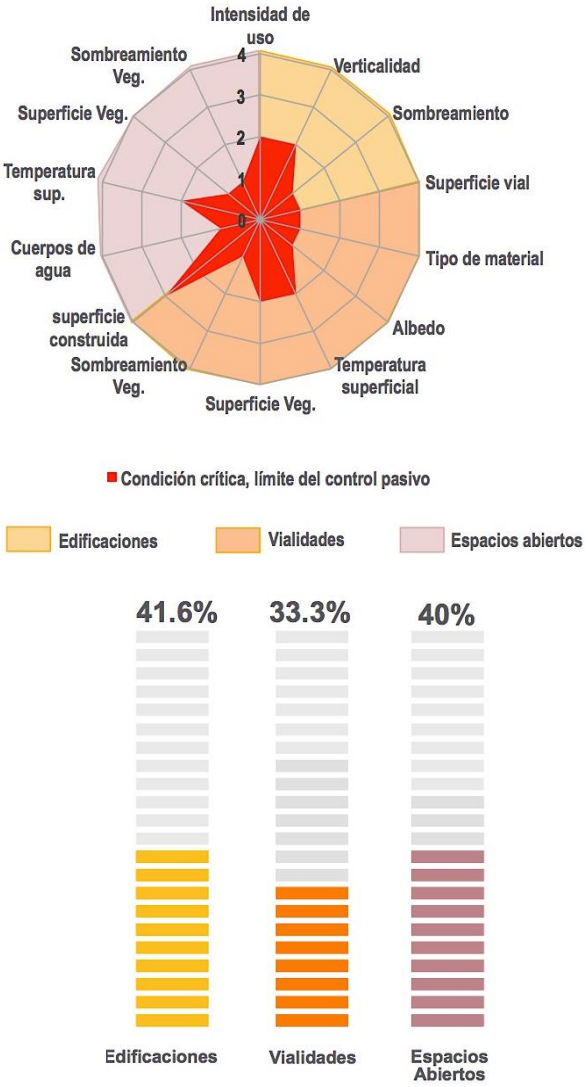
De acuerdo con los resultados obtenidos en la evaluación del estado actual de los parámetros urbanos y su posible respuesta a una condición crítica, al límite del control pasivo para estar en un grado de confort higrotérmico. Se obtuvo, con la puntuación más alta, que la superficie de los espacios abiertos localizados en la ciudad tienen un adecuado dimensionamiento de acuerdo al tipo de clima, sin embargo, carecen de suficiente vegetación y sombreamiento, así como de cuerpos de agua. Por tanto, las temperaturas superficiales localizadas en estas zonas pueden ser una consecuencia de estas condiciones, además del tipo de material de superficie, etc.

Por otro lado, en cuanto a las edificaciones, si bien no se tienen grandes lotes vacíos dentro del área urbana consolidada, tiene una volumetría baja debido igualmente, a que el promedio de la verticalidad de sus edificios es ≤ a 2 niveles de altura. Como consecuencia, esto se ve reflejado en el sombreamiento en general.

En cuanto a las vialidades, su proporción en relación con la altura promedio de las edificaciones principalmente es en promedio de ≥ 3:1, por tanto, se ha obtenido la puntuación más baja. Esto repercute nuevamente en las altas temperaturas superficiales tanto las dimensiones y concentraciones de la vegetación arbórea como las edificaciones no son suficientes para generar sombreamiento en una sección amplia de las vialidades, inclusive tomando en cuenta únicamente las banquetas o aceras.

Finalmente, para este requerimiento, los parámetros evaluados de las edificaciones cumplen con un 41.6%, las vialidades con un 33.3% y los Espacios Abiertos con un 40%.

Figura 82. Resultados de evaluación de los parámetros físicos para clima cálido seco de Hermosillo. Condición crítica, límite del control pasivo



Fuente: elaboración propia con base en tabla x.

Control de la radiación solar (disminución)

En el caso de la evaluación en torno al control y disminución de la radiación solar, los indicadores contemplados fueron 9 de los 14 totales. Esto debido a que sólo se tomaron en cuenta aquellos que influyen en mayor o menor grado en el control de la radiación.

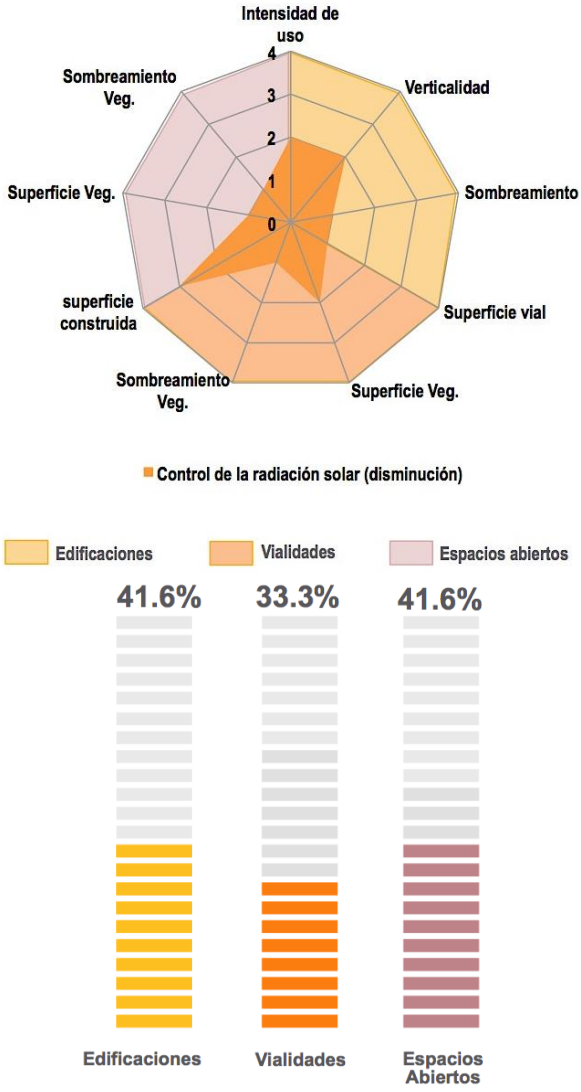
Así pues, se obtuvo como resultados, que los espacios abiertos son los que, en promedio tienen un dimensionamiento tal que permiten tener un mejor control de la radiación (a excepción de los 7 grandes espacios abiertos que se describieron en la fase 4), sin embargo, la cantidad de vegetación localizada en estas áreas es baja y por tanto también se ve reflejado este aspecto en el sombreamiento.

En este aspecto también influye directamente que la intensidad de uso, así como la verticalidad de los edificios circundantes a estas zonas, que son bajos.

En cuanto a las vialidades, al tener una superficie de grandes proporciones, propician una mayor captación de radiación solar, ya que la vegetación promedio localizada en estas áreas tampoco es suficiente para lograr disminuirla.

En total, se obtuvo que para el control de la radiación (disminución), las edificaciones cumplen con un 41.6%, las vialidades con un 33.3% y finalmente los Espacios Abiertos con un 41.6%.

Figura 83. Resultados de evaluación de los parámetros físicos para clima cálido seco de Hermosillo. Control de la radiación solar (disminución).



Fuente: elaboración propia con base en tabla x.

Control de la temperatura radiante (disminución)

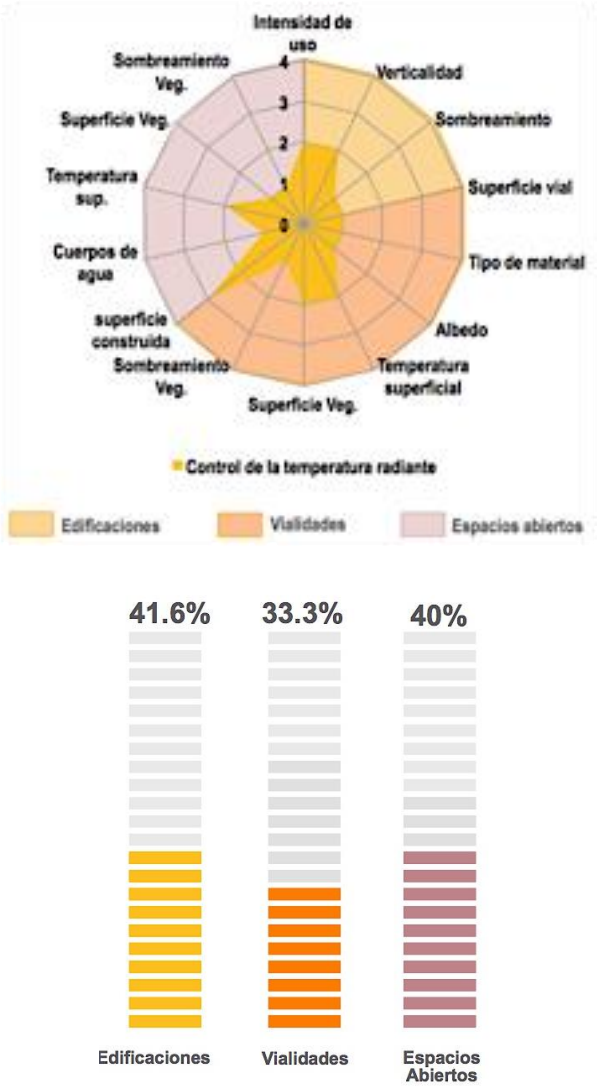
Por otro lado, al realizar el análisis para determinar en qué medida se tiene un control sobre la temperatura radiante (disminución), se obtuvo nuevamente que la superficie de los espacios abiertos de la ciudad corresponde en mayor medida al tipo de clima cálido-seco.

Sin embargo, debido al tipo de material de sus superficies, la poca vegetación y el bajo sombreamiento que se tiene, provoca que las temperaturas superficiales sean sólo un poco más bajas que el promedio de la ciudad (sólo varía 4ºC); además de los escasos cuerpos de agua.

En cuanto a las vialidades, están relacionados los indicadores de superficie, tipo de material y el albedo, ya que comparten la misma calificación mínima de 1, debido a que no corresponden en promedio, al clima local. Esto aunado a la falta de vegetación y la baja intensidad edificatoria y verticalidad de las edificaciones que no permite generar suficiente sombra para evitar el incremento de la temperatura radiante de estas.

Por tanto, se obtuvo que las edificaciones cumplen con un 41.6%, las vialidades un 33.3% y los Espacios Abiertos un 40%.

Figura 84. Resultados de evaluación de los parámetros físicos para clima cálido seco de Hermosillo. Condición de la temperatura radiante (disminución).



Fuente: elaboración propia con base en tabla x.

Confinamiento, enfriamiento evaporativo.

En este caso, son dos los requerimientos del entorno que se evalúan al mismo tiempo. Por un lado, en confinamiento que va ligado directamente con la estructura de la ciudad, y por otro lado en enfriamiento evaporativo que va ligado con la humedad relativa y la presencia del viento. De tal manera se tiene que tanto la intensidad de uso, como la verticalidad de las edificaciones, son bajas para el tipo de clima que se tiene ya que este requiere de un mayor confinamiento de la estructura urbana.

Por tanto, lo anterior también se ve reflejado en el nivel de sombreamiento, el cual es muy bajo. Asimismo, lo anterior está estrechamente ligado con la superficie vial, el tipo de material que tiene y al albedo; la relación de la primera con las edificaciones representa una proporción en la que la dimensión de las vialidades, es mucho más amplia que la verticalidad promedio de las edificaciones.

En cuanto a los espacios abiertos, sin tomar en cuenta los siete conjuntos de grandes dimensiones, anteriormente descritos, se tiene que la superficie es en promedio baja, por lo que se le ha dado una calificación de 3. Sin embargo, se otorgaron calificaciones de 2 para los indicadores de superficie de vegetación y la temperatura superficial.

Asimismo, una calificación de 1 para presencia de cuerpos de agua, y el sombreamiento generado por la vegetación. Esto se debe principalmente a que un gran porcentaje de esta no es arbórea, sino principalmente de matorrales desérticos.

Así pues, para el enfriamiento evaporativo se da como resultado de la correcta orientación de la traza urbana hacia las corrientes de viento.
En este caso se obtuvo de los parámetros de las edificaciones un 41.6%, de las vialidades un 33.3% y de los Espacios Abiertos un 40%

Figura 85. Resultados de evaluación de los parámetros físicos para clíma cálido-seco de Hermosillo.Confinamiento, enfriamiento evaporativomperatura radiante (disminución)

Fuente: elaboración propia con base en tabla x.

En general, la ciudad tiene una importante carencia de vegetación en sus vialidades y espacios abiertos, lo cual representa un importante problema, ya que esta es el elemento que más ayuda a mitigar los efectos de la radiación solar y la temperatura superficial, a partir del sombreamiento que genera.

De hecho, a pesar de las grandes dimensiones del sistema viario de la ciudad, así como la baja densidad edificatoria reflejada en la baja volumetría y baja verticalidad de sus edificaciones, la presencia de vegetación arbórea endémica permitiría generar las condiciones adecuadas que la estructura urbana actual no permite. Por el contrario, se presenta una estructura urbana dispersa con un sistema viario de secciones amplias y de materiales asfálticos que facilitan la aparición de la isla de calor urbano.

En cuanto a los espacios abiertos, a pesar de que en la mayoría de ellos se tiene una superficie adecuada, la carencia de vegetación, de sombreamiento, de cuerpos de agua, además del tipo de material de las superficies en general, provoca que las condiciones térmicas y de confort sean casi nulas, ya que no se logra propiciar ninguno de los requerimientos del entorno para el tipo de clima de la ciudad.

En general, la ciudad carece de elementos físicos y naturales que permitan cumplir con los requerimientos prioritarios del entorno, que de acuerdo con la figura x, era la disminución de la radiación solar, de la temperatura radiante de las superficies, el enfriamiento evaporativo y el confinamiento. De tal manera que, de acuerdo a los resultados, la ciudad de Hermosillo presenta un medio físico construido que no concuerda con las características que debería tener conforme a su clima cálido-seco.

Por tanto, las recomendaciones de planificación se enfocarán en aquellos elementos que permitan mejorar las condiciones físicas de la ciudad para poder llegar a cumplir, en la medida de lo posible, con los requerimientos del entorno de acuerdo a su clima.

4.6. Fase 6: Recomendaciones para la planificación urbana de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México.

Existen varios aspectos dentro de la ciudad, tales como, el dimensionamiento de las vialidades, la baja verticalidad y volumetría, los problemas de sombreamiento y falta de cuerpos de agua, además de los bajos porcentajes de sombremiento en las zonas de estar y de tránsito, las altas temperaturas de las superficies, etc.; que en algunos casos pueden mejorarse con estrategias sencillas y en otros casos, más complejas. Esto variará dependiendo de la consolidación de la zona. Por tanto, las recomendaciones para tomar en cuenta en la planificación urbana de la ciudad de Hermosillo, se presentan en dos categorías.

1) Nuevas urbanizaciones

a) **Edificaciones:** se recomienda el fomento y desarrollo de los nuevos conjuntos habitacionales, con características de mayor verticalidad, es decir, un mayor número de niveles; agrupados y rodeados de vegetación de superficie y arbórea endémica. Los elementos de conexión peatonal deberán estar sombreados, ya sea por medio de elementos de mobiliario urbano como: malasombra, pergolados, elementos de ornato, etc.; pero preferentemente por vegetación para también incrementar la humedad en el aire. Asimismo, se recomienda la implementación de cuerpos de agua con movimiento, como fuentes.

b) **Vialidades:** debido a las altas temperaturas, se recomienda la utilización de superficies de material mixto en las vialidades locales y colectoras. Por ejemplo, emplear huellas de rodamiento de concreto y el restante de la superficie de empedrado natural o adoquinado; o en el mejor de los casos, toda la superficie empedrada. Esto traería múltiples beneficios, ya que este tipo de material permite una mayor infiltración de agua en época de lluvias, evitando así las constantes inundaciones que padece la ciudad; asimismo, la temperatura superficial de estos elementos descendería más rápido en las horas nocturnas y minimizaría el efecto de la ICU.

   En cuanto al dimensionamiento, actualmente se rigen bajo una serie de normatividades que restringen su modificación. Por tanto, además de sugerir implementar modificaciones a estas, se recomienda controlar y disminuir la radiación solar en estos espacios, a partir del uso de vegetación arbórea, sobre todo en las aceras para generar sombreamiento en las áreas de tránsito peatonal. Es importante establecer el correcto distanciamiento entre cada elemento, a partir del tamaño de la copa y altura de las especies propuestas, ya que es necesario el sombreamiento, pero también el espacio suficiente para promover la liberación de radiación de onda larga emitida por dichas superficies.

c) **Espacios abiertos**: en estos lugares se requiere principalmente una importante disposición de vegetación, tanto arbórea como de superficie; además de cuerpos de agua con el dimensionamiento y movimiento suficiente para propiciar el enfriamiento evaporativo. Asimismo, se pueden emplear elementos de sombreamiento como pergolados o toldos de malasombra, entre otros.

2) Área urbana consolidada

a) **Edificaciones:** se recomienda incentivar la construcción de nuevas edificaciones en los predios baldíos, así como el incremento de la verticalidad de las mismas a partir del aumento en el número

de niveles promedio construidos en los actuales y nuevos edificios de la ciudad, esto con el fin de promover también su redensificación. Incrementar su volumetría y, por ende, el porcentaje de superficie sombreada en diferentes horarios y épocas del año.

b) **Vialidades:** en este caso, difícilmente se puede proponer hacer un cambio de dimensionamiento, e incluso de cambio de materiales (a menos que sean de terracería). Sin embargo, para contrarrestar los efectos de la radiación solar, se recomienda nuevamente, la utilización de vegetación arbórea para la proyección de sombras, principalmente en las zonas de tránsito peatonal. Igualmente, es importante establecer la separación y disposición adecuada entre cada elemento para no obstruir la liberación de radiación de onda larga en horario nocturno y así evitar el fenómeno de la ICU.

Por otro lado, si bien no forma parte de la evaluación, se observa en los anillos periféricos de la ciudad y en otros puntos, una importante falta de aceras para la circulación peatonal. Esto obliga a las personas a circular dentro del arroyo vehicular, ciclovías, o bien, dentro de predios baldíos, poniendo en riesgo su integridad física. Por tanto, es necesaria una mayor atención a las necesidades de circulación peatonal, por encima incluso, que la del automóvil.

c) **Espacios abiertos**: en estos lugares se requiere principalmente una importante disposición de vegetación, tanto arbórea como de superficie; además de cuerpos de agua con el dimensionamiento y movimiento suficiente para propiciar el enfriamiento evaporativo. Asimismo, se pueden emplear elementos de sombreamiento como pergolados o toldos de malasombra, entre otros.

Así pues, a partir de estas recomendaciones es que pueden surgir los diferentes proyectos derivados de la planificación urbana que tome en cuenta las características climáticas de la ciudad de Hermosillo y su actual MFC.

CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones generales a las que se han llegado a partir del desarrollo del trabajo de investigación. Asimismo, las conclusiones particulares que dan respuesta a cada una de las preguntas de investigación planteadas en un inicio, así como a otro tipo de aspectos que permiten complementarlas. Además, se presentan las aportaciones al estado del arte de este trabajo, así como las nuevas líneas de investigación o futuras aportaciones que pueden derivar del mismo.

5.1. Conclusiones generales

El presente trabajo de investigación se desarrolla a partir de una serie de cuestionamientos que surgen posteriormente al desarrollo de la tesina "Desarrollos Urbanos Integrales Sustentables: una utopía de la ciudad perfecta; y como parte de proyecto de LA ISLA DE CALOR URBANA: EFECTOS EN EL CAMBIO CLIMÁTICO Y MODELADO PARA ESTRATEGIAS DE PLANEAMIENTO TERRITORIAL Y URBANO. Aplicación a la Región Metropolitana de Barcelona.

La principal inquietud se plantea al tratar de desvelar la forma en que una ciudad podía ser evaluada a partir de sus características climáticas en relación con su Medio Físico Construido, para determinar si esta estaba desarrollándose adecuadamente y acorde a su clima.

Así pues, a pesar de que el estado de la cuestión mostró que existe hoy en día un importante número de metodologías y herramientas para evaluar el entorno urbano a diferentes escalas de intervención, son 8 las que se enfocan a la escala de la ciudad, ya que la gran mayoría se centran en la evaluación de barrios existentes y de nuevos proyectos urbanos. No obstante, únicamente 7 de las 8 herramientas desarrollan el tema de las emisiones de gases de efecto invernadero, pero ninguna de ellas evalúa los factores climáticos y sus efectos en la ciudad, o viceversa, a pesar de la gran influencia que estos tienen en la generación de los mismos por efecto del consumo energético para climatización de los edificios.

Por tanto, a pesar de que hoy en día varios de los modelos de evaluación son utilizados para diagnosticar el nivel de sostenibilidad que tienen las ciudades y a partir de ello, adquirir recursos para la implementación de estrategias que ayuden a mejorar las condiciones de acuerdo a los parámetros de la sostenibilidad. Dentro de la premisa del medio ambiente, la mayoría de estas se centran en la evaluación de la disponibilidad de recursos hídricos, gestión de residuos sólidos, niveles de contaminación del aire, empleo de energías renovables, generación de gases de efecto invernadero, etc.; pero ninguna estudia el clima ni su relación con el MFC, a pesar de que estos dos parámetros son clave en la reducción de los GEI por concepto de consumo energético por climatización. Además de ser clave en la gestión y diseño de los espacios urbanos confortables térmicamente.

El objetivo principal de este trabajo de investigación era el de desarrollar una metodología en el marco medioambiental de la sostenibilidad urbana, que permita evaluar de la ciudad y su medio físico construido en relación con sus características climáticas, para poder determinar si su crecimiento y estructura son acorde al clima local de la misma; por tanto se puede concluir que se ha podido lograr este objetivo al haber desarrollado esta metodología, tomando como guía las premisas del urbanismo bioclimático para evaluar los 21 indicadores propuestos. Además, esta se puede aplicar a cualquier ciudad y para cualquier tipo de clima propuesto por Víctor Olgyay. La única limitación que se pudiera tener en la aplicación de esta, es la facilidad para obtener la información necesaria para desarrollarla. Que, en este caso, también se propusieron una serie de herramientas y fuentes de información de acceso abierto. Sin embargo, para datos estadísticos locales o de cartografía oficial, es necesario recurrir a las instancias oficiales de cada lugar.

Por otro lado, la metodología propuesta toma en cuenta, en una primera instancia, el clima local. Ya que se basa, ya sea en los datos meteorológicos de las normales climatológicas, de estaciones climáticas particulares o en la base de datos del METEONORM, para generar parte del diagnóstico. Esto incluye el planteamiento de requerimientos del entorno urbano surgido de la gráfica del Olgyay o bien del COMFORT-EX que hacen referencia a una escala de mesoclima. Sin embargo, los datos obtenidos a partir del uso de imágenes

satelitales, tales como la temperatura superficial y la vegetación, son datos que surgen a partir del microclima urbano. Por tanto, a pesar de que los parámetros de evaluación se han basado en las características de mesoclima (frío, templado, cálido-seco y cálido-húmedo), esta incluye también datos propios del entorno urbano surgidos a partir del microclima que ahí se genera.

Sin embargo, a pesar de que se empleó en análisis de un estudio de caso para identificar los problemas que podrían surgir en el proceso de evaluación con la presente metodología, aun es necesario llevar a cabo un proceso de verificación real. Es decir, llevar a cabo una calibración de la misma para su validación total.

5.2. Conclusiones particulares

Con base en los objetivos secundarios y las preguntas de investigación planteados en este trabajo se concluye que:

- **Establecer un proceso metodológico que pueda ser aplicado a cualquier ciudad y para cualquiera de los cuatro tipos de clima (frío, templado, cálido-seco, cálido-húmedo).**

Inicialmente este objetivo se había planteado para evaluar cualquier ciudad con cualquier tipo de clima. Sin embargo, la gran variedad climática del planeta y la poca información con respecto a la asociación de este con la estructura urbana y sus demás componentes, obligó a acotar este objetivo al análisis de cuatro regiones climáticas. Mismas que delimita V. Olgyay y de las cuales se ha desarrollado un poco más de investigación.
Por tanto, el estudio climático local de la ciudad a evaluar es imprescindible. Ya que esto podría determinar mayormente las características necesarias de la planificación, independientemente de la puntuación obtenida al final de la evaluación.

- **Desarrollar la metodología de tal modo que pueda ser complementaria a cualquier herramienta o modelo de evaluación de la sostenibilidad urbana vigente.**

Al ser una metodología que emplea un sistema de indicadores asociados entre sí, además de un sistema sencillo de puntuación. Permite la posibilidad de integrarse a otras herramientas de evaluación que tengan un proceso de evaluación similar. O bien, esta puede servir para complementar los diagnósticos de los procesos de evaluación de la sostenibilidad urbana y no necesariamente ser parte de la metodología con la que la llevan a cabo.

- **Proponer herramientas y fuentes de información preferentemente de acceso abierto para tener una mayor facilidad en la gestión de datos y de procesamiento de los mismos.**

Este fue un elemento clave en la búsqueda de las bases de datos y herramientas a utilizar en esta metodología. Principalmente por la facilidad al acceso de las mismas, como por el aspecto económico. Es decir, se pretendió que el costo de estas no fuera una limitante en el desarrollo de este trabajo, ni de futuras aplicaciones de la metodología.

Sin embargo, es importante aclarar que si bien las fuentes de datos empleadas, todas ellas fueron de libre acceso, pero en cuanto a los sistemas de información geográfica empleados sólo el Qgis lo fue. Es decir, para el manejo de cartografía oficial se utilizó el ArcGIS, que es un software de pago. No obstante, el procesamiento de las imágenes satelitales fue a través del software Qgis, de libre acceso. En este sentido es también importante destacar, que el proceso de manejo de la cartografía oficial, también es posible hacerlo con el

software Qgis. Pero en este caso no se llevó a cabo debido a que había que llevar a cabo un tiempo de capacitación para el uso correcto del mismo en esta área. Tiempo que se decidió emplear en el aprendizaje de su empleo en la teledetección.
En el caso de las bases de datos oficiales de México, cabe resaltar que el INEGI es una institución con una amplia y diversa fuente de datos estadísticos de diversa nacionales, regionales, estatales, municipales y locales de diversa índole; además de que se puede disponer de los mismos en su página web, en su gran mayoría sin costo alguno. Este aspecto facilitó la aplicación de la metodología al estudio de caso.

Por tanto, la facilidad con la que se pueda acceder a las fuentes de información oficial de cada lugar que se deseé aplicar esta metodología, es fundamental.

- **Aplicar la metodología a la ciudad de Hermosillo, Sonora en México, como un estudio de caso. Con el propósito de que pueda ser susceptible a aplicarse a cualquier otro caso.**

Como se explicó anteriormente, esta metodología es susceptible a replicarse en otros casos. Pero la facilidad y rapidez con la que se lleve a cabo, va a depender en gran medida del acceso a la información local requerida en la misma.

- **¿Bajo qué mecanismo se puede determinar si el crecimiento y la planificación urbana están siendo gestionados adecuadamente conforme al clima local?**

El urbanismo bioclimático es una herramienta que permite no únicamente el diseño de los espacios urbanos conforme a las características microclimáticas de cada lugar, sino también la evaluación de los mismos a diferentes escalas. Sin embargo, para evaluar a escala de ciudad, el proceso y los resultados pueden llegar a ser muy generales, ya que no es posible llegar a la especificidad de análisis debido a las siguientes limitaciones:

a) *Los resultados de datos obtenidos del procesamiento de las imágenes satelitales LANDSAT8.* La baja resolución de las imágenes empleadas para calcular la temperatura superficial y la vegetación de la ciudad, tienen una resolución de pixel de 30mx30m, por lo que se habla de que cada uno representa una superficie de 900m^2 en la cual, puede haber variaciones de temperatura y de vegetación, pero si no cubren gran parte del área del pixel, no serán detectadas, tomándola entonces como un área homogénea. En este sentido, se puede optar por el uso de imágenes con una mejor resolución y bajo la misma metodología de procesamiento, pero normalmente estas no son de libre acceso y tienen un alto costo en el mercado. Por tanto, en este trabajo a pesar de que se muestran los resultados de algunos indicadores cuantificados en hectáreas y porcentajes, al momento de la evaluación se optó por emplear lo último.

   En este caso, por el horario de captura (17:52:05 h) de las imágenes satelitales empleadas, es que no se desarrolló en la evaluación, el tema de la Isla de Calor Urbano, ya que esta se manifiesta en horario nocturno. Para lo cual fue considerado el empleo de las imágenes satelitales de MODIS:LST que presenta tanto imágenes diurna como nocturnas y que permite visualizar la ICU. Sin embargo, debido a su resolución (1km^2 por pixel), estas son empleadas principalmente para análisis regionales o territoriales.

b) *Diferenciación entre cubiertas y vialidades***.** Las imágenes satelitales LANDSAT8/OLI muestran los resultados en dos dimensiones, por tanto, los cálculos globales de la temperatura superficial se hacen de toda la superficie analizada, es decir, no es posible separar la temperatura de vialidades de la

temperatura de cubiertas. Esto también, debido a la resolución de las imágenes. Sin embargo, por la escala de análisis, esto no representa un problema ya que finalmente se pueden observar las variaciones de temperatura dentro de la ciudad.

c) *Disponibilidad y actualización de cartografía oficial.* En algunos casos, la cartografía oficial de planificación urbana y catastral de la ciudad, puede llegar a ser información no pública, por lo que esto representa un problema que podría retrasar el proceso de evaluación. Por otro lado, el nivel de exactitud de los cálculos a partir de la cartografía, también depende de la actualización de la información que contienen. En algunos casos puede variar de manera importante entre cada periodo de gestión gubernamental.

d) *Acceso a base de datos estadísticos sociodemográficos y geográficos***.** En el caso mexicano, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, tiene una excelente base de datos estadísticos socioeconómicos, demográficos, geográficos, medioambientales, etc. en su mayoría de acceso abierto. En este caso, la mayoría de la información de sus bases de datos es actualizada cada 5 años mediante los conteos y censos de población y vivienda. Sin embargo, no todos los países cuentan con un organismo que englobe o que maneje los mismos temas estadísticos. Por tanto, la sugerencia de una fuente de información en específico para obtener la información correspondiente a las características básicas de las ciudades evaluadas, no ha sido posible.

En cuanto al proceso de evaluación propuesto en la fase 5 del capítulo III, esta se intentó llevar a cabo bajo una ponderación que llevara implícitos los resultados cuantitativos obtenidos en el análisis del MFC y que pudieran ser comparados entre diferentes ciudades con el mismo clima (esto para cada tipo de clima propuesto). Sin embargo, debido a las particularidades de cada ciudad, esto no fue posible de lograr. En su lugar, se llevó a cabo una evaluación de carácter cualitativa, basada en las características generales que deberían tener los diferentes indicadores analizados de acuerdo a cada tipo de clima (ver tabla x), además de los requerimientos del entorno resultantes de la gráfica bioclimática de Olgyay o del COMFORT-EX; pero las 4 diferentes opciones que se presentaron para evaluar los indicadores, se hicieron a partir de rangos de porcentaje de los resultados calculados. Asimismo, el valor otorgado a cada rango porcentual varía dependiendo del clima para el cual se esté evaluando.

- ¿Qué tipo de herramientas de gestión y análisis de la información del medio físico construido y de análisis climático, permiten realizar el estudio a escala de ciudad?

Durante el proceso de gestión y procesamiento de datos basados de las imágenes satelitales de la zona donde se ubica el estudio de caso, se analizaron diferentes programas SIG para llevar a cabo dicha función (gvSIG, IDRISI SELVA, ArcGIS y Qgis). De lo cual, finalmente se eligió el programa Qgis para llevar a cabo no únicamente el cálculo de la temperatura superficial y la vegetación de la ciudad, sino también la descarga y las correcciones atmosféricas pertinentes de las imágenes satelitales.

Algunas de las razones de la elección de este software fue la sencillez de uso de su plataforma de cálculo, además de tener un sistema de gestión de las imágenes LANDSAT8/OLI (y de otros satélites como 4-5TM, 7 ETM+ y Sentinel) que permite realizar una previsualización de estas sin tener que llevar a cabo su descarga, permitiendo así, tener un mayor control en las características que favorecen el procesamiento de sus datos.

En cuanto al procesamiento de datos de la cartografía en general, se empleó el ArcGis, que no es de acceso abierto. No obstante, se puede emplear el Qgis para realizar la misma función.

- ¿Cuáles son los indicadores que permiten evaluar a escala de ciudad, el estado del medio físico construido y del medio ambiente, para determinar si en conjunto son adecuados con respecto al clima local?

Como se mostró en el capítulo II, el medio físico construido tiene una serie de elementos que juntos o separados, generan un importante impacto en el microclima de las ciudades, pero que sólo algunos de ellos pueden ser evaluados a escala de ciudad y con las herramientas y fuentes de información propuestas. En este caso, se seleccionaron los 21 indicadores, de los cuales 3 son de localización (latitud, longitud y altura); 6 son climáticos (radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa, viento, nubosidad y precipitación pluvial); y 12 son del MFC (Densidad edificatoria, que engloba a su vez la intensidad de uso, asociada a la volumetría y altura de las edificaciones; el sombreamiento generado por las edificaciones; la superficie vial; la superficie vial por tipo de material; la temperatura superficial de vialidades; el albedo y la emisividad; la superficie de vegetación dentro de vialidades; sombreamiento generado por la vegetación en las vialidades; la superficie total de los espacios abiertos; los cuerpos de agua localizados en los espacios abiertos; la temperatura superficial de los espacios abiertos; la superficie de vegetación en los espacios abiertos; el Sombreamiento generado por la vegetación en los espacios abiertos). La interrelación de todos, han pretendido reflejar las condiciones en las que se encuentra desarrollada la ciudad evaluada conforme a su clima.

- ¿Es posible desarrollar un diagnóstico adecuado y lo suficientemente específico de las características del medio físico construido en relación con sus características climáticas a una escala de ciudad?

La metodología propuesta está planteada para elaborar un diagnóstico lo suficientemente sustentado para emitir un juicio acerca del desarrollo de la ciudad conforme a sus características climáticas, detectando los espacios y/o elementos urbanos que requieren intervención para lograr una configuración adecuada. No obstante, no se llega a la especificidad debido a la escala de análisis.

Finalmente, la hipótesis planteada fue que*: A partir de una metodología de evaluación de la sostenibilidad urbana que contemple el estudio de toda la ciudad, es posible generar una planificación urbana adecuada conforme a sus características climáticas locales; esto sin tener que llegar al análisis detallado de una escala urbana más reducida. Es decir, los resultados obtenidos de cada indicador propuesto, son suficientes para generar las pautas de planificación urbana futuras que requiere la ciudad evaluada, para crecer o reestructurarse acorde a sus características climáticas, geomorfológicas y construidas.* Por lo que, en este sentido, se concluye que ha sido posible establecer el status de la ciudad evaluada, bajo el análisis de los resultados de los indicadores propuestos y la escala propuesta, sin necesidad de llegar al detalle de una escala más pequeña. Sin embargo, es importante destacar que esta metodología, permite igualmente generar un análisis a una escala más reducida, que algunas veces puede ser necesario hacer, para generar recomendaciones y proyectos más específicos y puntuales. Es decir, esta metodología podría ser lo suficientemente flexible para modificar la escala de análisis a sectores de planificación, planes parciales, etc., pero no tanto para llegar a analizar barrios, conjuntos habitacionales, colonias, etc.

5.3. Aportaciones de la investigación

Esta propuesta metodológica se basa en la recopilación de una serie de bases teóricas y procesos de cálculos en torno al urbanismo bioclimático que ya han sido desarrollados, retomados y complementados anteriormente; principalmente por Olgyay, Erell, Higueras, Ochoa, entre otros. Donde la aportación de este trabajo se ha reflejado en la integración de estos procesos, la implementación de nuevas herramientas y fuentes de

información para realizar la evaluación, además de la propuesta de ponderación de los resultados obtenidos de dicho cálculo; y finalmente todo el proceso que conlleva determinar si la ciudad evaluada se está desarrollando conforme a su clima.

Con base en lo anterior, se establecen tres sectores que eventualmente podrían ser receptores directos de las aportaciones de la presente metodología:

a) Sector gubernamental. Principalmente los Institutos y Organizaciones de planificación urbana, que son los principales gestores de los procesos de planificación de las ciudades. Ya que puede ser empleada para mejorar los diagnósticos de herramientas de evaluación ya consolidadas (pero que no toman en cuenta las características climáticas y del MFC) y que podrían ser objeto de nuevos financiamientos para llevar a cabo proyectos que consideren los elementos clave de esta propuesta.

   Además, se presenta en el estado de la cuestión de este trabajo, las herramientas y modelos de evaluación de la sostenibilidad urbana y sus diferentes enfoques y escalas de aplicación, por lo que esto también puede ser aprovechado por las diferentes instancias gubernamentales, para promover la sostenibilidad en su totalidad y, a su vez, obtener recursos de diversas fuentes de financiamiento para la implementación de proyectos que mejoren o refuercen integralmente la sostenibilidad de las ciudades.

b) Sector académico. La metodología puede ser tomada como una referencia para establecer nuevas líneas de investigación, además de poder aplicarla a nuevos estudios de caso correspondientes incluso, a los tipos de clima que no fueron desarrollados en este trabajo.

   Al igual que el aporte al sector gubernamental, la revisión de las herramientas actuales de evaluación de la sostenibilidad urbana, representan para el sector académico una importante aportación al estado de la cuestión.

c) La sociedad en general. La implementación real de esta metodología de evaluación para llevar a cabo una planificación urbana que promueva el crecimiento y desarrollo del MFC de las ciudades conforme a sus características climáticas, pretende posibilitar la mejora de las condiciones de confort térmico en los espacios exteriores y por ende, la revitalización de los mismos; la posible reducción del consumo energético de las edificaciones, así como la disminución del fenómeno de la ICU. Sin embargo, esto está sujeto a la calibración de la misma.

5.4. Nuevas líneas de investigación

Se reconocen importantes posibilidades para complementar este trabajo, así como una variedad importante de nuevas líneas de investigación surgidas del mismo; por ejemplo:

- Como se mencionó anteriormente, la metodología necesita pasar por un proceso de calibración para su validación. Por tanto, ese sería el siguiente paso que daría continuidad a este proyecto de investigación.

- En cuanto a las nuevas líneas de investigación, estas podrían ir dirigidas, sobretodo, a la búsqueda de un proceso de ponderación de resultados con un enfoque cuantitativo principalmente y no cualitativo, que diera más certidumbre a la interpretación de los resultados; asimismo que se amplíe

la caracterización de las regiones climáticas y las características que deben cumplir las ciudades conforme a cada una de ellas.

- El análisis del fenómeno de la Isla de Calor Urbano a partir del objetivo principal de esta metodología, es un nicho importante a desarrollar; ya que se han desarrollado los procesos metodológicos con el uso de la teledetección para poder profundizar más en este tema.

  En este sentido, valdría la pena hacer uso de otro tipo de imágenes satelitales que, por su resolución y horario de toma, permita detectar dicho fenómeno,

- Asimismo, es importante asociar los resultados de esta metodología de evaluación a los temas de eficiencia energética de las edificaciones asociadas a la configuración del MFC y el tipo de clima; así como a las emisiones de GEI que genera la misma.

- También se tiene la posibilidad de desarrollar la metodología para un grupo de climas mucho más amplio que permita un mayor detalle en las especificaciones y las puntuaciones de la evaluación.

BIBLIOGRAFÌA

Adinyira, E., Oteng-seifah, S., & Adjei-kumi, T. (2007). A Review of Urban Sustainability Assessment Methodologies. In J. B. M. Horner, C. Hardcastle, A. Price (Ed.), International Conference on Whole Life Urban Sustainability and its Assessment (pp. 1–10). Glasgow.

American Planning Association. (n.d.). Integrating Sustainability into Comprehensive Plans : Standards. Retrieved November 16, 2015, from http://brookingscountysd.gov/DocumentCenter/View/473

Asimakopoulos, D. N., Assimakopoulos, V. D., Chrisomallidou, N., Klitsikas, N., Mangold, D., Michel, P., … Tsangrassoulis, A. (2011). Energy and climate in the urban built environment. (M. Santamouris, Ed.) (1st ed.). New York: Routledge.

Baeza, R. A. (2011). Métodos de certificación de la sostenibilidad en proyectos urbanos. Cuadernos de Investigación Urbanística. Ci[ur]77, 77, 110.

Baik, J.-J., & Kim, J.-J. (1998). A Numerical Study of Flow and Pollutant Dispersion Characteristics in Urban Street Canyons. Journal of Applied Meteorology, 38(October), 1576–1589. http://doi.org/10.1175/1520-0450(1999)038<1576

Banco Interamericano de Desarrollo. (2014a). Guía metodológica: Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles. (C. Barco, Ed.) (2nd ed.). Banco Interamericano de Desarrollo. Retrieved from http://www.iadb.org/es/temas/ciudades-emergentes-y-sostenibles/implementacion-del- enfoque-de-la-iniciativa-ciudades-emergentes-y-sostenibles,7641.html?#metodologia

Banco Interamericano de Desarrollo. (2014b). Iniciativa Ciudades emergentes y Sostenibles. Guía metodológica (segunda). Banco Interamericano de Desarrollo. Retrieved from https://drive.google.com/file/d/0B93Bl6qR3zQ_N2RTcjFTdlZFalk/edit

Barrera, I. (2012). Implementación de dispositivos activos y pasivos para el mejoramiento del confort higrotérmico en espacios abiertos con clima cálido-seco. Caso de estudio: plaza cívica del centro de gobierno en Hermosillo, Sonora. Universidad de Sonora.

Barrera, I. (2014). Desarrollo Urbanos Integrales Sustentables: una utopía de la ciudad perfecta. Universitat Politécnica de Catalunya.

Basu, R. (2009). High ambient temperature and mortality : a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008, 13. http://doi.org/10.1186/1476-069X-8-40

Bentley, I. (1999). Entornos vitales: hacia un diseño urbano y arquitectónico más humano: manual práctico (illustrate). Gustavo Gili.

Brandon, P. S., & Lombardi, P. (2011). Setting the Context for Evaluating Sustainable Development (2nd ed.).

Chang, P. C., Wang, P. N., & Lin, A. (1971). Turbulent diffusion in a city street. In Proceedings of the Symposium on Air Pollution and Turbulent Diffusion, Las Cruces, New Mexico (pp. 137–144).

Chávez del Valle, F. J. (n.d.). La percepción del ambiente térmico. La ciudad como entorno. UPC, ETSAB, Dpto. Construcciones Arquitectónicas I.

Chen, D., & Chen, H. W. (2013). Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901–2010. Environmental Development, 6, 69–79. http://doi.org/10.1016/j.envdev.2013.03.007

ClimCAP Training Pilot. (2015). Adaptation Measures. Adaptation to heat. Barcelona: Lifelong Learning Program.

Coch Roura, H., & Serra Florensa, R. (1995). Arquitectura y energía natural.

Doherty, M., Nakanishi, H., Bai, X., Meyers, J., & Ecosystems, C. S. (2009). Relationships between form, morphology, density and energy in urban environments. Canberra, Australia: CSIRO Sustainable Ecosystems.

ejemplode.com. (2017). Características del desierto. [online] Available at: http://www.ejemplode.com/33-geografia/4327-caracteristicas_del_desierto.html [Accessed 13 Nov. 2017].

Erell, E. (2008a). The Application of Urban Climate Research in The application of urban climate research in the design of cities Advances in Building Energy Research. Advances in Building Energy Research, 2(1), 95–121. http://doi.org/10.3763/aber.2008.0204

Erell, E. (2008b). The Application of Urban Climate Research in the Design of Cities. Advances in Building Energy Research, 2(1), 95–121. http://doi.org/10.3763/aber.2008.0204

Erell, E., Leal, V., & Maldonado, E. (2005). Measurement of air temperature in the presence of a large radiant

flux: An assessment of passively ventilated thermometer screens. Boundary-Layer Meteorology, 114(1), 205–231. http://doi.org/10.1007/s10546-004-8946-8

Erell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T. (2011a). Urban Microclimate- Designing the Spaces between Buildings. City Weathers: Meteorology and urban design 1950-2010. Manchester Architecture Research Center. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Evyatar_Erell/publication/255989068_Urban_Microclimate_-_Designing_the_Spaces_Between_Buildings/links/00b7d521484088b299000000.pdf

Erell, E., Pearlmutter, D., & Williamson, T. J. (2011b). Urban Microclimate: Designing the Spaces Between Buildings (1st ed.). Washington: Earthscan. Retrieved from https://books.google.com.mx/books?id=CMpGTu35UgMC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Erell, E., & Williamson, T. (2006). Intra-urban differences in canopy layer air temperature at a mid-latitude city Intra-urban differences in canopy layer air temperature at a mid-latitude city. International Journal of Climatology, 27(July), 1243–1255. http://doi.org/10.1002/joc.1469

Fariña, J. (1998). La ciudad y el medio ambiente. Madrid: Akal Ediciones.

Fuentes Freixanet, V. A. (1984). Confort. In Arquitectura Bioclimática (pp. 58–74). Cd. de México: Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco.

Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., & Ordóñez, J. (2013). The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. Elsevier, 749–758. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Eulalia_Jadraque_Gago/publication/257548446_The_city_and_urban_heat_islands_A_review_of_strategies_to_mitigate_adverse_effects/links/55546f0608ae6fd2d81f46e4.pdf?origin=publication_detail_rebranded&ev=pub_int_prw_xdl&m

Garza, D. (n.d.). El llamado del desierto. Bellezas sin límite. Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Comisión Nacional de las Zonas Áridas. Retrieved from http://www.conaza.gob.mx/transparencia/Documents/transparencia focalizada/nuevos docs/Desierto Belleza.pdf

Gillner, S., Vogt, J., Tharang, A., Dettmann, S., & Roloff, A. (2015). Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites. Landscape and Urban Planning, 143, 33–42. http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.06.005

Givoni, B. (1989). Urban design in different climates.

Gobierno del Estado de Sonora, Ayuntamiento de Hermosillo, & Secretaría de Desarrollo Agrario, T. y U. (2016). PROGRAMA DE DESARROLLO METROPOLITANO DE HERMOSILLO. Hermosillo: IMPLAN.

Gómez-Ceballos, D., & Richard, M.-P. (2015, June). Análisis energético urbano usando metodologías de gestión integral de energía : un caso de estudio en la ciudad de Pasto . Urban Energy Diagnosis Using Overall Management Methodologies : A Case Study in Pasto City . Energética, 45, 23–31.

Gómez, F., Gil, L., & Jabaloyes, J. (2004). Experimental investigation on the thermal comfort in the city: relationship with the green areas, interaction with the urban microclimate. Building and Environment, 39(9), 1077–1086.

Gómez, F., Tamarit, N., & Jabaloyes, J. (2001). Green zones, bioclimatics studies and human comfort in the future development of urban planning. Landscape and Urban Planning, 55(3), 151–161.

H. Ayuntamiento de Hermosillo 2012-2015. (n.d.). Hermosillo: densidad poblacional 1960-2010. Retrieved March 20, 2017, from http://www.economiahermosillo.gob.mx/portal/descargas/1 Población Municipal Densidad.pdf

Help.arcgis.com. (2017). ArcGIS Desktop. [online] Available at: http://help.arcgis.com/EN/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z000000v0000000.htm [Accessed 15 Nov. 2017].

Hernández, A. (2013). Manual de Diseño Bioclimático Urbano. Recomendaciones para la elaboración de normas urbanísticas. çinstituto Politécnico de Bragança.

Higueras, E. (2014). Urbanismo Bioclimático (1st ed.). Barcelona: Editorial Gustavo Gili.

Holmes, T., & Pincetl, S. (2012). Metabolism Literature Review. Center for Sustainable Urban Systems, UCLA INSTITUTE OF THE ENVIRONMENT URBAN, 1–28. http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Höppe, P. R. (1993). Heat balance modelling. Experientia, 49(9), 741–746. http://doi.org/10.1007/BF01923542

Imhoff, M. L., Zhang, P., Wolfe, R. E., & Bounoua, L. (2010). Remote Sensing of Environment Remote

sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. Remote Sensing of Environment, 114(3), 504–513. http://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.008

IMPLAN. (2006). Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Hermosillo 2006. Programa de Desarrollo Urbano Del Centro de Población de Hermosillo. Hermosillo: Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo.

IMPLAN. Instituto Municipal de. (2014). Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Hermosillo.

Inegi.org.mx. (2017). Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). [online] Available at: http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx [Accessed 13 Nov. 2017].

INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Localidades Geoestadísticas - archivo histórico - consulta. Retrieved March 20, 2017, from http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/consulta_localidades.aspx

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2011). Análisis del consumo energético del sector residencial en España.

International Energy Agency. (2015). Energy and climate change. World Energy Outlook Special Report. France.

Irene Marincic, J. Manuel Ochoa, M. Guadalupe Alpuche, Alejandro Duarte, Luis Vargas, & Ileana González. (2011). La construcción actual de viviendas en Hermosillo y su adecuación al clima por medios pasivos. Memorias Del XXXV Congreso Nacional de Energía Solar. ANES. Chihuahua, Chih. México. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/J_Ochoa/publication/266506054_ABC-34_LA_CONSTRUCCION_ACTUAL_DE_VIVIENDAS_EN_HERMOSILLO_Y_SU_ADECUACION_AL_CLIMA_POR_MEDIOS_PASIVOS/links/54ab6cee0cf2ce2df668dd48.pdf?origin=publication_list

Jandaghian, Z., & Akbari, H. (2017). An Overview of Urban Heat Island and Human Health An Ove. In 4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island. Singapore: National University of Singapore.

Jong, M. de, Yu, C., Joss, S., Wennersten, R., Yu, L., Zhang, X., & Ma, X. (2016). Eco city development in China : Addressing the policy implementation challenge. Journal of Cleaner Production, (Marzo). http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.083

Kates, R. W., Parris, T. M., & Leiserowitz, A. a. (2005). What Is Sustainable. Policy, 47(3), 8–21. http://doi.org/10.1080/00139157.2005.10524444

Kleerekoper, L., van Esch, M., & Salcedo, T. B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. Resources, Conservation and Recycling, 64, 30–38. http://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.06.004

Landsat.usgs.gov. (2017). What are the band designations for the Landsat satellites? | Landsat Missions. [online] Available at: http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php [Accessed 11 Nov. 2016].

Lindqvist, S., & Mattsson, J. O. (1989). Topoclimatic maps for different planning levels. Some Swedish examples. BATIM INT BUILD RES PRACT., 17(5), 299–304.

Macarof, P., & Statescu, F. (2017). COMPARASION OF NDBI AND NDVI AS INDICATORS OF SURFAfile:///C:/Users/bichi/Downloads/ManuscriptACRSDehradun.pdfCE URBAN HEAT ISLAND EFFECT IN LANDSAT 8 IMAGERY : A CASE STUDY OF IASI. DE GRUYTER OPEN, 11(2). http://doi.org/10.1515/pesd-2017-0032

Magli, S., Lodi, C., Lombroso, L., Muscio, A., & Teggi, S. (2014). Analysis of the Impact of Urban Heat Island on Building Energy Consumption. In Energy Environment Engineering (Vol. 6, pp. 91–99). Springer. http://doi.org/10.1007/s40095-014-0154-9

Mebratu, D. (1998). Sustainability and sustainable development. Environmental Impact Assessment Review, 18(6), 493–520. http://doi.org/10.1016/S0195-9255(98)00019-5

Ministerio de Vivienda. (2010). Libro Blanco de la Sostenibilidad en el Planeamiento Urbanístico Español. Ministerio de Vivienda.

Morgan, D. L., & Baskett, R. L. (1974). Comfort of man in the city. An energy balance model of man ? environment coupling. International Journal of Biometeorology, 18(3), 184–198. http://doi.org/10.1007/BF01453933

Munda, G. (2001). Indicators and Evaluation Tools for the Assessment of Urban Sustainability, (November).

Murakami, S., Asami, M. Y., Ikaga, T., Ishida, H., Inoue, K., & Iwamura, K. (2013). Environmental

Performance Assessment Tool for Municipalities Overview of CASBEE for Cities. Tokyo. Retrieved from http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/document/Outline_CASBEE_City.pdf

Naciones Unidas. (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Retrieved from http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=S/RES/1325(2000)

Nogareda, S. (2014). Determinación del metabolismo energético mediante tablas / Determination of energetic metabolism through tables. Madrid: Instituto NAcional de seguridad e higiene en el trabajo.

Nunez, M., & Oke, T. R. (1977). The energy balance of an urban canyon. Journal of Applied Meteorology, 16(1), 11–19.

Nuruzzaman, M. (2015). Urban Heat Island: Causes, Effects and Mitigation Measures - A Review. International Journal of Environmental Monitoring and Analysis. http://doi.org/10.11648/j.ijema.20150302.15

Ochoa, J. M. (1999). La vegetación como instrumento para el control microclimático. Universitat Politécnica de Catalunya.

Ochoa, J. M. (2009). Ciudad, vegetación e impacto climático: el confort en los espacios urbanos. Erasmus Ediciones.

Ochoa, J. M. (2012). Ciudad, vegetación e impacto climático. El confort en los espacios urbanos. (E. Ediciones, Ed.) (1st ed.). Vilafranca del Penedés.

Ochoa, J. M., & Marincic, I. (2006). Designing outdoor spaces with COMFORT-EX. International Workshop on Energy Performance and Environmental Quality of Buildings, (July), 1–5.

Ochoa, J. M., & Martínez, H. (2002). CONFORT-EX: Sistema para el diseño y evaluación microclimática de espacios exteriores. México.

Oke, T. R. (1976). World Meteorological organization review og Urban climatology 1973-1976 The WMO. Geneva. Retrieved from http://ac.ciifen.org/omm-biblioteca/CCI_TECH/WMO-539.pdf

Oke, T. R. (1987). Boundary Layer Climates (2nd ed.). Taylor & Francis e-Library. Retrieved from https://bayanbox.ir/view/6693893538424427706/T.-R.-Oke-Boundary-Layer-Climates-Second-Editio-BookFi.org.pdf

Oke, T. R. (1988). Street Design and Urban Canopy Layer Climate. Energy and Buildings, 11(1–3), 103–113.

Oke, T. R. (1988). The urban energy balance. Geography Progress in Physical, 12, 470–508. http://doi.org/10.1177/030913338801200401

Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). Urban climates. Cambridge: Cambridge University. http://doi.org/Oke, T., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. (2017). Urban Climates. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781139016476

Olgyay, V. (1963). ARQUITECTURA Y CLIMA.

Olgyay, V. (1998). Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Gustavo Gili.

Olgyay, V., & Olgyay, A. (1963). Design With Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Princeton University Press. Retrieved from https://books.google.com.mx/books?id=AeZEAAAAYAAJ

Partnership for Sustainable Communities. (2014). Sustainable Community Indicator Catalog. Retrieved November 24, 2015, from https://cms.sustainablecommunities.gov/indicators/discover?field_geographic_scale_tid[]=516

Partnership Sustainable Communities. (2015). PSC 2015 Priorities. Retrieved November 24, 2015, from https://www.sustainablecommunities.gov/mission/about-us

Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Ko¨ppen-Geiger climate classification. Hydrology and Earth Sciences, 11, 1633–1644. Retrieved from http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/11/1633/2007/hess-11-1633-2007.pdf

Peña-Salmón, C., Leyva-Camacho, O., & Rojas-Caldelas, R. (2014). The identification and classification of green areas for urban planning using multiespectral images at Baja California, Mexico. (N. Marchettini, C. A. Brebbia, R. Pulselli, & S. Bastianoni, Eds.), The Sustainable City IX. Urban Regeneration and Sustainability, 1766.

Perico-Agudelo, D. (2009). El espacio público de la ciudad: una aproximación desde el estudio de sus características microclimáticas. Cuadernos de Vivienda Y Urbanismo, 2, 278–301.

Perini, K., & Magliocco, A. (2014). Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. Urban Forestry & Urban Greening, 13(3), 495–506. http://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.03.003

Pielke, R. A., & Uliasz, M. (1998). Use of meteorological models as input to regional and mesoscale air quality models—limitations and strengths. Atmospheric Environment, 32(8), 1455–1466.

Quan, S. J., Economou, A., Grasl, T., & Yang, P. P.-J. (2014). Computing Energy Performance of Building Density, Shape and Typology in Urban Context. Energy Procedia, 61(October 2015), 1602–1605. http://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.181

Ren, C., Ng, Y., & Katzschner, L. (2011). Urban climatic map studies : a review. International Journal of Climatology, 31, 2213–2233. http://doi.org/10.1002/joc.2237

Roca, J. (n.d.). La Ciudad como sistema disipativo. Máster de Planificación Urbana, Sostenibilidad y Cambio Climático. Barcelona.

Rohinton, E., & H.J.S., F. (2007). Urban heat islands in humid and arid climates: Role of urban form and thermal properties in Colombo, Sri Lanka and Phoenix, USA. Climate Research, 34(3), 241–251. http://doi.org/10.3354/cr00694

Saini, V., & Kamal, R. (2003). EFFECT OF URBANIZATION ON LAND SURFACE TEMPERATURE AND NDVI : A CASE STUDY OF DEHRADUN , INDIA. Punjab: Dept. of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Ropar.

Sarkis, J. M. L. P., & Adrien. (2009). A sustainable decision model for the built environment. Clark University George Perkins Marsh Institute.

Servicesaws.iadb.org. (2017). [online] Available at: http://servicesaws.iadb.org/wmsfiles/images/0x0/-39482.png [Accessed 4 Nov. 2017].

Schiller, S. de. (2001). Forma Edilicia, transformación urbana y sustentabilidad. Joint Centre for Urban Design, Oxfort Brookes University, United Kingdom y Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Schiller, S. De. (n.d.). Calificacion de diseño urbano y sustentabilidad.

Shen, L. Y., Jorge Ochoa, J., Shah, M. N., & Zhang, X. (2011). The application of urban sustainability indicators - A comparison between various practices. Habitat International, 35(1), 17–29. http://doi.org/10.1016/j.habitatint.2010.03.006

Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K., & Dikshit, A. K. (2009). An overview of sustainability assessment methodologies. Ecological Indicators, 9(2), 189–212. http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2008.05.011

Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K., & Dikshit, A. K. (2012). An overview of sustainability assessment methodologies. Ecological Indicators, 15(1), 281–299. http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.01.007

Sites.google.com. (2017). 1. Climograma de bienestar de Olgyay - ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA Y CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE. [online] Available at: https://sites.google.com/site/pjruizarquitecturabioclimatica/herramientas-de-diseno/climogramas-de-bienestar [Accessed 14 Nov. 2017].

STAR Communities. (2015). Technical Guide to the STAR Community Rating System. Washington: STAR Communities.

Sustainable Communities. (2017). About Us. [online] Available at: https://www.sustainablecommunities.gov/mission/about-us [Accessed 9 Dec. 2017].

Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands : albedo , evapotranspiration , and anthropogenic heat. Energy and Buildings, 25(96), 99–103. http://doi.org/10.1016/S0378-7788(96)00999-1

Taslim, S., Parapari, D. M., & Shafaghat, A. (2014). Urban design guidelines to mitigate urban heat island (UHI) effects in hot-dry cities. Jurnal Teknologi, (JANUARY), 191–199.

Terjung, W. H., & O'Rourke, P. A. (1981). Relative influence of vegetation on urban energy budgets and surface temperatures. Boundary-Layer Meteorology, 21(2), 255–263.

Thamm, H. P., Gossmann, H., Richter, C. J., & Röckle, R. (1999). Conflicting interests of planners, politicians and scientists in urban climatology as an example of Freiburg. I. Berlin, Germany. In Proceedings of the Conference ICB-ICUC (Vol. 99, pp. 8–11).

Tornero, J., Pérez Cueva, A., & Gómez Lopera, F. (2006). Ciudad y Confort Ambiental: Estado de la Cuestión y Aportaciones Recientes. Cuaderno de Geografía, (80), 147–182.

UNEP SBCI, & Sustainable United Nations. (2009). Buildings and Climate Change. Summary for Decision-Makers. Paris. Retrieved from www.unep.org

United Stated Environmental Protection Agency, Department of Transportation, & Department of Housing and Urban Development. (2012). Partnership for Sustainable Communities. Retrieved November 22, 2015, from http://www.sustainablecommunities.gov/community.html#FC5

Upmanis, H., Eliasson, I., & Lindqvist, S. (1998). The influence of green areas on nocturnal temperatures in a

high latitude city (Goteborg, Sweden). International Journal of Climatology, 18(6), 681–700. http://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199805)18:6<681::AID-JOC289>3.0.CO;2-L

Wason, S. (2014). APA Sustaining Places Initiative. Retrieved November 2, 2015, from http://massplanningdirectors.org/wp-content/uploads/2014/01/APA_Sustaining_Places_Foxborough.pdf

Webgeo.de. (2017). Physics of Thermal Radiation. [online] Available at: http://www.webgeo.de/k_304_en/ [Accessed 17 Dec. 2017].

Wong, E. (2008). Reducing Urban Heat Islands : Compendium of Strategies. Urban Heat Island Basics. Washington: United States Environmental Protection Agency.

World Commission on Environment and Development. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future (The Brundtland Report). Medicine, Conflict and Survival, 4(1), 300. http://doi.org/10.1080/07488008808408783

Yamartino, R. J., & Wiegand, G. (1967). Development and evaluation of simple models for the flow, turbulence and pollutant concentration fields within an urban street canyon. Atmospheric Environment, 20(11), 2137–2156. http://doi.org/https://doi.org/10.1016/0004-6981(86)90307-0

Zhou, N., He, G., & Williams, C. (2012). China's Development of Low-Carbon Eco-Cities and Associated Indicator Systems. Berkeley.

ANEXOS

Figura 86. . Carta bioclimática de Olgyay de Hermosillo, Sonora. Mes de enero

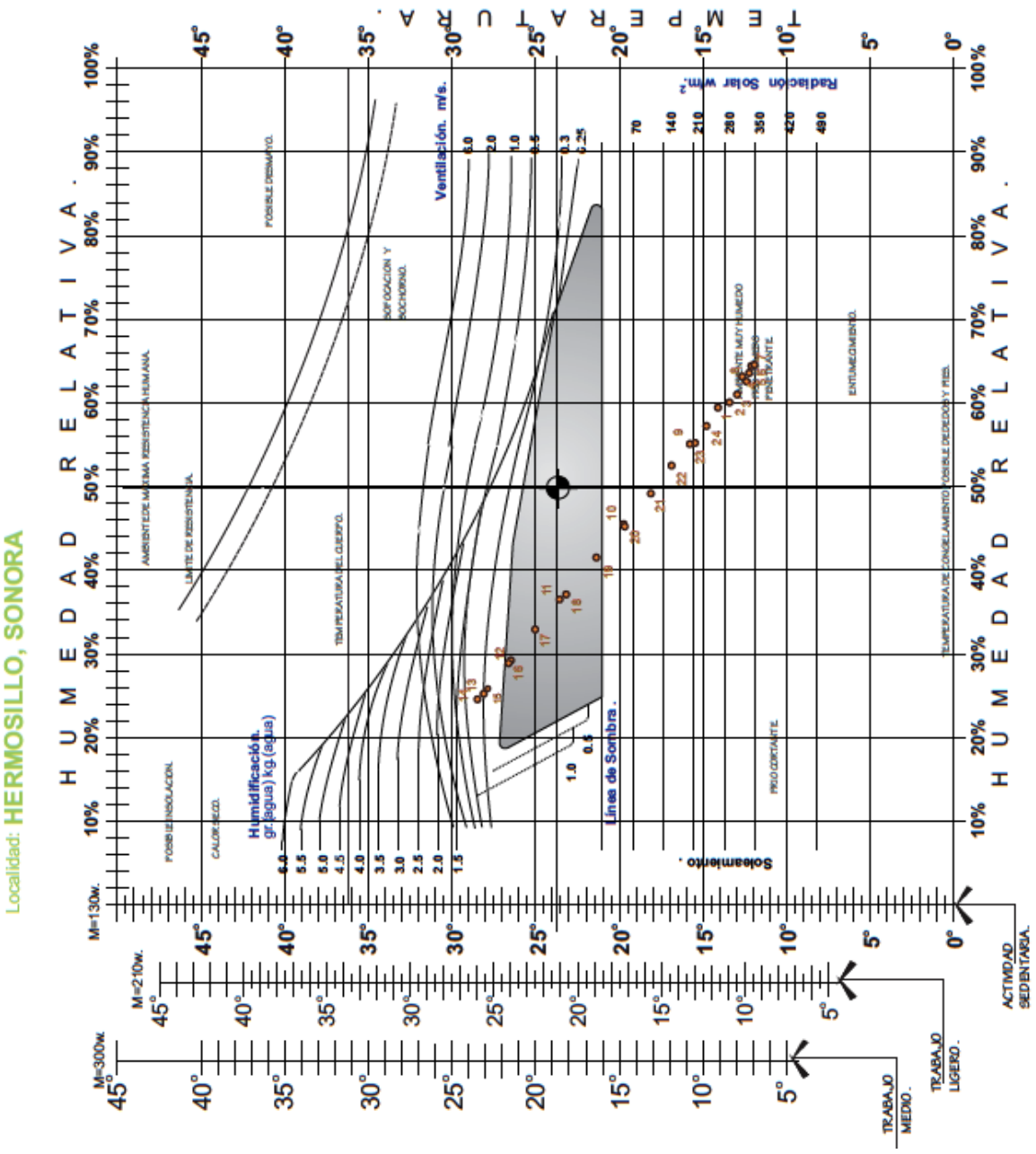


Figura 87. Carta bioclimática de Olgyay de Hermosillo, Sonora. Mes de febrero

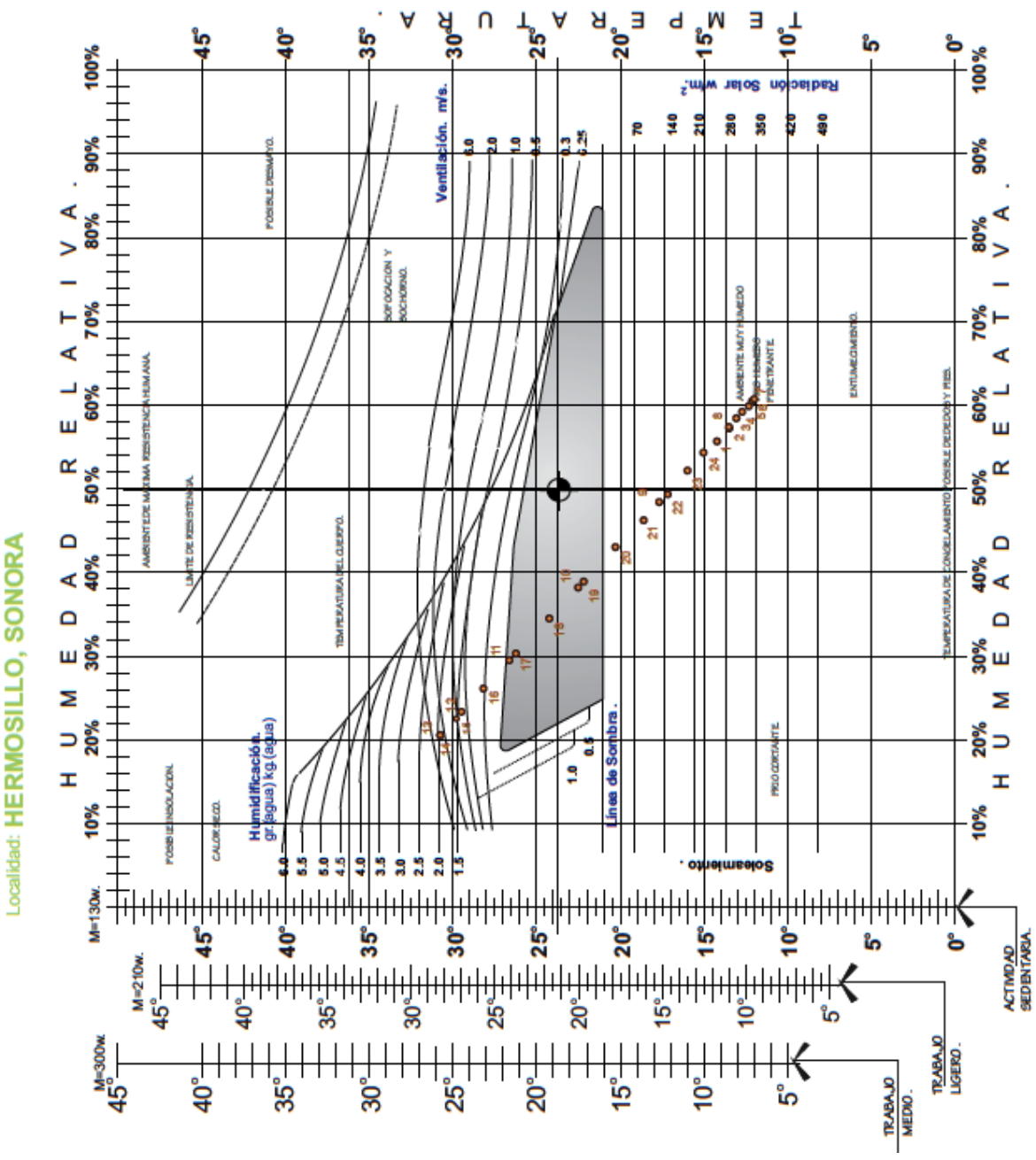


Figura 88. Carta bioclimática de Olgyay de Hermosillo, Sonora. Mes de marzo

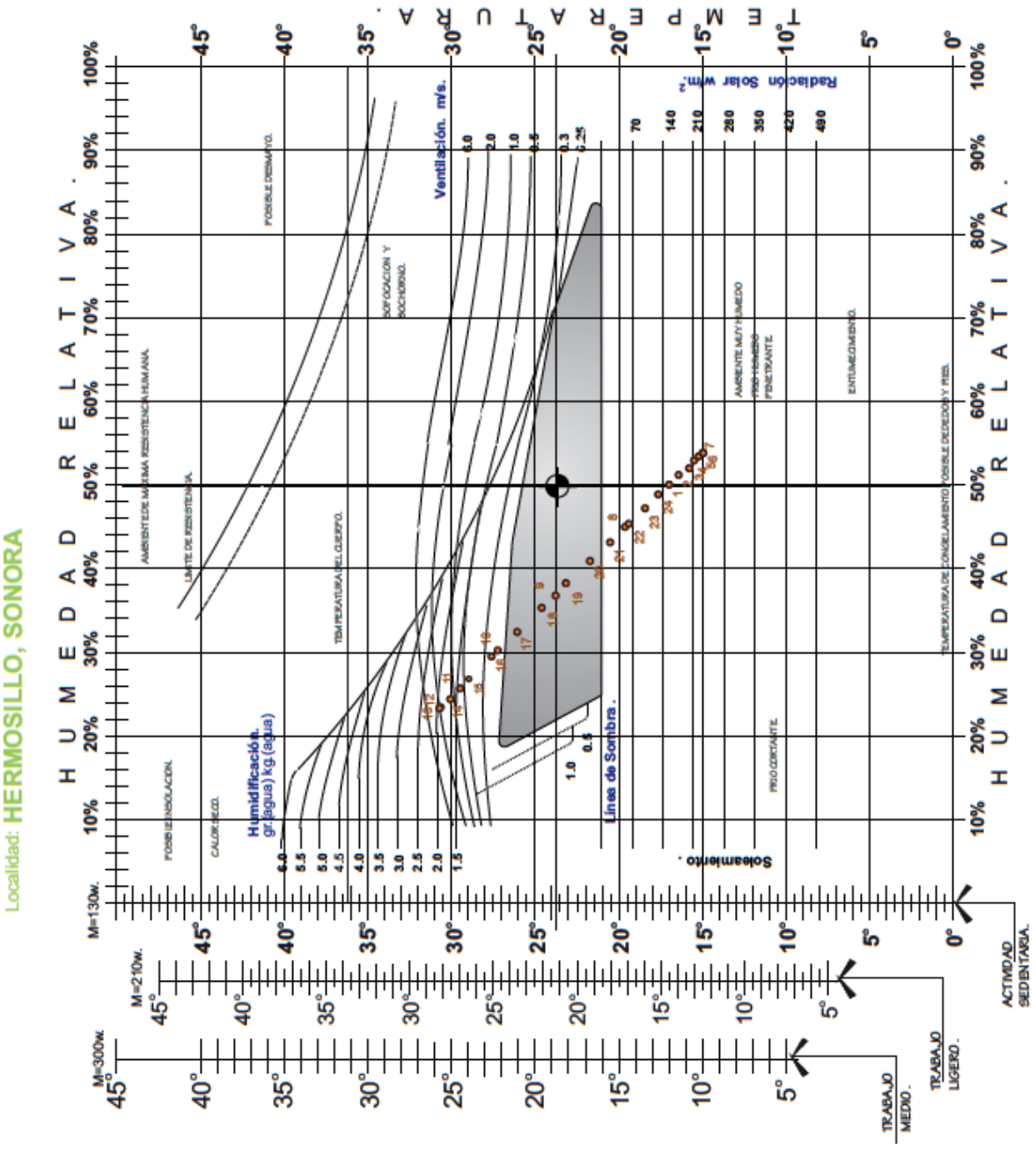


Figura 89. Carta bioclimática de Olgyay de Hermosillo, Sonora. Mes de abril

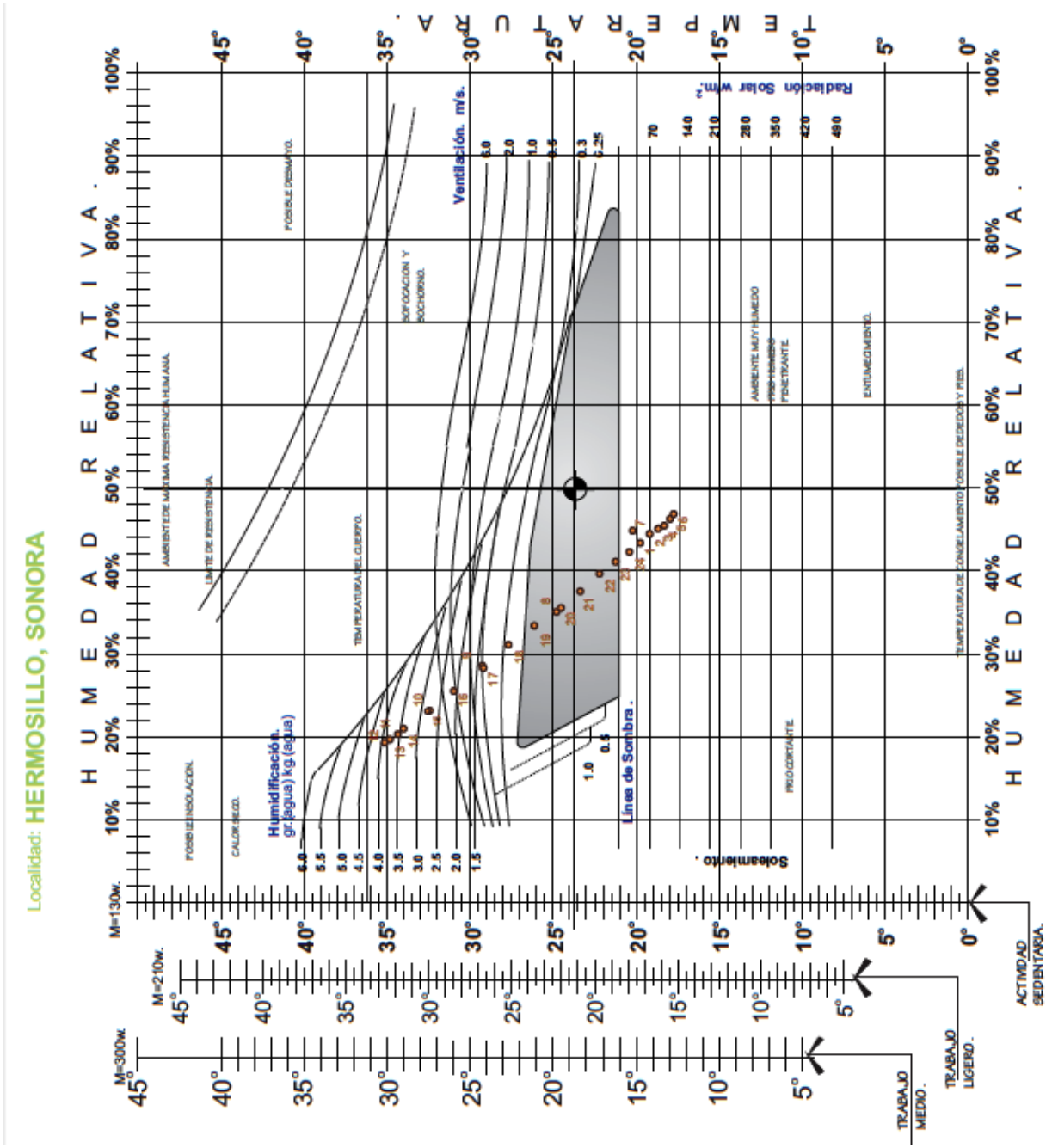


Figura 90. Carta bioclimática de Olgyay de Hermosillo, Sonora. Mes de mayo

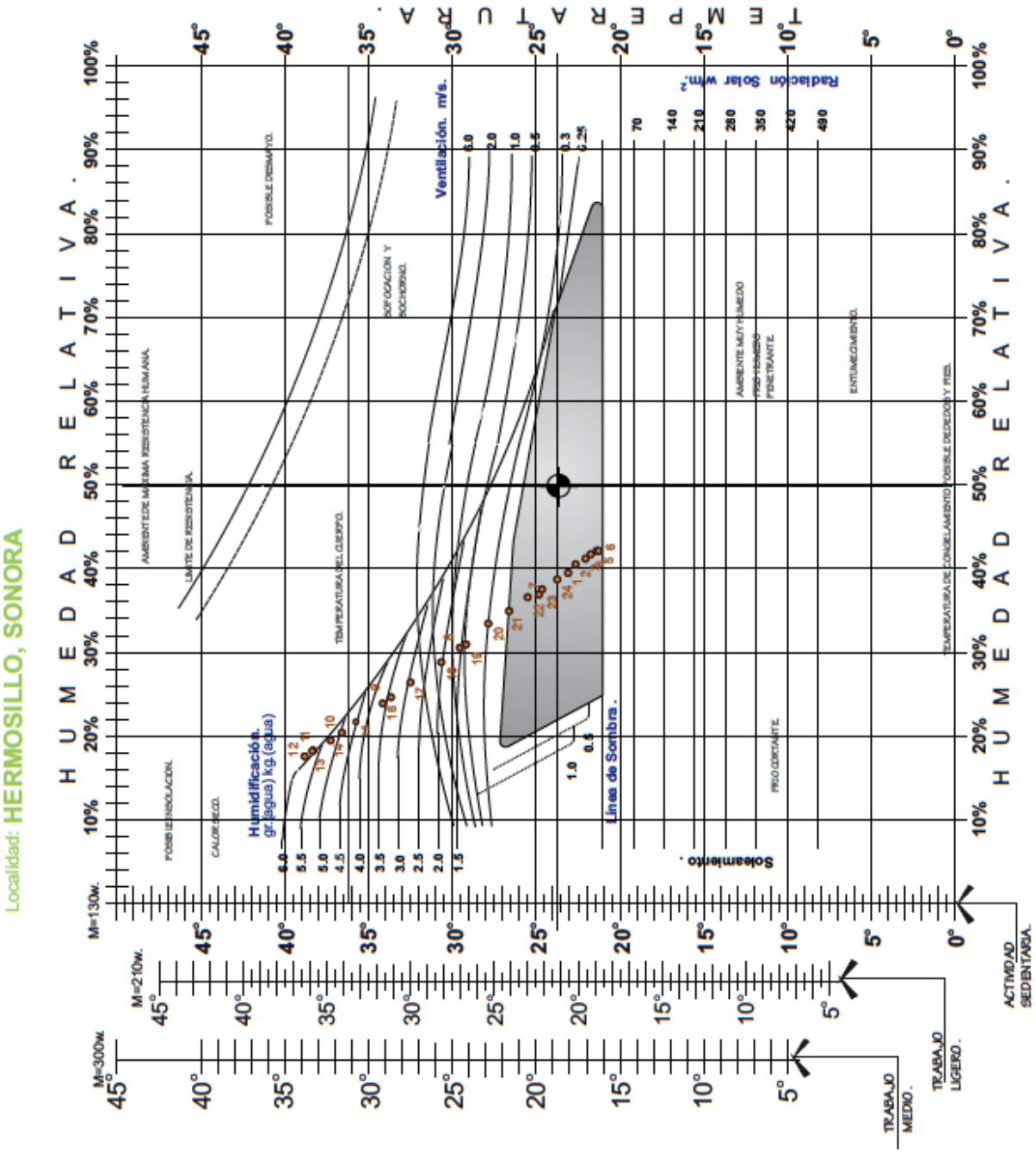


Figura 91. Carta bioclimática de Olgyay de Hermosillo, Sonora. Mes de junio

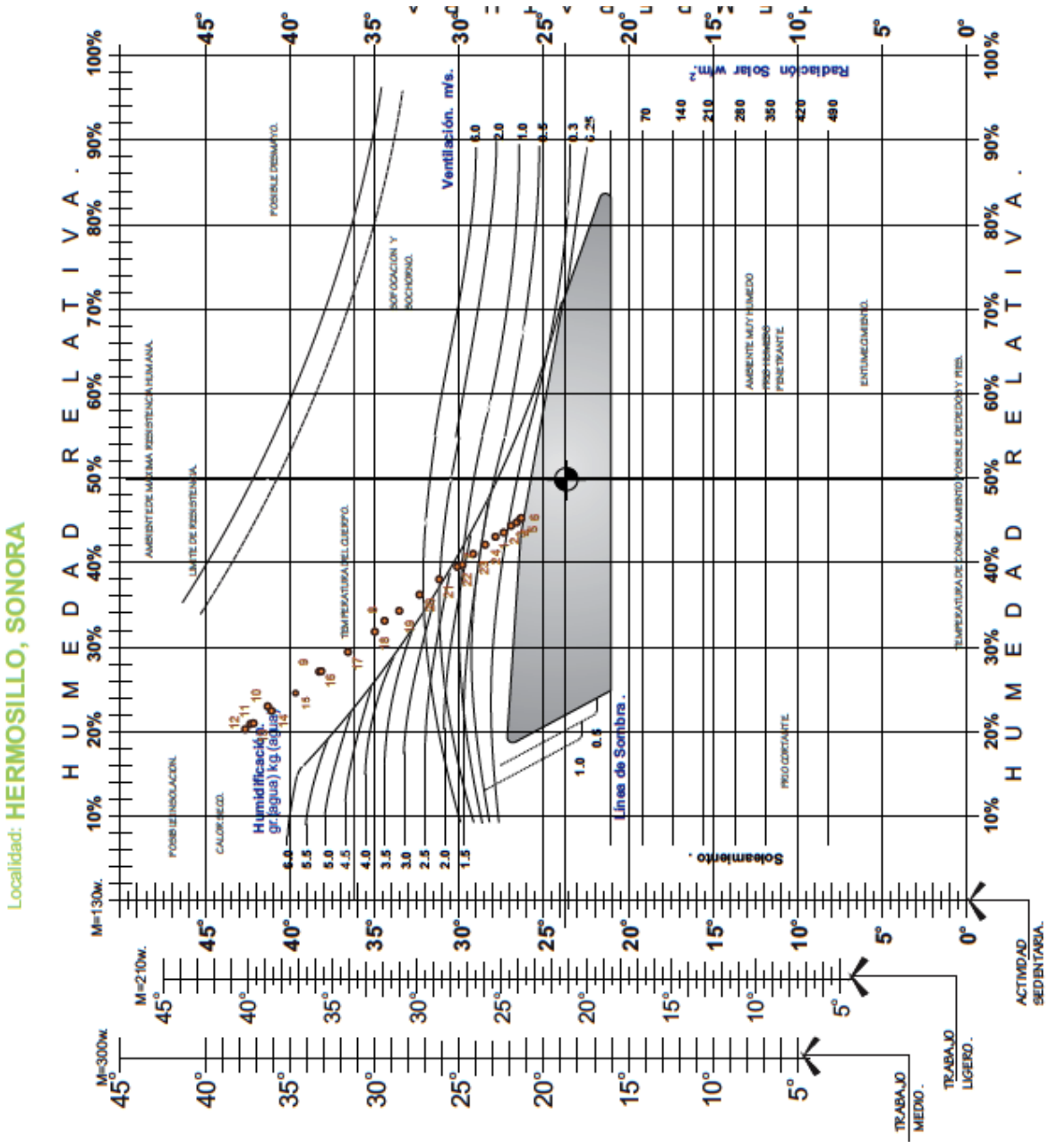


Figura 92. Carta bioclimática de Olgyay de Hermosillo, Sonora. Mes de julio.

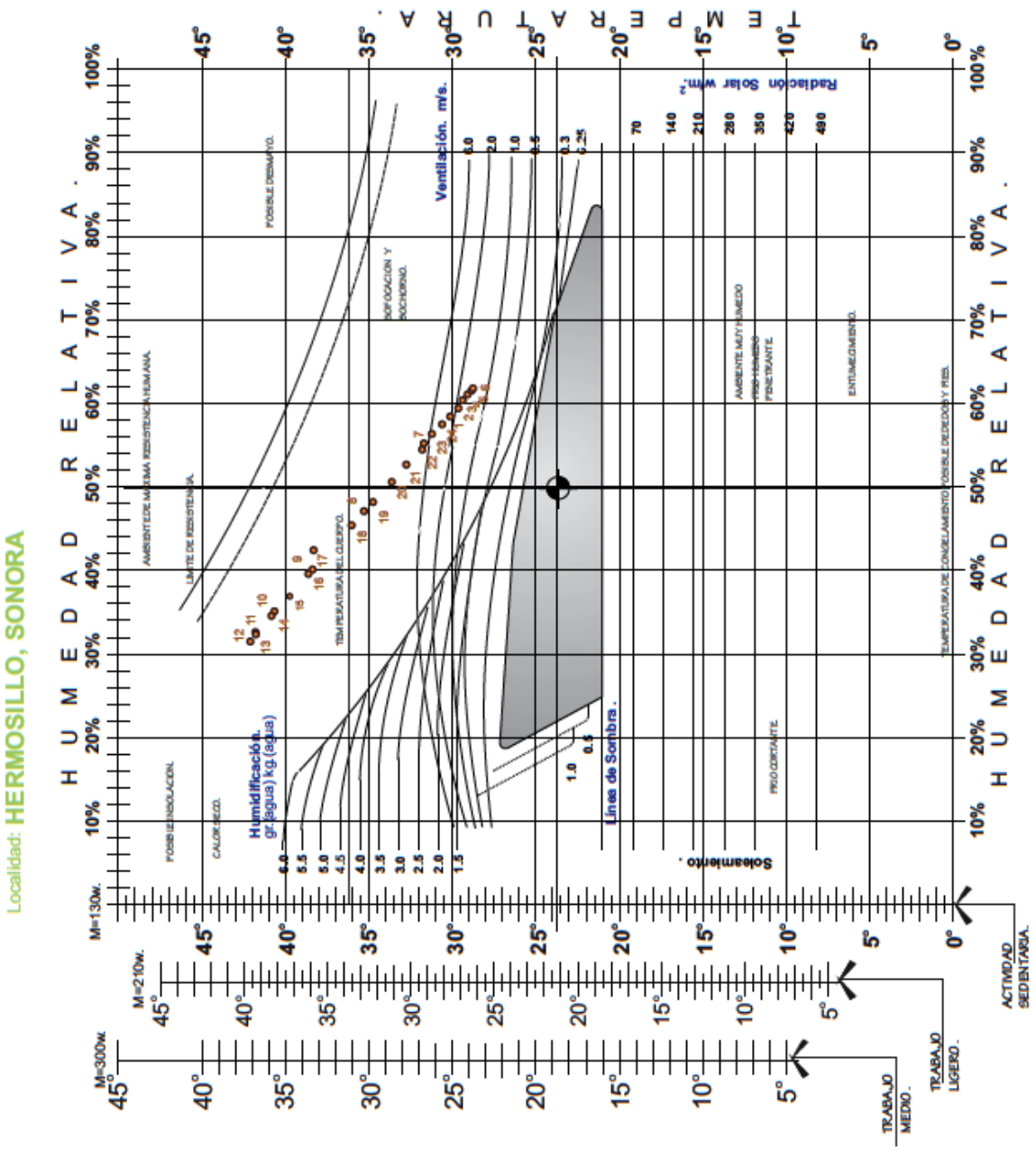


Figura 93. Carta bioclimática de Olgyay de Hermosillo, Sonora. Mes de agosto

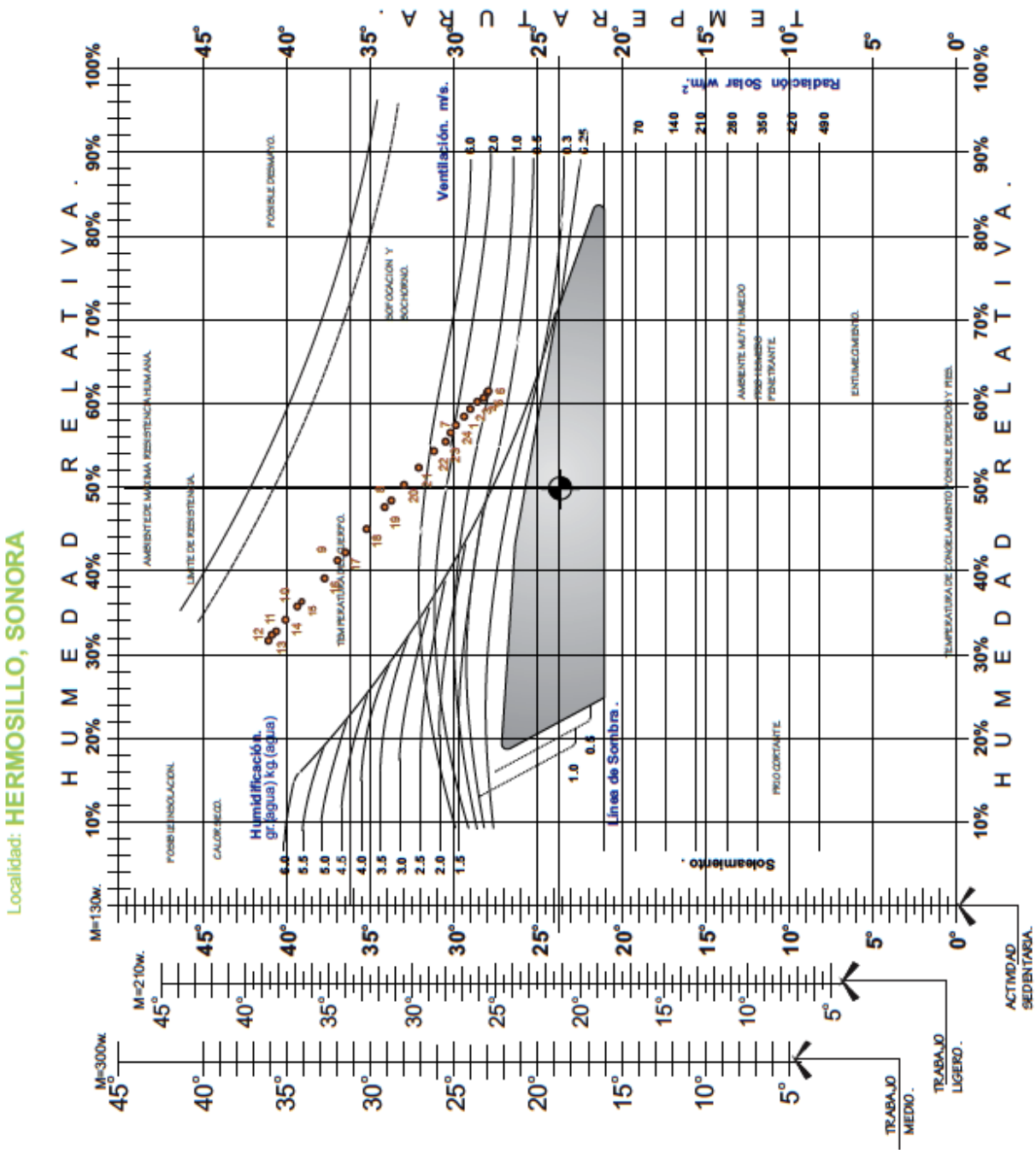


Figura 94. Carta bioclimática de Olgyay de Hermosillo, Sonora. Mes de septiembre

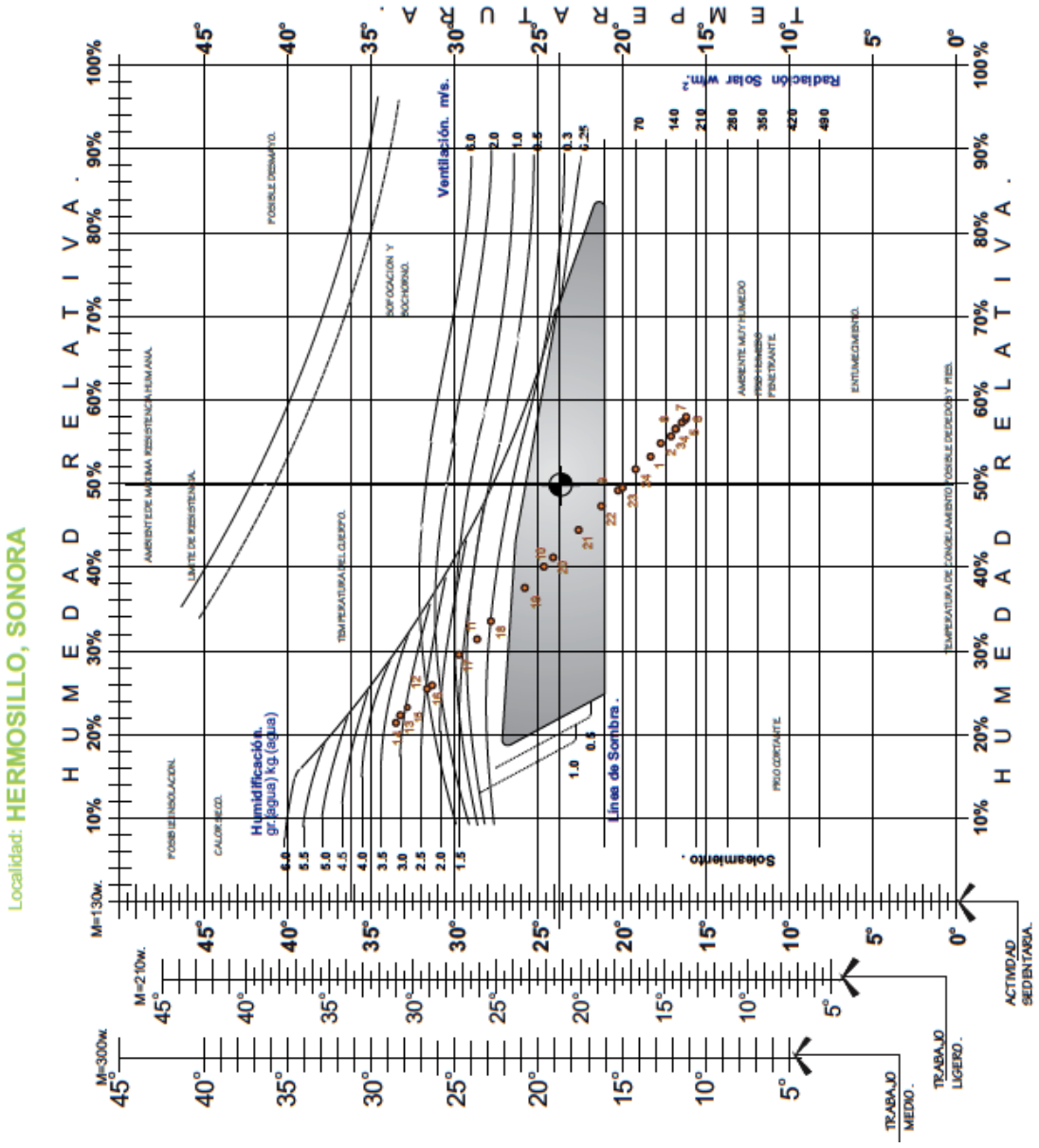


Figura 95. Carta bioclimática de Olgyay de Hermosillo, Sonora. Mes de octubre

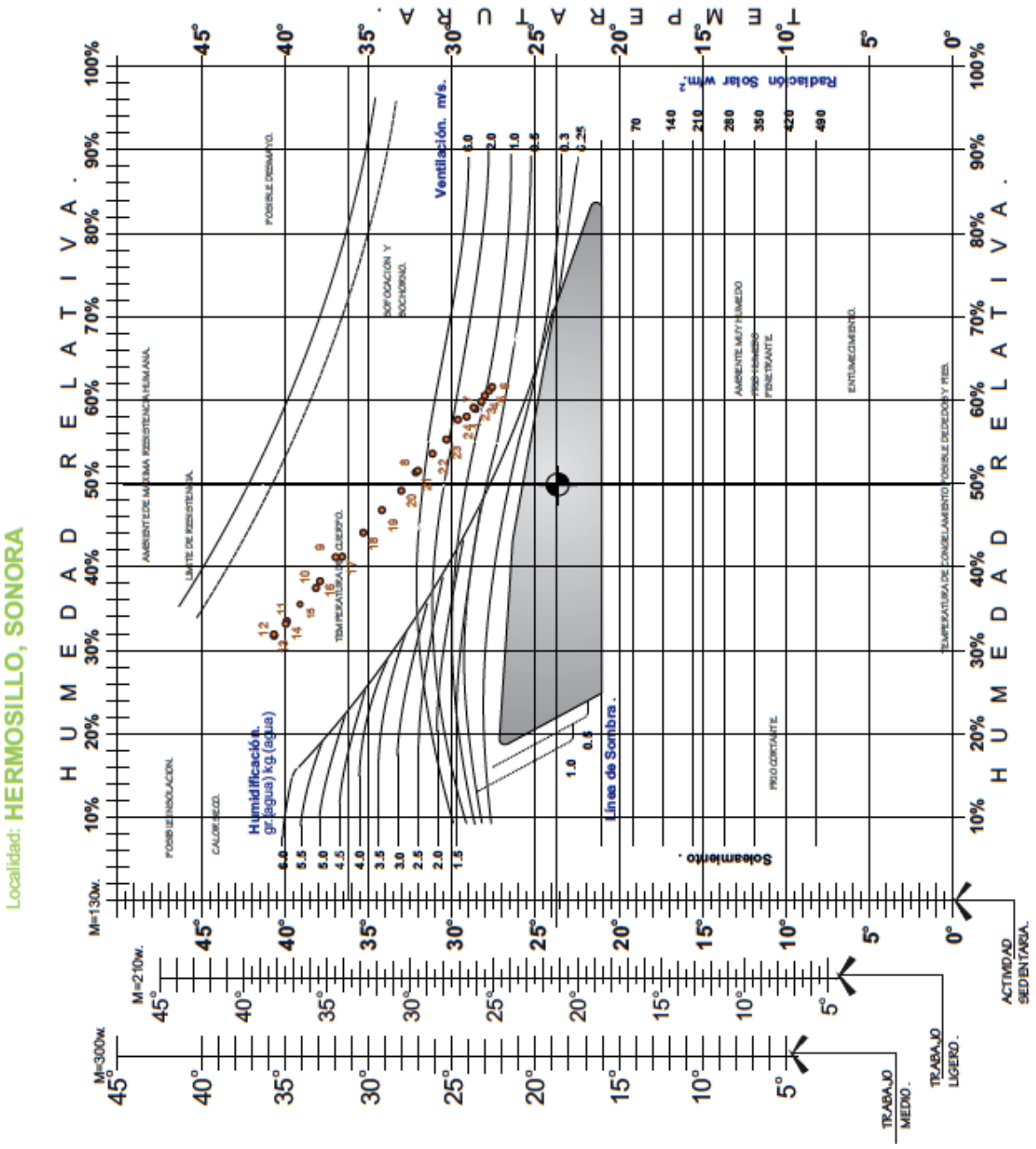


Figura 96. Carta bioclimática de Olgyay de Hermosillo, Sonora. Mes de noviembre

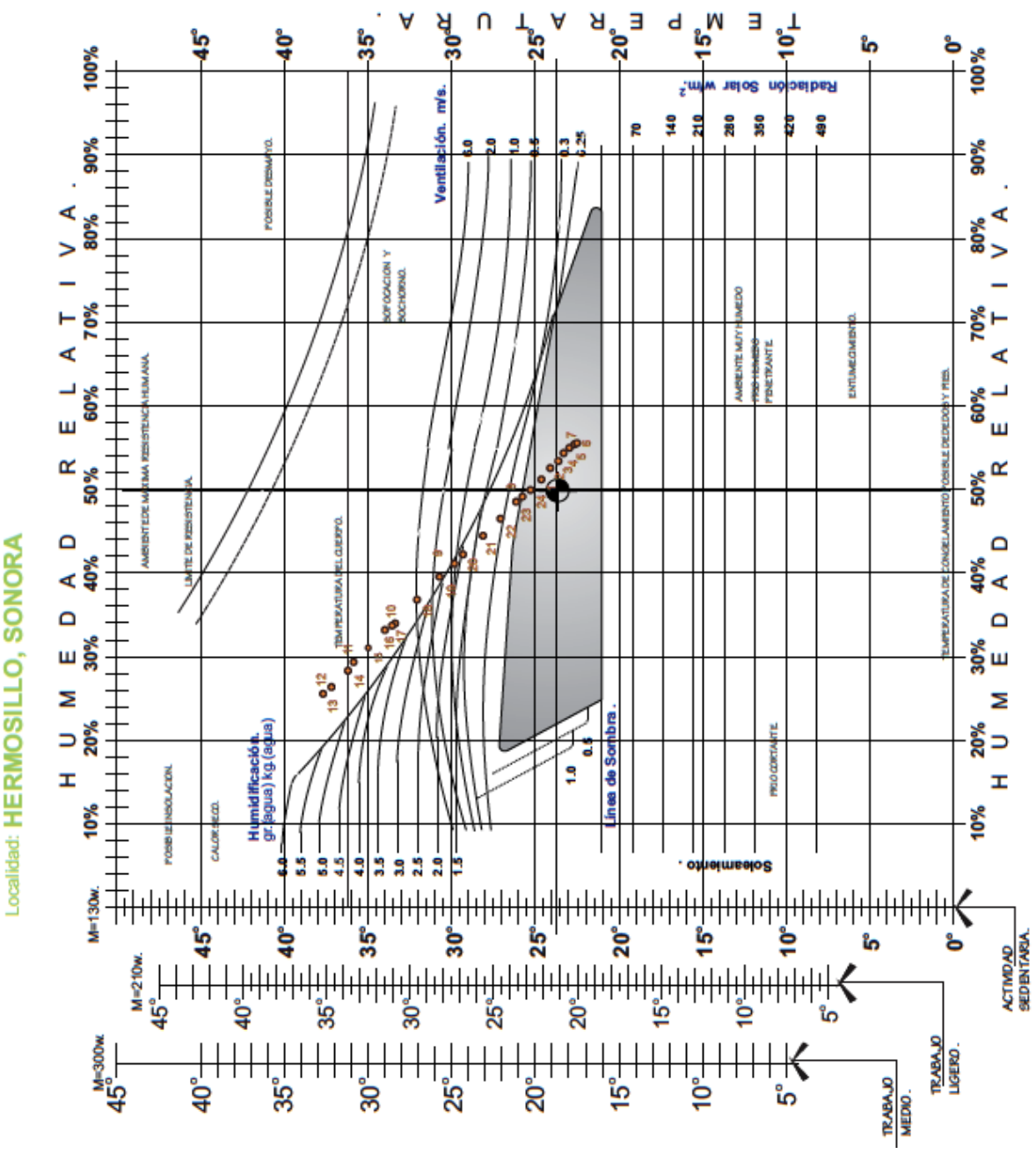


Figura 97. Carta bioclimática de Olgyay de Hermosillo, Sonora. Mes de diciembre

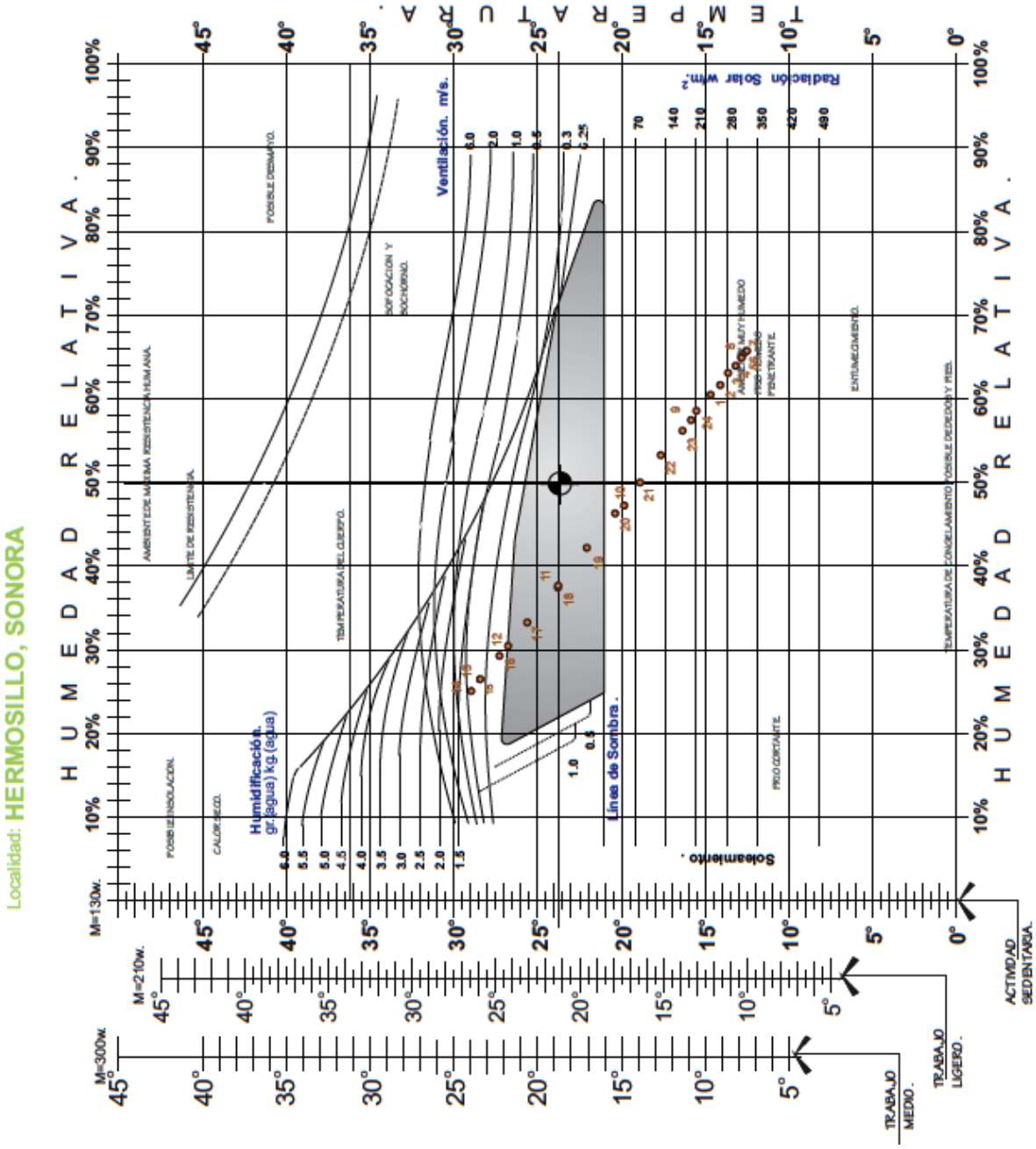


Tabla 71. Tabla de secciones de vialidades. Dimensionamiento según su clasificación.

CARACTERISTICAS	TIPO DE VIALIDAD												
	BRT	PRIMARIA		SECUNDARIA	COLECTORA		SUBCOLECTORA		ACCESO A COLONIA	LOCAL			ANDADOR
Derecho de vía	40.0	50.0	45.0	40.0	36.0	30.0	27.0	24.0	18.0	15.0	12.0	12.0	6.0
Faja separadora	4.0	10.0	5.0	4.0	4.0	3.0	1.5	2.0	-	-	-	-	-
No. de calzadas	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1
Ancho calzada	14.0	16.0	15.5	14.5	12.5	11.0	10.15	9.0	14.0	11.0	8.0	8.0	6.0
Ancho de banqueta	4.0	4.0	4.5	3.5	3.5	2.5	2.6	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	-
No. de carriles vehículos/calzada	4	4	4	4	3	3	3	2	4	2	1	2	-
Ancho de carril vehículos	3.0	3.25	3.25	3.0	3.5	3.0	3.25	3.5	3.10	3.0	3.0	4.0	-
Ancho de carril bicicleta	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	Compartido 3.90	2.0	Compartido 3.90	compartido			compartido
Ancho de carril estacionamiento	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	2.5	-	-
Ancho de acotamiento	-	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	-	-	-	-

Fuente: (IMPLAN. Instituto Municipal de, 2014:138)