

Adaptación de estrategias bioclimáticas pasivas para la optimización del confort térmico del salón comunal Ágora del barrio el Rocío en el municipio de Bucaramanga.

María Fernanda Mantilla Cantillo, Ronald Felipe Pedraza Lindarte

Trabajo de grado para optar el título de Arquitectos

Director

Jorge Alberto Narváez Manrique

Arquitecto

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Arquitectura

2025

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, a todos aquellos que, en algún momento de este camino universitario, aportaron su granito de arena para ayudarme a llegar hasta aquí. A mis hermanos, por distraerme en esos momentos en los que sentía que no podía más. A mi papá, por haberme introducido en el mundo de la construcción, apoyarme incondicionalmente y por hacerme reír aún en los días más difíciles. A Álvaro, por brindarme educación, por su apoyo constante y por estar presente en mi vida y en la de mi mamá.

Y a mi mamá, por ser mi mayor motivación, por su esfuerzo, su ejemplo de tenacidad, sus palabras de aliento, por creer siempre en mí y en mis capacidades, por su amor incondicional y por ser, simplemente, una madre excepcional.

Dedicatoria María Fernanda Mantilla Cantillo

Agradezco, en primer lugar, a Dios por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la oportunidad de culminar con éxito este importante logro.

A mi madre, por su sabiduría y constante guía; a mi padre, por la destreza y el ejemplo que me han impulsado a perseverar; a mi hermano, por su apoyo incondicional; y a mi familia, por inculcarme los valores y virtudes que me ayudaron a hacer realidad este logro.

Dedicatoria Ronald Felipe Pedraza Lindarte

Agradecimientos

A nuestros padres, por creer en nosotros y darnos su apoyo incondicional.

A Juan Felipe Quijano, por la disposición y por introducirnos en la bioclimática.

A Jorge Alberto Narváez, por sus enseñanzas y por guiarnos en este proceso.

Contenido

1. Introducción	23
2. Adaptación de estrategias bioclimáticas pasivas para la optimización del confort térmico del salón comunal Ágora del barrio el Rocío en el municipio de Bucaramanga	25
2.1 Planteamiento del problema	25
3. Justificación.....	29
4. Objetivos	30
4.1 Objetivo general	31
4.1.1 Objetivos específicos.....	31
5. Marco referencial	32
5.1 Marco teórico	32
5.1.2 Metodología de Diseño Bioclimático.....	32
5.1.3 El análisis climático	32
5.1.4 Análisis Teórico	33
5.1.7 Conclusión / Propósito de la metodología.....	37
5.2 Estrategias pasivas para el confort térmico en ciudades amazónicas: El caso de Tena Frente al mar.....	37
5.3 Metodología:	38
5.4 Simulando Estrategias Bioclimáticas Especificas Para Recuperar Diseños Valiosos En La Arquitectura Vernácula.	40
5.5 Análisis del confort térmico en Escuela Modelo de la Sierra Peruana y evaluación de mejoramiento térmico mediante el uso de principios bioclimáticos	48

5.8 Análisis del confort humano (Confort térmico, lumínico y acústico) en viviendas de interés social.....	56
5.9 Adaptación de una Vivienda Pro.Cre.Ar a una Vivienda Bioclimática en la Ciudad De Rauch, Provincia de Buenos Aires.....	59
6. Análisis Comparativo del Comportamiento Térmico de dos Edificios en Clima Cálido Húmedo.	63
6.1 Caso de Estudio: Hotel Mi California - Barrancabermeja, Santander	63
Este trabajo de	63
6.2 Diseño bioclimático como aporte al proyecto arquitectónico	75
6.3 Conceptos bioclimáticos y su aplicabilidad a la zona rural altoandina.....	83
6.4 Manual Para El Diseño Bioclimático y Ecotecnia en Conjuntos Habitacionales.....	86
6.5 Estrategias bioclimáticas en la arquitectura de Ruiz-Larrea	87
6.6 Fachadas disipadoras de calor: Recursos para el diseño arquitectónico	88
6.7 Guía de estrategias de diseño bioclimático para el confort térmico.....	90
6.7.2 Marco conceptual	91
6.7.3 Marco legal.....	94
7. Estudio Previo	99
8. Metodología	110
8.1 Fase 1: <i>Conceptualización Bioclimática</i> : El propósito de esta fase es comprender mejor los principios bioclimáticos y las estrategias pasivas de diseño mediante la revisión de libros, tesis, artículos y otras fuentes confiables. Con esto se busca construir una base teórica sólida que sirva de guía para las decisiones proyectuales relacionadas con el confort térmico (Olgyay, 1963).	110

8.2 Fase 2: <i>Análisis Contextual</i> : Esta fase tiene como propósito comprender las condiciones físicas y climáticas del entorno, así como las necesidades y comportamientos del usuario, para establecer una base de diseño coherente con el contexto y las expectativas del proyecto (Szokolay, 1986).	111
8.3 Fase 3: <i>Evaluación De Línea Base</i> : Esta fase tiene como propósito evaluar el comportamiento térmico actual del edificio a través del modelado y la simulación de la línea base. A partir de los resultados obtenidos, se identifican problemáticas relacionadas con el confort térmico y se establecen los parámetros iniciales que servirán como punto de comparación para futuras mejoras en el diseño (Crawley, Lawrie, & Winkelmann, 2001).	116
8.4 Fase 4: <i>Optimización Y Validación</i> : esta fase tiene como propósito aplicar y dimensionar estrategias bioclimáticas seleccionadas, simular su impacto en el comportamiento del edificio y validar su efectividad. A través del análisis de resultados finales, se ajustan las propuestas para optimizar el confort térmico, consolidando así una solución proyectual adecuada (Olgyay, 1963).	120
8.5 Fase 5: <i>Conclusión</i> : Esta fase tiene como propósito reflexionar sobre los resultados obtenidos a lo largo del proceso, identificando los logros alcanzados en términos de confort térmico, así como los aprendizajes derivados del análisis, simulación y aplicación de estrategias bioclimáticas. Esta fase permite cerrar el ciclo metodológico.	125
9. Cronograma / Plan De Trabajo.....	127
10. Desarrollo de la Metodología.....	131
11. Análisis comparativo de resultados	218
11.1 <i>Comparación de resultados térmicos entre simulación base y propuesta preliminar</i> : ...	218
12. Conclusiones	248

13. Referencias	251
-----------------------	-----

Lista de figuras

Figura 1. <i>Aceptación térmica</i>	96
Figura 2. <i>Plano de ágoras activas en el municipio de Bucaramanga</i>	108
Figura 4. Sector del Rocío.....	140
Figura 5. Código de Representación estadística	140
Figura 6. Datos del archivo del año meteorológico de la estación de la UIS.....	140
Figura 7. Herramienta PVGIS de la Comisión Europea	141
Figura 8. Corte Urbano Norte - Sur del Ágora el Rocío	142
Figura 9. Corte Urbano Oeste - Este del Ágora el Rocío.....	143
Figura 10. Herramienta CBE clima.....	143
Figura 11. Herramienta CBE clima.....	144
Figura 12. Herramienta CBE clima.....	145
Figura 13. Herramienta CBE clima.....	145

Figura 14 Precipitaciones anuales:.....	145
Figura 15. Representación de sequía.....	146
Figura 16 Rosa de los Vientos anual resumen:	146
Figura 17. Rosa de los Vientos anual específico.....	147
Figura 18. Herramienta CBE clima.....	148
Figura 19. Herramienta CBE clima.....	149
Figura 20. Tipos de especies	150
Figura 21. Flora y ecosistema	150
Figura 22. Salon comunal del Rocio	151
Figura 23. Equipamiento con la dinámica barrial	152
Figura 24. Espacios de articulación	153
Figura 25. Cubiertas placas de muro:.....	154
Figura 26. Características de mejoramiento Bioclimático.	155
Figura 27. Cifras del DANE.....	156
Figura 28. Clasificación de edificaciones	156
Figura 29. Aislamiento térmico de prendas.	157
Figura 30. Exterior del edificio actual:	159
Figura 31. Exterior del edificio actual:	161
Figura 32. Planta Primer piso.....	162
Figura 33. Planta Segundo piso.....	163
Figura 34. Fachada Norte.....	163
Figura 35. Fachada Este	164
Figura 36. Fachada Sur	164

Figura 37. <i>Aplicación de ELEMENTS</i>	165
Figura 38. Retroalimentación del archivo climático dentro del software	166
Figura 39. Primeras gráficas del software	167
Figura 40. Planta en perspectiva en el software	168
Figura 41. Modelado del Ágora en el software	169
Figura 42. Velocidad del metabolismo	170
Figura 43. Índice de ocupación	171
Figura 44. Factor de carga.....	171
Figura 45. Línea de Base.....	172
Figura 46. Ventilación del Edificio	173
Figura 47. Oportunidades de intervención urbana:	173
Figura 48. Distribución del espacio	175
Figura 49. Espacio Interior.....	176
Figura 50. <i>Datos climatológicos para la simulación el día más frío</i>	178
Figura 51. Vientos sacados del IDEAM	178
Figura 52. Resultados de la primera simulación el día más frío	179
Figura 53. Resultados de la primera simulación el día más frío representados en una tabla de EXCEL	179
Figura 54. <i>Simulación a la 8 am el día más frío</i>	181
Figura 55. Simulación a la 12 am el día más frío.....	181
Figura 56. Simulación a la 6 pm el día más frío	182
Figura 57. Resultados de la primera simulación de la energía de los materiales.....	183

Figura 58. Resultados de la primera simulación de la energía de los materiales representados en una tabla de EXCEL el día más frío.....	183
Figura 59. Método de Fanger en DesignBuilder el día más frío.....	186
Figura 60. Método de Fanger en DesignBuilder el día más frío tabla de EXCEL	186
Figura 61. Datos climatológicos para la simulación el día más caliente.....	187
Figura 62. Vientos sacados del IDEAM	188
Figura 63. Resultados de la primera simulación el día más caliente.....	188
Figura 64. Resultados de la primera simulación el día más caliente tabla de EXCEL	189
Figura 65. Simulación a la 8 am el día más caliente	190
Figura 66. Simulación a la 12 am el día más caliente	191
Figura 67. Simulación a la 6 pm	192
Figura 68. Resultados de la primera simulación el día más caliente de la energía de los materiales	193
Figura 69. Resultados de la primera simulación el día más caliente de la energía de los materiales representados en una tabla de EXCEL.....	193
Figura 70 Método de Fanger en DesignBuilder el día más caliente	195
Figura 71. Método de Fanger en DesignBuilder el día más caliente en tabla de EXCEL	196
Figura 72. Propuesta urbana de materiales para el piso urbano.....	197
Figura 73. Propuesta urbana de materiales para el piso urbano aplicada en el diseño.....	198
Figura 74. Propuesta urbana de vegetación.....	198
Figura 75. Propuesta urbana de vegetación especies	199
Figura 76. Propuesta Funcional Primer Piso.....	200
Figura 77. Propuesta Funcional Segundo Piso.....	200

Figura 78. Propuesta Formal	201
Figura 79. Propuesta técnica	202
Figura 80. Datos climatológicos para la simulación propuesta el día más frío.....	203
Figura 81. Vientos sacados del IDEAM	203
Figura 82. Resultados de la simulación propuesta el día más frío	205
Figura 83. Resultados de la simulación propuesta el día más frío representados en una tabla de EXCEL	205
Figura 84. Simulación propuesta a la 8 am el día más frío	206
Figura 85. Simulación propuesta a la 12 am el día más frío	207
Figura 86. Método de Fanger en DesignBuilder el día más frío	209
Figura 87. Datos climatológicos para la simulación propuesta el día más caliente	210
Figura 88. Vientos sacados del IDEAM.....	211
Figura 89. Resultados de la simulación propuesta el día más caliente	211
Figura 90. Resultados de la simulación propuesta el día más caliente tabla de EXCEL	212
Figura 91. Simulación propuesta a la 8 am el día más caliente	213
Figura 92. Simulación propuesta a la 12 am el día más caliente	214
Figura 93. Simulación propuesta a la 6 pm.....	214
Figura 94. Método de Fanger en DesignBuilder el día más caliente	216
Figura 95. Cuadro comparativo de la simulación de línea Base y La Propuesta	219
Figura 96. Perspectiva línea Base	221
Figura 97. Perspectiva Propuesta final formal	221
Figura 98. Propuesta final fachada.....	222
Figura 99. Propuesta final Corte Transversal.....	223

Figura 100. Propuesta final Corte Longitudinal.....	223
Figura 101. Propuesta final Corte Fachada	224
Figura 102. Propuesta final materiales.....	225
Figura 103. Propuesta final análisis de materiales	225
Figura 104. Datos climatológicos para la simulación final el día más frío	226
Figura 105. Vientos sacados del IDEAM	227
Figura 106. Resultados de la simulación final el día más frío	227
Figura 107. Resultados de la simulación final el día más frío representados en una tabla de EXCEL	228
Figura 108. <i>Simulación final a la 8 am el día más frío</i>	229
Figura 109. Simulación final a la 12 am el día más frío	229
Figura 110. Simulación final a la 6 pm el día más frío	229
Figura 111. Resultados de la simulación final de la energía de los materiales	230
Figura 112. Resultados de la simulación final de la energía de los materiales representados en una tabla de EXCEL el día más frío	230
Figura 113. Método de Fanger en DesignBuilder el día más frío	233
Figura 114. Método de Fanger en DesignBuilder el día más frío tabla de EXCEL.....	233
Figura 115. Datos climatológicos para la simulación final el día más caliente	234
Figura 116. Vientos sacados del IDEAM	235
Figura 117. Resultados de la simulación final el día más caliente.....	237
Figura 118. Resultados de la simulación final el día más caliente tabla de EXCEL	237
Figura 119. Simulación final a la 8 am el día más caliente.....	239
Figura 120. Simulación final a la 12 am el día más caliente.....	239

Figura 121. Simulación final a la 6 pm	239
Figura 122. Resultados de la simulación final el día más caliente de la energía de los materiales	240
Figura 123. Resultados de la simulación final el día más caliente de la energía de los materiales representados en una tabla de EXCEL	240
Figura 124. Método de Fanger en DesignBuilder el día más caliente	242
Figura 125. Método de Fanger en DesignBuilder el día más caliente en tabla de EXCEL	243
Figura 126. Cuadro comparativo estado inicial y propuesta final:	244

Lista de **Tablas**

Tabla 1. <i>Contextualización de Proyectos</i>	100
Tabla 2. <i>Similitudes y Diferencias entre Metodologías</i>	102
Tabla 4. Clasificación de Fases	103
Tabla 5. Propuesta Metodológica	105
Tabla 6. Cronograma	128
Tabla 7. Matriz comparativa de fundamentos teóricos:	136

Resumen

El proyecto de grado se centra en la aplicación de estrategias pasivas en edificaciones públicas del municipio de Bucaramanga, adaptando metodologías bioclimáticas extranjeras al contexto local. Se realizó un análisis comparativo de ocho metodologías arquitectónicas con enfoque bioclimático, identificando fases, factores e indicadores relevantes para formular una metodología propia, ajustada a las condiciones climáticas y urbanas del municipio.

Como caso de estudio se seleccionó el Ágora del barrio El Rocío (Calle 105A No. 16-95), elegido por variables bioclimáticas como elevación, temperatura, orientación y recientes intervenciones físicas. La metodología propuesta integra datos climáticos, características del sitio, requerimientos del usuario y análisis de componentes urbanos, funcionales, formales y técnicos, complementados con una selección comparativa de materiales según parámetros térmicos y constructivos.

El estudio del Ágora consistió en la generación de planimetría y modelado 3D en Revit, seguido de simulaciones en DesignBuilder para evaluar el confort térmico actual. Con base en los resultados, se aplicaron estrategias bioclimáticas y mejoras de materiales, iterando el proceso hasta optimizar el desempeño térmico del edificio.

La metodología bioclimática desarrollada permite tomar decisiones técnicas y cuantificables, mejorando el confort térmico de edificaciones existentes y ofreciendo una herramienta replicable para futuros proyectos públicos en Bucaramanga. Así, se promueve una arquitectura consciente del clima, que favorece el bienestar de los usuarios y la sostenibilidad urbana.

Palabras clave: bioclimática, estrategias bioclimáticas pasivas, confort térmico, arquitectura

Abstract

The undergraduate project focuses on the application of passive strategies in public buildings within the municipality of Bucaramanga, adapting foreign bioclimatic methodologies to the local context. A comparative analysis of eight architectural methodologies with a bioclimatic approach was conducted, identifying key phases, factors, and indicators to formulate a custom methodology tailored to the climatic and urban conditions of the municipality.

As a case study, the Ágora located in the El Rocío neighborhood (Calle 105A No. 16-95) was selected based on bioclimatic variables such as elevation, temperature, orientation, and recent physical interventions. The proposed methodology integrates climatic data, site characteristics, user requirements, and analysis of urban, functional, formal, and technical components,

complemented by a comparative selection of materials according to thermal and construction parameters.

The study of the Ágora involved the creation of architectural plans and 3D modeling in Revit, followed by simulations in DesignBuilder to assess the current thermal comfort conditions. Based on the results, bioclimatic strategies and material improvements were applied, iterating the process until the building's thermal performance was optimized.

The developed bioclimatic methodology enables technical and quantifiable decision-making, improving the thermal comfort of existing buildings and offering a replicable tool for future public projects in Bucaramanga. Thus, it promotes climate-responsive architecture that enhances user well-being and urban sustainability.

Keywords: Bioclimatic architecture, passive bioclimatic strategies, thermal comfort, architecture

Glosario

Aislamiento higrotérmico: es el sistema que evita el paso de calor y humedad entre el interior y el exterior de una vivienda (Al-Homoud, 2005).

Aislamiento térmico: conjunto de materiales o sistemas que reducen el paso de calor entre el interior y el exterior de una edificación.

Arquitectura bioclimática: es aquella que considera las condiciones climáticas del lugar donde se construirá la edificación, para lograr el confort térmico y la eficiencia energética, aprovechando los recursos naturales disponibles y reduciendo el consumo de energía (Al-Homoud, 2005).

Arquitectura sostenible: considera técnicas de diseño que producen espacios y edificios con la menor huella de carbono posible, logrando así una arquitectura responsable con el medio ambiente (Gamboa, 2025).

Bienestar térmico: es la sensación de comodidad que experimenta una persona en un ambiente determinado, resultado de la interacción de las condiciones ambientales y las características personales.

Captación solar pasiva: es el aprovechamiento de la energía solar para calentar un espacio, sin recurrir a equipos mecánicos, mediante el diseño arquitectónico y la orientación de la edificación (Gamboa, 2025).

Cartas bioclimáticas: una de las herramientas del diseño bioclimático son los diagramas bioclimáticos. Estos están basados en principios de la psicrometría (Martín, 2019).

Clima: el clima es el conjunto de condiciones meteorológicas que caracterizan a una región a lo largo del tiempo y que influyen directamente en el confort térmico de sus habitantes.

Conducción: la conducción es la cesión de energía entre las partículas como resultado de la interacción directa entre las mismas. Se produce en todos los estados de la materia (Martín, 2019).

Confort acústico: el ruido es un elemento sumamente nocivo que provoca alteraciones en el sistema circulatorio y puede provocar pérdida temporal o permanente de la audición, perturbación del sueño, estrés, neurosis, e interferencia en la comunicación (Ministerio de Salud Pública de Salta, 2025).

Confort higrométrico: la humedad desempeña un papel importante en los mecanismos de intercambio térmico del cuerpo, tanto en la sudoración como en la evaporación e intercambio térmico a través de la respiración (Gamboa, 2025).

Confort lumínico: para desarrollar cualquier tipo de trabajo es necesario contar con niveles de iluminación adecuados, de lo contrario se pueden ocasionar lesiones transitorias o permanentes de la vista (Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2025).

Confort olfativo: el confort olfativo está relacionado directamente con la calidad del aire; existen muchos elementos contaminantes, no solamente por su olor, sino por los efectos nocivos sobre el organismo.

Confort psicológico: el confort psicológico se refiere a la percepción global que tiene el cerebro de toda la información que recibe del medio ambiente, incluyendo la percepción espacial, visual, información auditiva, etc (Martín, 2019).

Confort térmico: es la condición de bienestar que experimenta una persona en un espacio, determinada por factores ambientales como temperatura, humedad y velocidad del aire, así como por factores personales como vestimenta y actividad física (Martín, 2019).

Control de humedad: es la aplicación de técnicas para evitar que la humedad afecte las condiciones de confort y la durabilidad de los materiales.

Convección: la convección es el mecanismo mediante el cual se transmite calor entre una superficie y un fluido adyacente, combinando los efectos de la conducción y la dinámica de los fluidos (Çengel & Ghajar, 2011).

Diagrama de Givoni: el segundo diagrama bioclimático fue publicado por Givoni en 1970. Este diagrama se basa en un ábaco psicrométrico convencional; sobre el diagrama, el autor propone las estrategias bioclimáticas correctivas respecto a las combinaciones de temperatura y humedad relativa que presenta cada emplazamiento (Givoni, 1976) .

Diagrama de Olgyay: en 1950 desarrolló un gráfico bioclimático que incorporaba las condiciones climáticas externas en el diseño arquitectónico (Olgyay, 1963).

Diagrama de Szokolay: en 1986, Szokolay fusionó las investigaciones bioclimáticas con el modelo adaptativo y desarrolló el concepto de que existen dos zonas de confort que dependen principalmente de las características del emplazamiento y de las personas del lugar (Szokolay, 1986).

Diseño bioclimático: es aquel que utiliza las condiciones climáticas del lugar donde se construirá la edificación para lograr el confort térmico y la eficiencia energética, aprovechando los recursos naturales disponibles y reduciendo el consumo de energía.

Estrategias bioclimáticas: son directrices o principios de diseño que permiten aprovechar las condiciones climáticas de un lugar para lograr confort térmico y reducir el consumo energético (González & Fernández, 2015, p. 67)

Enfoque: perspectiva o manera de abordar un problema, utilizada en este trabajo para orientar la metodología hacia el confort térmico y la aplicación de estrategias bioclimáticas.

Etapas: conjunto amplio de actividades que agrupan varias fases o subfases dentro de un proceso metodológico (Sampieri, et al, 2014 p. 34).

Fase: unidad principal dentro de un proceso metodológico, compuesta por actividades específicas que cumplen un objetivo dentro del proyecto.

Fase complementaria: aquella que, sin ser indispensable, aporta valor y fortalece el análisis o los resultados de la metodología.

Fase crítica: fase que resulta fundamental dentro del proceso metodológico, cuya ausencia afectaría significativamente el cumplimiento de los objetivos

Fase duplicada: fase que se repite en diferentes metodologías analizadas, indicando recurrencia e importancia en el ámbito de estudio (Sampieri, et al, 2014 p. 30).

Fase exclusiva: fase particular de una metodología, no encontrada en otras, lo que la hace única y diferenciadora.

Fase prescindible: fase que, aunque está presente en una metodología, no es esencial para el desarrollo del proyecto y puede ser omitida sin afectar los resultados principales (Sampieri, et al, 2014).

Ganancia de calor: es el aumento de energía térmica en un espacio, producido por la radiación solar directa o indirecta y por fuentes internas de calor (Gamboa, 2025).

Gestión energética: la gestión energética consiste en el uso óptimo de los recursos disponibles (ganancias térmicas, equipos de climatización, etc.) para minimizar el consumo de energía o el coste de esta (González & Fernández, 2015).

Inercia térmica: es la capacidad de un material para almacenar calor y liberarlo lentamente.

Invernadero adosado: es un espacio acristalado, unido a la vivienda, que capta calor solar y lo transfiere al interior, además de permitir el cultivo de plantas.

Índices bioclimáticos: son parámetros que permiten evaluar el confort térmico en un espacio, obtenidos a partir de datos climáticos y de la percepción de los usuarios (Givoni, 1976).

Línea base: punto de referencia inicial que permite medir, comparar y evaluar los cambios generados por la aplicación de estrategias o intervenciones (Givoni, 1976).

Masa térmica: capacidad de un material para almacenar calor y liberarlo lentamente.

Morfología edilicia: la morfología edilicia es la distribución y definición de los edificios de una ciudad, y se puede analizar a través de variables como la altura, densidad, orientación, entre otras (Givoni, 1976).

Parámetro: un parámetro es una magnitud, dato o condición que se usa para definir, medir o evaluar algo dentro de un sistema, proceso o estudio. Su significado puede variar un poco según el contexto, pero en este caso, es un dato (como el análisis de los materiales), que se usa para evaluar el estado del confort térmico en un edificio (Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 2012).

Pérdida de calor: es la transferencia de energía térmica desde el interior de una edificación hacia el exterior, ocasionada por la diferencia de temperatura y las propiedades de los materiales constructivos.

Puente térmico: es el punto o zona de la envolvente de un edificio donde se produce una transferencia de calor mayor que en las zonas adyacentes (Gamboa, 2025).

Propósito: intención o finalidad específica que guía una fase, subfase o la metodología en general.

Proyecto o proyecto arquitectónico: propuesta estructurada de diseño, planificación o intervención sobre un espacio construido, en este caso orientada a mejorar el confort térmico del Ágora El Rocío mediante estrategias bioclimáticas (Ching, 2015).

Radiación: la radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas como resultado de cambios en la configuración electrónica de los átomos y moléculas.

Sombreamiento: es el uso de elementos constructivos o vegetación para bloquear la radiación solar directa y reducir el sobrecalentamiento (Ching, 2015).

Subfase: división interna de una fase, que organiza tareas más detalladas y específicas dentro del proceso metodológico.

Temperatura radiante: es la temperatura promedio de las superficies que rodean a una persona en un espacio cerrado (Ching, 2015).

Temperatura media radiante: es la temperatura uniforme superficial de un recinto negro imaginario, en el que un ocupante intercambia la misma cantidad de calor radiante que el del espacio uniforme imaginario (Fanger, 1970).

Temperatura del aire: la temperatura del aire es la temperatura del aire que rodea al ocupante.

Técnicas bioclimáticas: son las soluciones constructivas concretas que permiten implementar las estrategias bioclimáticas (Martín, 2019).

Ventilación natural: es el movimiento de aire en el interior de una edificación, producido por el viento o por diferencias de temperatura, que renueva el aire y regula la temperatura interior (Gamboa, 2025).

Velocidad del aire: es la tasa de movimientos de aire en un punto sin importar la dirección.

Zona de confort: rango de condiciones térmicas donde una persona se siente cómoda sin sistemas activos de calefacción o refrigeración. Se logra combinando ganancia solar pasiva, aislamiento y control de ventilación (Givoni, 1976, p. 18).

1. Introducción

El presente proyecto de grado consiste en profundizar la aplicación de estrategias pasivas en edificaciones públicas del municipio de Bucaramanga. Dado que la mayoría de metodologías existentes provienen de contextos extranjeros y no siempre resultan aplicables en nuestro territorio, se llevó a cabo un análisis comparativo de ocho metodologías de proyectos arquitectónicos con enfoques con relación a la bioclimática, de los cuales se extrajeron fases, factores e indicadores relevantes que permitieran estructurar una metodología adaptada al contexto local del municipio de Bucaramanga. Este proyecto de grado responde a la necesidad de contar con herramientas diseñadas específicamente para las condiciones climáticas y urbanas de las ágoras del municipio de Bucaramanga. Para su implementación se adopta el caso de estudio del Ágora del barrio el

Rocío, ubicado en la Calle 105A No. 16-95. La elección de esta Agora resulta de la comparación de las variables bioclimáticas como: La elevación, temperatura, orientación, y adicionalmente las que han sido objeto de intervención física reciente por parte del municipio.

A partir del estudio de las diferentes metodologías, se destacan dos, entre ellas, la (Metodología de Diseño Bioclimático: El análisis climático) y el (Análisis energético de un edificio de oficinas en DesignBuilder), de ellas se identificaron elementos comunes y diferenciadores que sirven para la base de formulación de la metodología propuesta. El alcance metodológico integra datos climáticos, características del sitio y requerimientos del usuario, sustentados en un análisis climatológico en un radio aproximado de 60 metros alrededor del edificio, complementado con la evaluación de los componentes urbanos, funcionales, formales y técnicos. Adicionalmente, se incluye la selección comparativa de materiales según parámetros térmicos y constructivos.

El estudio del Ágora El Rocío consistió en la generación de planimetría y modelado tridimensional mediante Revit, a partir del cual se levantó el edificio. Posteriormente, este fue modelado en DesignBuilder para simular sus condiciones actuales de confort térmico. Con base en los resultados obtenidos, se aplicaron tanto estrategias bioclimáticas como propuestas de materiales, que fueron integradas en un nuevo modelo del edificio para volver a simularlo en el software. Este proceso de evaluación y ajuste se repitió en varios ciclos, lo que permitió identificar las deficiencias iniciales, proponer mejoras y comprobar de manera progresiva la efectividad de las estrategias en términos de desempeño térmico.

La importancia de la aplicación metodológica bioclimática en los edificios públicos radica en su capacidad para orientar decisiones técnicas y cuantificables, mediante la comparación y

simulación de estrategias pasivas que optimizan el confort térmico. En consecuencia, la metodología desarrollada no solo contribuye a mejorar las condiciones ambientales de las edificaciones existentes, sino que también ofrece una herramienta replicable para futuros proyectos públicos en Bucaramanga. Así, se promueve una arquitectura más consciente del clima, con el bienestar de sus usuarios y del entorno urbano.

2. Adaptación de estrategias bioclimáticas pasivas para la optimización del confort térmico del salón comunal Ágora del barrio el Rocío en el municipio de Bucaramanga

2.1 Planteamiento del problema

La arquitectura se presenta como un campo multidimensional que abarca una variedad de principios y objetivos que han evolucionado a lo largo del tiempo, no solo los objetivos de la arquitectura se centra en dos aspectos fundamentales como la funcionalidad y la estética sino también la salud y bienestar de los usuarios, uno de los aspectos centrales del bienestar en la arquitectura es el confort térmico, el cual se determina por la interacción de factores como la ventilación, el asoleamiento, la orientación, la calidad de los materiales y las condiciones climáticas del entorno (Olgyay, 1963).

Respecto al cual la Organización Mundial de la Salud-OMS- (2018) en su informe titulado como "El impacto del estrés térmico en la salud" ha señalado que una gestión inadecuada de este en las edificaciones puede provocar diversas afectaciones físicas, tales como enfermedades cardiovasculares ocasionadas por la exposición a temperaturas extremas y enfermedades respiratorias derivadas de ambientes fríos y húmedos. Además, condiciones térmicas inadecuadas pueden inducir problemas psicológicos; por ejemplo, altas temperaturas pueden generar estrés y ansiedad entre los ocupantes (Organización Mundial de la Salud OMS, 2018). De igual forma, la gestión inadecuada del confort térmico no solo repercute negativamente en los usuarios, sino que también conlleva importantes consecuencias ambientales. Un edificio que no implemente adecuadamente estrategias de confort térmico dependerá en gran medida de los sistemas de climatización artificial, los cuales son responsables de un elevado consumo energético, este consumo excesivo no solo contribuye a la emisión de grandes cantidades de gases de efecto invernadero, sino que también plantea desafíos económicos para los ocupantes, ya que el uso intensivo de energía se traduce en mayores costos operativos, también puede comprometer la integridad estructural y acelerar el deterioro de los materiales.

Cada material de construcción posee especificaciones técnicas que deben alinearse con las condiciones ambientales recomendadas; de lo contrario, pueden surgir graves problemas. Es por eso por lo que la elección de materiales adecuados, junto con una orientación apropiada del edificio, son determinantes para lograr un confort térmico eficiente (Szokolay, 1986). El diseño bioclimático plantea soluciones pasivas como ventilación cruzada, elementos de sombreado y materiales con propiedades térmicas específicas para cada contexto climático. Autores como Szokolay en su libro "Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design" (2004) (Szokolay, 1986) han demostrado que la correcta combinación de estos factores permite

reducir la dependencia de sistemas artificiales y optimizar el rendimiento térmico, haciendo que la materialidad sea un criterio fundamental tanto en los nuevos diseños como en las adaptaciones de las edificaciones ya existentes.

Por lo tanto, el presente trabajo se centra en la mejora del confort térmico en edificaciones existentes. Para ello, se desarrollará y aplicará una metodología diseñada a partir de la adaptación y síntesis de diversas metodologías de referencia. Este procedimiento tiene como objetivo no solo formular una propuesta específica para el edificio objeto de estudio, sino también establecer un marco metodológico replicable que pueda aplicarse a otras ágoras de la ciudad. Dicho marco permitirá diagnosticar el estado térmico actual de cada edificación y, con base en los resultados obtenidos, plantear estrategias y alternativas orientadas a optimizar su confort térmico (Givoni, 1976).

Dentro de este contexto, se identifican diversos equipamientos que podrían ser mejorados a través de la aplicación de estrategias bioclimáticas, donde se encuentran los equipamientos dotacionales como las Ágoras. Actualmente Bucaramanga cuenta con 20 salones de este tipo, los cuales desempeñan un papel vital en el desarrollo social y comunitario. Estos espacios no solo facilitan el encuentro de los ciudadanos, sino que también fomentan la participación ciudadana y permiten la realización de diversas actividades socioculturales (Alcaldía de Bucaramanga, 2019). Según los estudios previos realizados para la rehabilitación de algunos de estos espacios, se establece que deben ser capaces de albergar actividades de diversas índoles. La importancia de estos edificios radica en su flexibilidad funcional, ya que su diseño permite la adaptación a múltiples usos, lo que contribuye a procesos de desarrollo y progreso comunitario generando una mejora integral de la calidad de vida urbana. la eficiencia y el confort de estos espacios son esenciales para garantizar su utilidad plena

Las condiciones térmicas inadecuadas en edificaciones públicas generan ambientes poco agradables que limitan las actividades, reducen la permanencia de los usuarios y afectan negativamente la integración social. Un mal confort térmico no solo compromete la funcionalidad de los espacios, sino que también restringe las oportunidades de esparcimiento, encuentro y trabajo colaborativo. Por el contrario, la optimización térmica contribuye a crear entornos más agradables, seguros y funcionales, que favorecen la interacción social y el aprovechamiento pleno de los espacios comunitarios (McMichael & Schneider, 2015).

En la ciudad se identifican veinte ágoras, de las cuales se seleccionó, como objeto de estudio para la aplicación de la metodología adaptada, el Ágora del Rocío, ubicada en la Calle 105A #16-95, en el barrio de la comuna Gracia Rovira, municipio de Bucaramanga (Alcaldía de Bucaramanga, 2019).

La elección de este edificio no solo respondió a su uso e importancia social, sino también a las deficiencias detectadas en su confort térmico. Dichas deficiencias se evidencian en aspectos como la baja resistencia a la transmitancia térmica de los materiales que lo conforman, lo que provoca que las condiciones térmicas internas dependan casi por completo del clima exterior.

Además, el inmueble presenta una alta ganancia térmica debido, principalmente, a las excesivas aberturas y a las características de su cubierta. Esto ocasiona que el interior acumule calor rápidamente durante el día. Sin embargo, este mismo exceso de aberturas favorece la pérdida de calor en horas nocturnas, impidiendo que el edificio conserve temperaturas adecuadas y generando un ambiente frío o calor excesivo. En consecuencia, se produce una pérdida significativa de confort térmico, afectando el adecuado desarrollo de las actividades que allí se realizan (Amaral, et al, 2015).

3. Justificación

El confort térmico constituye un factor determinante en la calidad de los espacios habitados, pues influye directamente en la habitabilidad, la salud y el bienestar de los usuarios. Las condiciones térmicas óptimas no solo mejoran la percepción de confort, sino que favorecen la permanencia y el uso efectivo de los espacios, potenciando la productividad, la convivencia y la calidad de vida. En este sentido, tanto en el diseño de nuevas construcciones como en la rehabilitación de edificaciones existentes, la atención al confort térmico se presenta como una necesidad prioritaria.

El Ágora del Rocío fue elegido debido a su uso del suelo y a la relevancia que representa para la comunidad, su función principal es servir como salón comunal, y, de acuerdo con la normativa establecida en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), se clasifica como un espacio dotacional, es decir, un equipamiento comunitario fundamental, estratégicamente ubicado para fomentar la integración social (Alcaldía de Bucaramanga, 2014). En este sentido, funciona como un nodo de actividad barrial, ofreciendo un espacio multifuncional para el desarrollo de actividades educativas, culturales y recreativas, entre las que destacan:

- Exposiciones artísticas
- Cine foros y cineclubes.
- Presentación de música y danza.
- Talleres y capacitaciones (Alcaldía de Bucaramanga, 2014. P.86).

Otro factor crucial que se ha considerado en la selección de la edificación es la identificación de las diversas problemáticas térmicas previamente mencionadas. La presencia de estas dificultades nos permite aplicar la metodología y los objetivos establecidos, lo que a su vez facilita la implementación de soluciones específicas para mejorar el confort térmico del edificio.

Al abordar estas problemáticas, se busca demostrar que, a través de la metodología planteada, se puede lograr un cambio significativo en las condiciones térmicas internas del edificio (Elsharkawy, et al, 2018).

Si bien los proyectos arquitectónicos actuales integran criterios de confort térmico en su diseño inicial, una gran cantidad de edificaciones preexistentes presentan deficiencias en este aspecto. La intervención en edificios ya construidos, especialmente aquellos con relevancia comunitaria, ofrece la oportunidad de corregir problemáticas térmicas que afectan su funcionamiento, su uso y la satisfacción de sus usuarios. Con el trabajo planteado podemos evidenciar que este tipo de metodologías demuestran que la mejora del confort térmico no es exclusiva de las nuevas construcciones, sino que puede ser aplicada de forma efectiva en estructuras consolidadas.

La rehabilitación térmica en edificaciones existentes es técnica y económicamente viable, y puede llevarse a cabo mediante estrategias de adaptación que no requieren una transformación estructural radical. Estas intervenciones permiten mejorar las condiciones de habitabilidad, al tiempo que incrementan la eficiencia energética y reducen el impacto ambiental de la edificación. La aplicación de soluciones específicas a problemáticas detectadas optimiza el rendimiento térmico de los edificios, prolongando su vida útil y mejorando su funcionalidad (Qu, K, Chen, & Wang, 2021).

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Analizar metodologías bioclimáticas de la arquitectura latinoamericana para compararlas y formular una propuesta metodológica aplicable al contexto de las Ágoras de Bucaramanga, con el fin de plantear estrategias bioclimáticas pasivas optimizando el confort térmico del salón comunal del Ágora del barrio El Rocío en Bucaramanga.

4.1.1 Objetivos específicos

Conceptualizar y estudiar estrategias bioclimáticas pasivas, a partir de la revisión y comparación de metodologías latinoamericanas y casos de aplicación, con el fin de construir una metodología aplicable a las Ágoras en el municipio de Bucaramanga.

Analizar las características climatológicas del entorno del Ágora del barrio El Rocío en Bucaramanga, en parámetros como: Condiciones geomorfológicas, radiación solar, temperatura, etc. Con el fin de conocer los cambios más significativos del clima en el ágora del Rocío.

Modelar y simular el salón comunal Ágora en el software DesignBuilder, adicionalmente evaluar sus componentes urbanos, funcionales, formales y técnicos con el fin de diagnosticar el estado actual del edificio, como punto de comparación para la formulación de la propuesta.

Proponer estrategias bioclimáticas pasivas aplicables al salón comunal 'Ágora' del barrio el Rocío, junto con una intervención acorde al contexto socioeconómico y cultural de las ágoras de Bucaramanga, en términos de confort térmico y materialidad, con el fin de hacer una propuesta integral.

Evaluar y sintetizar las diferentes alternativas de intervención, a partir de los resultados obtenidos en las simulaciones reflejando cuantitativamente la mejora o no de la aplicación de

estrategias bioclimáticas y físicas, con el fin de evidenciar los cambios de cada una de las alternativas.

5. Marco referencial

5.1 Marco teórico

El presente marco teórico–referencial integra de manera unificada los fundamentos conceptuales, técnicos y metodológicos que sustentan el desarrollo de esta investigación. A partir de la revisión y análisis de ocho metodologías y documentos relacionados con el diseño orienta la propuesta metodológica formulada para la adaptación de estrategias bioclimáticas pasivas en el salón comunal Ágora del barrio El Rocío en Bucaramanga (Fuentes, 2002).

Este apartado presenta, para cada referencia estudiada, un resumen de su contenido, el análisis teórico de sus aportes, la transcripción de la metodología propuesta por los autores, su respectiva conclusión o propósito, así como los programas utilizados en su desarrollo. El análisis comparativo de estos insumos constituye el sustento principal para la metodología propuesta en este trabajo.

5.1.2 Metodología de Diseño Bioclimático

5.1.3 El análisis climático

Es una propuesta de una metodología de diseño bioclimático, en donde retoma las metodologías clásicas y elementos desarrollados por el autor. Esta metodología es diseñada para aquellos que se interesen en el diseño bioclimático, pero que no posean conocimientos profundos sobre el tema; pues el tema de la bioclimática es demasiado extenso, pero esta metodología se

enfoca en el análisis climatológico, en donde busca la forma de facilitar el trabajo del diseñador y un aporte, pues con su ayuda, es una metodología que se puede utilizar para cualquier parte del mundo, pues se utiliza en base en las características, necesidades y recursos locales (Fuentes, 2002).

Los objetivos de esta metodología son, definir una metodología de diseño bioclimático en lo general, definir las herramientas de análisis climatológico y aquellas para la determinación de las estrategias básicas de diseño, además de elaborar un documento de apoyo a la docencia que pueda ser utilizado como guía metodológica por alumnos tanto de nivel licenciatura como de posgrado (Fuentes, 2002).

5.1.4 Análisis Teórico

El documento plantea la necesidad de integrar la arquitectura bioclimática en los procesos de diseño arquitectónico como una respuesta directa a las condiciones climáticas locales y a la creciente demanda de eficiencia energética y sostenibilidad. La propuesta metodológica que presenta parte de un diagnóstico climático detallado y lo traduce en estrategias aplicables al diseño. Esto justifica la creación de nuestra propia metodología porque (Nguyen & Reiter, 2015):
Ofrece un ejemplo real de cómo estructurar un proceso de análisis climático y convertirlo en decisiones de diseño.

- Integra variables ambientales, constructivas y de confort térmico que son esenciales en el enfoque bioclimático.
- Demuestra que la metodología no es un formato rígido, sino que puede adaptarse a contextos, tipologías de edificios y necesidades específicas del proyecto.

- Sirve como referencia para establecer fases claras en tu metodología, desde la recopilación de datos climáticos hasta la evaluación del confort (p. 7).

5.1.4 Metodología

En este trabajo se presentan las más importantes metodologías de diseño, particularmente las referidas al diseño bioclimático, las cuáles han sido propuestas por varios autores, especialistas en el tema, a través de la historia.

Así mismo se propone una Metodología de Diseño Bioclimático, que si bien retoma los elementos importantes de las metodologías clásicas, aporta elementos particulares desarrollados por el autor. El objetivo es ofrecer una metodología clara y accesible para todos aquellos interesados en el proceso de diseño bioclimático (Sampieri, Fernández, & Baptista, 2014).

- *Fase 1: análisis del sitio, del entorno y del clima*

Recopilación de datos climáticos históricos: temperatura, humedad relativa, radiación solar, dirección y velocidad de viento.

- Elaboración de diagramas solares y rosas de viento.
- Determinación de los períodos de confort y desconfort.
- Identificación de los factores climáticos dominantes.

5.1.5 El medio natural: el sitio y Climatología

5.1.6 El medio artificial: Antecedentes arquitectónicos, Infraestructura y equipamiento en estudio de tecnología local y apropiada

- *Fase 2: Análisis del usuario y confort*
 - Bienestar y confort
 - Confort higro-térmico
 - Confort lumínico
 - Confort acústico
 - Confort olfativo
 - Bienestar electromagnético
 - Confort psicológico

Necesidades y requerimientos

- *Fase 3: Interpretación bioclimática:* uso de cartas bioclimáticas y métodos gráficos para determinar las estrategias pasivas aplicables. relación de los datos climáticos con necesidades de confort humano.
- *Fase 4: Definición de estrategias de diseño de climatización:* calentamiento o enfriamiento, Humidificación o deshumidificación, Inercia o masividad y ventilación.
- *Fase 4: de iluminación:* natural y artificial
- *Fase 4: de acústica:* acústica y control de ruidos
- *Fase 4: de control de contaminantes:* Del aire, del suelo, del agua y Electromagnética.

- *Fase 5: Definición de conceptos de diseño bioclimático:* sistemas pasivos de acondicionamiento bioclimático, climatización natural, iluminación natural, sistemas pasivo-acústicos y control de ruidos
- *Fase 4. sistemas activos e híbridos:* climatización artificial, iluminación artificial, sistemas activos de acústica (electroacústica), generación y control de la energía (uso eficiente de electricidad, gas, combustibles líquidos, leña, etc.), manejo y control del agua (captación pluvial, reutilización, calentamiento, purificación, etc.), manejo de desechos líquidos y sólidos
- *Fase 6: Integración arquitectónica y anteproyecto:* incorporación de las estrategias seleccionadas en el diseño volumétrico y espacial, determinación de dimensiones, ubicación y proporciones de elementos constructivos, diseño de la envolvente térmica del edificio y desarrollo del anteproyecto arquitectónico.
- *Fase 7: Evaluación del diseño:* simulación del comportamiento térmico de la edificación con software especializado, comparación entre el diseño con estrategias aplicadas y un diseño convencional y ajuste del diseño en base a los resultados de la simulación.
- ***Evaluación integral***
 - Arquitectónica
 - De confort
 - Energética
 - Ambiental
 - Normativa
 - Económica

5.1.7 Conclusión / Propósito de la metodología

esta metodología constituye una herramienta estructurada que traduce el análisis climático en decisiones arquitectónicas concretas, garantizando que el diseño responda a las condiciones ambientales específicas del lugar. Su aplicación asegura que el confort térmico se logre con el menor consumo energético posible, aprovechando los recursos naturales disponibles. Para tu investigación, esta propuesta metodológica es relevante porque ofrece un ejemplo claro de cómo organizar las fases de trabajo —desde la recolección de datos hasta la evaluación del diseño— de forma lógica y reproducible. Además, al integrar criterios de interpretación bioclimática y herramientas de simulación, sienta una base sólida para que puedas crear tu propia metodología adaptada al contexto de tu proyecto, manteniendo la coherencia entre teoría, análisis y aplicación práctica en el campo de la arquitectura bioclimática (Sampieri, et al, 2014).

5.1.8 Programas: no especifica ningún programa, sin embargo, si habla de una evaluación energética con alguna tecnología (o software).

5.2 Estrategias pasivas para el confort térmico en ciudades amazónicas: El caso de Tena Frente al mar.

- *Bitácora Urbano Territorial:* este documento nos habla de una problemática que tienen la mayoría de urbanización amazónicas, ya que no aprovechan los recursos naturales que los rodean, los cuales pueden ser favorables para el confort térmico, y terminan creando islas de calor urbanas, también vemos la importancia de la planificación urbana sostenible en su entorno, pues el objetivo de este estudio es maximizar la relación entre el confort térmico y la ocupación del espacio público mediante la aplicación de estrategias que mejoren la interacción de los usuarios con su entorno. Para evaluar la eficacia de las estrategias se

realiza una simulación climática en dos escenarios, uno refleja la situación actual y otro que proyecta futuras modificaciones. Las estrategias que se incorporan en este estudio incorporan elementos naturales sin coste (Santos & Oliveira, 2020).

- *Análisis teórico:* este documento plantea la importancia de adaptar el diseño arquitectónico a las condiciones climáticas locales para optimizar el confort de los usuarios y reducir el consumo energético. Su contenido refuerza el valor de la arquitectura bioclimática como un proceso basado en la observación y medición de variables climáticas, que luego se traducen en estrategias pasivas y activas dentro del diseño (Givoni, 1976).

Además, destaca que la metodología debe ser flexible y adaptable a cada contexto, lo que coincide con tu objetivo de crear una metodología propia. El documento también subraya el papel de la simulación y la evaluación de resultados como parte integral del proceso, asegurando que las soluciones adoptadas sean eficientes y comprobadas.

5.3 Metodología:

5.3.1 Fase 1: Lugar del estudio

- Se evalúan las condiciones climáticas actuales de la zona (La ciudad de Tena – clima cálido y húmedo)
- Archivos PDF con datos históricos y actuales.

5.3.2 Fase 2: Escenarios de simulación climática (Rhino – Grasshopper3D)

Esta simulación está dividida por dos fases, en la primera fase se evalúan las condiciones climáticas actuales de la zona, mientras que en la segunda se proyectan escenarios futuros teniendo en cuenta posibles desarrollos urbanos, incluida la reutilización o renovación de espacios vacíos y

edificios existentes. El modelo tridimensional de la región estudiada es el primer paso del enfoque metodológico (Emmanuel, 2005).

- Al modelo se le incorporan los datos sacados del estudio del lugar
- Investigación y validación basada en datos sacados para construir estrategias bioclimáticas pasivas.
- Grasshopper3D: Se puede investigar en tiempo real como interactúan los datos del entorno y la generación del diseño.
- Ladybug Tools: Complementos de simulación paramétrica gratuitos y de código abierto.
- Escenario #1: Análisis climático actual del lugar (Los resultados permiten establecer directrices sobre altura de los edificios, orientación y vistas, alineando estos elementos con los criterios de confort urbano)
- Escenario #2: Visión de densificación y revitalización para la zona estudiada (los datos obtenidos de la simulación se analizan en función de los tres parámetros climáticos siguientes.

5.3.3 Fase 3: datos climáticos

- Se considera tres parámetros principales que se analizan en cada escenario.
- Proyección de sombras: Este análisis establece las zonas de confort generadas por las sombras de los edificios y las superficies circundantes.
- Radiación solar: Este parámetro determina la disponibilidad de luz solar tanto en los edificios como a pie de calle.
- Ventilación: Este indicador determina el flujo y la velocidad del viento.

5.3.4 Fase 4: Análisis

Análisis de los datos climáticos para incluir las estrategias bioclimáticas pasivas

5.3.5 Fase 5: Resultados

- Resultados de las estrategias bioclimáticas pasivas utilizadas
- Conclusión / Propósito de la metodología

La metodología integra análisis climático actual y futuro con simulación paramétrica para fundamentar decisiones de diseño bioclimático. El uso de herramientas como Grasshopper3D y Ladybug Tools permite evaluar en tiempo real sombra, radiación solar y ventilación, optimizando el confort urbano. Su enfoque prospectivo, que contempla escenarios de densificación y renovación, la convierte en una base sólida para desarrollar propuestas sostenibles y adaptadas al contexto local (Calabrese, 2015).

- *Programas:* Ladybug, Grasshopper.

5.4 Simulando Estrategias Bioclimáticas Específicas Para Recuperar Diseños Valiosos En La Arquitectura Vernácula.

- *Estudio de caso: Inercia térmica en El Valle:* en este artículo se aporta una metodología para evaluar la eficiencia energética que aportan las estrategias bioclimáticas en las viviendas vernáculas. El caso de estudio ha sido el Valle de Jerte (Cáceres) con unas tres mil viviendas tradicionales. En primer lugar, se han definido tres tipologías constructivas, y posteriormente se ha simulado específicamente el comportamiento energético de la estrategia de la inercia térmica, proporcionado por los muros de piedra envolvente de los edificios, y por la tierra en contacto con la planta baja (Álvarez & Martín, 2017).

En las simulaciones fueron eliminados los elementos masivos para analizar las diferencias en las condiciones higrotérmicas y los intercambios energéticos, tanto de calentamiento como de enfriamiento. Los resultados indican que esta estrategia es beneficiosa, ya que estabiliza las temperaturas interiores respecto a las oscilaciones exteriores, acercándoselas a las medias diurnas, más agradables. (Identificar las estrategias bioclimáticas permite proponer la valorización de elementos vernáculos.

- **Análisis teórico:** el documento realiza un estudio de simulación sobre estrategias bioclimáticas relacionadas con la inercia térmica en la arquitectura vernácula del Valle (Sistema Central, España). El principal aporte es demostrar cuantitativamente que la masa térmica de los muros de piedra y el contacto con el terreno estabilizan eficazmente las condiciones higrotérmicas interiores a lo largo del año, mejorando el confort sin necesidad de sistemas activos. Se evidencia que las construcciones tradicionales, que aprovechan esta inercia térmica, son significativamente más eficaces frente a las estructuras ligeras modernas en entornos con grandes oscilaciones térmicas diarias o estacionales. La simulación aborda el comportamiento tanto térmico como de humedad, subrayando la relevancia de recuperar o conservar estas estrategias en proyectos de rehabilitación sostenible y eficiencia energética (Álvarez & Martín, 2017).

5.4.1 Metodología

La metodología consiste en un proceso de simulación energética y higrotérmica detallada de modelos arquitectónicos representativos de viviendas vernáculas, en la cual se modifican variables clave como el tipo de muro (piedra vs. entramado de madera) y el contacto con el terreno

(planta baja en contacto directo o elevada sobre vigas), bajo condiciones climáticas extremas de invierno y verano para evaluar su impacto específico en el confort interior (Álvarez & Martín, 2017). Se realizan simulaciones comparativas:

- *Simulación n° 1*: compara el comportamiento térmico e higrotérmico de muros de piedra y de entramado de madera en planta alta.
- *Simulación n° 2*: sustituye muros de piedra por muros de entramado de madera en planta baja para valorar el efecto de la inercia del muro.
- *Simulación n° 3*: combina la Simulación n° 2 con elevar la planta baja sobre vigas de madera para estudiar además la inercia térmica del terreno.

5.4.2 Fase 1: Datos del modelo arquitectónico: A partir de un estudio morfológico y constructivo de unas tres mil viviendas vernáculas presentes de los once municipios de El valle, se definieron modelos arquitectónicos para realizar simulaciones que representan los principales tipos edificatorios.

- *Modelo 1*: Casa con entramado de madera, dos plantas, una fachada y tamaño medio.
- *Modelo 2*: Casa con entramado de madera, dos plantas, una fachada y tamaño pequeño.
- *Modelo 3*: Casa de mampostería, dos plantas, una fachada y tamaño pequeño.

5.1.4 Fase 2: Datos climáticos: Investigación de los datos climatológicos para utilizar en el modelo arquitectónico, el clima de esta zona se clasifica como “Csa” según la clasificación de KöppenGeiger, es decir, un clima, Templado, seco y veranos calurosos (Peel & Finlayson, 2007).

5.4.5 *Fase 3: Análisis de materiales de construcción:* valores aportados de las propiedades térmicas de los materiales y elementos constructivos son teóricos para esta zona.

5.4.6 *Fase 4: Modelo computacional:* modelo computacional definido teniendo en cuenta la actividad metabólica y la ocupación de la vivienda histórica, así como variables significativas como, los animales alojados en el establo de la planta baja, el fuego de la leña que ardía en la cocina y los productos de la cosecha (cereales, paja, castañas, etc.) Que se extendían para secarse en invierno sobre la estructura del piso del ático (Álvarez & Martín, 2017).

- Actividad metabólica y ocupación
- Datos de puertas y ventanas bajas
- Opciones del modelo
- Otros detalles relevantes

5.4.7 *Fase 5: Resultados:* Una vez realizada la simulación energética, se ha realizado un análisis de la estrategia de inercia térmica de los muros exteriores y el suelo (como elementos de la envolvente del edificio) en términos de refrigeración en verano y calefacción en invierno.

- Comportamiento inercial de los muros del piso superior
- Comportamiento inercial de los muros de planta baja y del terreno

5.4.8 *Fase 6: Conclusiones:* las simulaciones energéticas realizadas en viviendas vernáculas de El Valle arrojan algunos resultados interesantes que permiten distinguir entre dos periodos típicos. Se ha considerado un rango de confort higrotérmico, para el cual el PPD (Porcentaje Previsto de Insatisfechos) se encuentra por debajo del 10%, entre 20°C y 24°C en

invierno, y entre 23°C y 26°C en verano; y respecto a la humedad relativa, se ha considerado un rango de valores óptimos entre 25% y 60% en ambas estaciones (Álvarez & Martín, 2017).

- **Conclusión / Propósito de la metodología:** La metodología empleada es una herramienta precisa y clara para descomponer y medir el papel específico que juega cada estrategia constructiva bioclimática — masa térmica de muros y suelo — en la mejora del confort higrotérmico interior, bajo condiciones extremas climáticas. Esto permite fundamentar decisiones en proyectos de conservación, rehabilitación o diseño sostenible, especialmente en contextos vernáculos o patrimoniales con climas similares al estudiado. La capacidad de adaptar el modelo a diferentes configuraciones y validar con parámetros de confort conocidos hace que esta metodología sea un recurso muy valioso para investigaciones centradas en eficiencia energética y arquitectura sostenible tradicional.
- *Programas:* Design Builder de EnergyPlus.

5.4.9 Análisis Energético De Un Edificio De Oficinas En Design Builder.

- Análisis Energético De Un Edificio De Oficinas: el presente trabajo fin de máster consiste en el estudio del comportamiento energético de un edificio de oficinas con muro cortina en Madrid y la elaboración y estudio de varias propuestas con vistas a mejorar la eficiencia energética del edificio (Romero, 2018).

En primer lugar, se modela el edificio en Design Builder, definiendo espacios, envolvente, actividad, ocupación, condiciones de confort, sistemas, etc. De este modelo se obtienen demanda

y consumo energéticos, dimensionado de las instalaciones de climatización y análisis de confort de los usuarios del edificio.

A partir de estos datos se proponen cuatro acciones de mejora, cada una centrada en un aspecto distinto: sustitución de equipos de climatización, sustitución de vidrios del muro cortina, instalación de paneles solares fotovoltaicos y aplicación de medidas de sobriedad energética.

Cada una de estas actuaciones se incluye en un modelo independiente del edificio en Design Builder. Se simula cada caso y se comparan los resultados obtenidos entre sí y con los resultados del edificio existente (Romero, 2018).

Finalmente, se estima el coste y ahorro de cada actuación y se calculan varios indicadores para comparar la rentabilidad de las medidas.

5.4.10 Análisis teórico: el documento presenta un estudio de simulación energética de un edificio de oficinas con muro cortina típico situado en Madrid, empleando el software Design Builder para analizar su comportamiento térmico y consumo energético. El objetivo principal es evaluar varias propuestas de mejora para optimizar la eficiencia energética del edificio, incluyendo la sustitución de equipos de climatización, la mejora del vidrio del muro cortina, la instalación de paneles solares fotovoltaicos y la aplicación de medidas de sobriedad energética (Romero, 2018).

El trabajo aporta evidencia sobre la importancia de abordar la eficiencia energética en edificios terciarios, dado que el consumo asociado a equipos y alumbrado representa una proporción significativa del total, limitando el impacto directo de mejoras en la envolvente o en los sistemas de climatización. Se destaca que medidas de bajo coste como la instalación de paneles fotovoltaicos para autoconsumo y las medidas de regulación de temperaturas (sobriedad

energética) pueden generar ahorros energéticos y económicos relevantes, aunque con un compromiso en el confort térmico en el caso de la sobriedad (Romero, 2018).

Este estudio es relevante para investigaciones en eficiencia energética, rehabilitación y gestión energética en edificios de oficinas modernos, mostrando cómo combinar simulaciones con análisis económico para identificar intervenciones rentables y sostenibles.

5.4.11 Metodología: La metodología seguida consta de:

- Definición clara de objetivos y alcance.
- Recopilación de datos detallados del edificio objeto de estudio (situado en Madrid), incluyendo planos, características constructivas y de instalaciones.
- Modelado tridimensional del edificio con Design Builder, definiendo envolvente, sistemas HVAC, condiciones de ocupación, usos, horarios, y parámetros de confort conforme a normativa.
- Simulaciones energéticas y térmicas divididas en diseño de calefacción, refrigeración y simulación anual, utilizando datos climáticos horarios reales.
- Evaluación del confort térmico mediante el modelo de Fanger.
- Propuesta y modelado de cuatro actuaciones de mejora energética: sustitución de equipos de climatización por otros más eficientes, sustitución del vidrio del muro cortina por otro con mejores valores térmicos, instalación de paneles solares fotovoltaicos para autoconsumo, y aplicación de medidas de sobriedad energética (limitación de temperaturas de calefacción y refrigeración, eliminación de ACS).
- Simulación independiente de cada actuación para comparar su impacto en demanda, consumo y confort.

- Análisis económico detallado de las actuaciones incluyendo inversión inicial, ahorro anual estimado, tiempo de retorno, valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y coste de energía ahorrada (CEAH).
- Propuesta de trabajos futuros para optimización adicional sobre bases de los resultados obtenidos (Romero, 2018).

5.4.12 Fase 1: Definición del objetivo: se plantean los objetivos del trabajo, concretando lo que queda dentro del alcance de este y los límites de este.

5.4.13 Fase 2: Recopilar información del edificio: se obtienen los datos de una certificación energética existente: planos, características de envolvente y huecos, instalaciones de climatización y agua caliente sanitaria, uso de los espacios, horarios, etc.

5.4.14 Fase 3: Modelado del edificio: en Design Builder se construye un modelo tridimensional y se define las características conforme a la información recopilada. Se ejecutan simulaciones del comportamiento energético del edificio, su demanda y consumo energéticos y el confort de los usuarios. Se identifican oportunidades de mejora.

5.4.15 Fase 4: Definición de actuaciones de mejora: en base a los resultados obtenidos de la simulación, se establecen varias acciones posibles con vistas a mejorar la eficiencia energética del edificio.

5.4.16 Fase 5: Simulación: de cada una de las actuaciones y se realizan sendas simulaciones. Se compara el impacto de cada una en demanda, consumo y confort térmico.

5.4.17 Fase 6: Análisis económico: se realiza una estimación de costes de cada actuación y del ahorro económico que supondría. Con ello se calculan varios indicadores para determinar la viabilidad económica de las propuestas.

5.4.18 *Conclusión / Propósito de la metodología:* la metodología basada en modelación avanzada con Design Builder y análisis económico permite descomponer y cuantificar el impacto de diferentes estrategias de mejora energética en edificios de oficinas con muro cortina, integrando aspectos técnicos y económicos fundamentales para la toma de decisiones. Su capacidad para simular comportamientos térmicos detallados y evaluar confort permite anticipar efectos en usuarios, mientras que el análisis económico aporta criterios claros para valorar la viabilidad y rentabilidad de las intervenciones (Romero, 2018).

Esta metodología es una herramienta valiosa para investigaciones y proyectos aplicados de eficiencia energética, rehabilitación sostenible y gestión energética en edificios terciarios modernos. Se adapta para comparar múltiples escenarios y sirve de base para diseñar estrategias equilibradas entre ahorro, confort y coste, especialmente en contextos climáticos y reglamentarios similares al de Madrid.

- **Programas:** design Builder.

5.5 Análisis del confort térmico en Escuela Modelo de la Sierra Peruana y evaluación de mejoramiento térmico mediante el uso de principios bioclimáticos

5.5.1 *Análisis Del Confort Térmico En Escuela Modelo De La Sierra Peruana:* Se tiene como objetivos principales la evaluación del confort térmico de una escuela tipo Sierra ubicada en el departamento de Cusco; asimismo, sobre la escuela base, se proporcionan mejoras bajo

lineamientos bioclimáticos a fin de predecir un ambiente térmico más confortable. Finalmente, se busca desarrollar modelos térmicamente eficientes y sostenibles que prescindan de sistemas complejos de calefacción para atender las necesidades de confort en los estudiantes (Ccama & Quispe, 2022).

5.5.2 Análisis teórico: el documento analiza el confort térmico en una escuela tipo Sierra ubicada en Cusco, Perú, evaluando el desempeño térmico de la edificación existente y proponiendo un diseño bioclimático basado en principios pasivos propios de la arquitectura vernácula y estrategias bioclimáticas adaptadas al clima mesoandino. Se emplea la simulación energética con el software "Design Builder" para cuantificar las condiciones térmicas internas de las aulas y analizar el impacto de mejoras constructivas y de diseño (Chumbiray, 2021).

El aporte central del estudio es evidenciar cómo las estrategias bioclimáticas, incluyendo una adecuada orientación, selección de materiales (adobe, madera, piedra), aumento de la masa térmica, aislamiento y hermeticidad, permiten mejorar significativamente el confort térmico en ambientes educativos rurales, reduciendo la necesidad de sistemas activos de calefacción, y favoreciendo la salud, productividad y bienestar de los estudiantes.

Además, el estudio pone en contexto la problemática actual de la masificación constructiva en Perú, la pérdida de técnicas tradicionales, y la importancia de revalorizar la arquitectura vernácula para un desarrollo sostenible que atienda las necesidades socioculturales y climáticas del país, especialmente en zonas altoandinas con climas extremos y limitados recursos.

El análisis presenta una sólida revisión bibliográfica sobre modelos racionales y adaptativos de confort térmico (PMV, PPD, ISO 7730, ASHRAE 55), la normativa nacional aplicable (EM.110), y el marco conceptual del diseño bioclimático mediante diagramas psicrométricos

(Olgyay, Givoni, Szokolay). Esto fundamenta teóricamente la propuesta y validación del modelo bioclimático para el caso de estudio (Chumbiray, 2021).

- **Estrategias:** a continuación, se detallan las estrategias que aplican a emplazamientos cuyas características climáticas corresponden a las 14 zonas delimitadas en la figura 2.4, estas estrategias deben ser vistas como sugerencias dado que cada emplazamiento consta de singularidades (Manzano, et al, 2015).

a) Zona Confort de y zona de confort permisibles La zona de confort etiquetada como la zona 1 es estadísticamente una zona en el que el 70% de la población de siente confortable. Representa el área en el que el cuerpo humano con ropa ligera y poca actividad no necesita de ningún gasto energético para permanecer confortable. El rango de temperatura es desde 21 a 26 oC y la humedad relativa varía de 20% y 70%, esta zona no requiere se estrategias. La zona de confort permisible es una zona aceptada por el 80% de la población, la temperatura y la humedad resultan aceptables en base al sexo, metabolismo interno, talla y actividades adaptativas. El rango 21 de temperatura es desde 20 a 27 oC y la humedad relativa varía de 20% y 80%, esta zona no requiere se estrategias (Manzano, et al, 2015).

b) Ganancias de calor internas Esta zona está comprendida por temperaturas externas entre 13.5oC a 20 oC. Las ganancias de calor interna se dan por medio de los usuarios que ocupan el mismo espacio, iluminación artificial, algún tipo de máquina que genera calor y cualquier proceso que pueda generar calor. Las ganancias de calor se dan por los diferenciales de temperatura y son descritos como cargas sensibles. A mayor ganancia de calor interna que varíe la temperatura, más la moverán hacia la zona de confort.

c) **Calentamiento solar pasivo** Para moverse hacia la zona de confort es necesario desarrollar una estrategia de absorción que permita las ganancias energéticas en el espacio. Se tiene como intención el incrementar la temperatura de 7 oC a más de 13.5 oC. Para lograrlo, el objetivo fundamental es que el diseño del edificio favorezca la acumulación de radiación solar y que distribuya esta energía en otras dependencias o que regrese al edificio conforme pasa el tiempo. La distribución de energía puede ser directa por radiación o convección e indirecta a través del aire que circula en el espacio. Se cuenta con diversas soluciones dado que el que la energía puede ser capturada por cualquier parte de la envolvente del edificio incluyendo el piso, muros, techo o aberturas especiales (Szokolay, 1986).

d) **Calentamiento solar activo** El objetivo es similar al del calentamiento pasivo, sin embargo, en el caso del solar activo un fluido es calentado y luego este calienta el interior de la casa. Ocasionalmente, se requiere de un consumo mínimo de energía para distribuir el calor a lo largo de la edificación. Las medidas pasivas en este caso no llegan al confort deseado, pero reducen el consumo energético dado que las condiciones exteriores corresponden a temperaturas en el rango de 1 oC a 7 oC.

e) **Humidificación** Falta de humedad conlleva a enfermedades respiratorias además de otro tipo de enfermedades como la dermatitis. El objetivo de esta estrategia es el conseguir el confort por medio del incremento en la humedad relativa. Esto se alcanza al incorporar aire que ha pasado por una superficie de agua. El aire puede ser movido por diferencias en las presiones o por equipos mecánicos. Es común el utilizar extractores eólicos, incorporar vegetación o fuentes para alcanzar a conseguirlo (Olgay, 1963).

f) Calentamiento convencional Para climas de frío extremo, temperaturas exteriores de -5 oC a 1 oC , cuando los diseños pasivos resultan insuficientes para llegar a la zona de confort, es necesaria la utilización de equipo que consume energía eléctrica por medio de combustibles fósiles para incrementar la temperatura hasta un 20 oC ; en invierno, esta temperatura supone un nivel de confort interno adecuado (Givoni, 1976).

g) Protección solar Esta área corresponde a valores de temperatura exterior mayores a los 20 oC . Se busca evitar las ganancias de calor y evitar los incrementos de temperatura para permanecer en la zona de confort. Se busca proteger a la edificación por medio de árboles o por elementos arquitectónicos como las pérgolas con vegetación.

h) Enfriamiento con masa térmica Esta zona está delimitada por temperaturas de 20 oC a 35 oC y una línea que se extiende desde la intersección de 24 oC y $80\text{-}50\%$ de humedad relativa hasta la intersección de 35 oC y 30% de humedad relativa. Esta estrategia compromete a la masa térmica de la envolvente del edificio que recibe el calor y lo transmite por irradiación al interior de la edificación con una diferencia de fases que permite alcanzar uniformidad de clima durante el día y disipar el calor mediante la noche (Szokolay, 1986).

i) Enfriamiento por evaporación Esa zona está delimitada por temperaturas de 20 oC y 40.5 oC y una línea que se extiende desde la intersección de 25.5 oC y 75% de humedad relativa a la intersección de 38.5 oC y 20% de humedad relativa hasta una intersección de 40.5 oC y 10% de humedad relativa. Esta estrategia es recomendada en climas secos y áridos. Aspira alcanzar el confort al reducir la temperatura por medio de evaporación mientras que aumenta la humedad relativa. Se alcanza al incorporar vegetación al exterior, patios complementados por la presencia de agua y vegetación, rocío con agua en superficies de paredes y techos (Givoni, 1976).

j) Enfriamiento con masa térmica y ventilación nocturna Esta zona está delimitada por temperaturas entre 20 oC y 44 oC y un punto que pasa desde una intersección a 44 oC y 5% humedad relativa a través de otra intersección a 31.5 oC y 32% humedad relativa hasta una intersección final a 24 oC y 80% humedad relativa. El diseño de la envolvente debería contar con materiales que absorban y retengan el calor durante el día y lo liberen en la noche. Usualmente estos materiales tienen un desfase de 12 horas en lo que respecta a absorción y liberación (Givoni, 1976).

k) Ventilación natural y mecánica Esta zona está delimitada por temperaturas exteriores entre 20oC y 31.5oC, humedades relativas entre 95% a 20%C y una línea que se extiende entre la intersección de 31.5oC y 50% de humedad relativa hasta la intersección de 26.5 oC y 95 % de humedad relativa. Se utilizan principios de ventilación cruzada del norte a sur entre las fachadas o dirección de vientos dominantes y se complementan con sistemas mecánicos. En esta estrategia se obtienen mejores niveles de confort térmico mientras el ambiente interior se limpia en simultáneo.

l) Aire acondicionado Se alcanza el confort al instalar sistemas de aire acondicionado para reducir la temperatura y la humedad relativa. Se recomienda no utilizarlo en exceso y apagarse luego de haber alcanzado la temperatura de confort. Buenas prácticas de ahorro energético implican el uso de un termostato que indique cuando se ha alcanzado la temperatura de confort y así apagar el equipo oportunamente. La última zona está delimitada por temperaturas mayores a 25oC y humedades relativas por encima del 80%. Corresponde a un sistema integrado de aire acondicionado y sus recomendaciones. Dado que no se utilizará estos sistemas, no se ahondará en sus objetivos o recomendaciones (Szokolay, 1986).

- **Metodología:** la investigación sigue un procedimiento sistemático basado en modelación y simulación térmica a través de "Design Builder" con complemento "Energy Plus", adaptado a la realidad climática y constructiva de Cusco (Department of Energy, 2022).

5.5.3 *Fase 1: Propuesta metodológica:* en primer lugar, se realizará la recolección de datos. En segundo lugar, se elegirá el escenario climático. En tercer lugar, se definirá la arquitectura básica de las escuelas. En cuarto lugar, se simulará la temperatura interior y se analizará el confort interno.

5.5.4 *Fase 2: Estudio de caso:* se delimita y caracteriza geográfica y climáticamente la ciudad de Cuzco.

5.5.5 *Fase 3: Simulación térmica:* en este capítulo se describe el flujo de trabajo realizado en el software tomando como referencia la arquitectura descrita en el capítulo anterior. También, se menciona los datos ingresados al "Design Builder", variables involucradas y datos asumidos.

5.5.6 *Fase 4: Resultados y su discusión:* los resultados obtenidos por medio del "Design Builder" se presentan detalladamente en el "Apéndice C". A continuación, se discuten los resultados para el caso práctico y el caso bioclimático. En principio, se analizan de forma individual para analizar tendencias térmicas a nivel horizontal y vertical. Posteriormente, se comparan ambos casos para señalar las principales diferencias en los resultados obtenidos (Department of Energy, 2022).

5.5.7 Fase 5: *Análisis del confort interno*: se delimita

5.7.8 Fase 6: *Conclusiones*: de la evaluación realizada al caso práctico, se concluye que los ocupantes de los ambientes de clase analizados experimentan un discomfort en las horas de clase durante los meses de invierno. Por consiguiente, se sabe que la temperatura para la mayoría de los salones se encuentra bajo el límite inferior permitido y conlleva a sensación de frío en los usuarios. Asimismo, es importante recalcar que el permanecer fuera del rango de confort conlleva a una baja en la productividad, desconcentración, dolor de cabeza y ausentismo. Esto implica, a nivel pedagógico, que el rendimiento de los estudiantes se vea afectado a causa de la calidad de ambiente que frecuentan diariamente (Wargocki & Wyon, 2013).

5.7.8 *Conclusión breve / propósito*: La metodología de simulación térmica y análisis de confort aplicada permite evaluar con precisión cómo modifican las condiciones interiores las distintas soluciones constructivas y estrategias bioclimáticas en un contexto mesoandino altoandino. Facilita aislar el efecto de variables como orientación, materiales y hermeticidad propia de la arquitectura vernácula versus la escuela existente sin considerarlas.

Esta herramienta es útil para diseñadores e investigadores interesados en optimizar edificaciones educativas rurales frente a condiciones climáticas severas, promoviendo el uso de recursos locales y estrategias pasivas para garantizar ambientes saludables sin depender de sistemas activos costosos y poco sostenibles.

Por su versatilidad, la metodología también se puede replicar o adaptar para otras ubicaciones climáticas con características similares o en estudios comparativos entre escenarios constructivos tradicionales y contemporáneos. Además, permite integrar criterios normativos nacionales e internacionales, ofreciendo una base sólida para la toma de decisiones técnicas en

rehabilitación, diseño sostenible y políticas públicas educativas relacionadas con infraestructura (Chumbiray, 2021)

- **Programas:** design Builder

5.8 Análisis del confort humano (Confort térmico, lumínico y acústico) en viviendas de interés social.

5.8.1 Caso de estudio: Virgen de Guadalupe, Picoazá: el presente análisis de caso tiene como objetivo analizar el nivel de confort humano dentro del conjunto habitacional: Virgen de Guadalupe de Picoazá, de la ciudad de Portoviejo, identificando el grado de confort térmico, acústico y lumínico. Se presentaron diversas técnicas de investigación y recolección de datos, con el fin de detectar potencialidades y debilidades de las viviendas de interés social otorgadas por MIDUVI e implantadas dentro del área de estudio. Se utilizaron programas de simulación, fichas de observación y encuestas, con la finalidad de comparar los resultados, permitiendo establecer el estado actual del nivel de confort humano, al que se encuentran sometidos los habitantes. Para realizar de manera correcta el análisis de caso se examinaron varias viviendas tomando como base la orientación de estas, y en las cuales se analizaron los aspectos constructivos, formales y el criterio personal de sus habitantes, para así poder desarrollar propuestas que funcionarán como guía para futuros diseños de conjuntos habitacionales elaborados por el MIDUVI. Como consecuencia a esto se obtuvieron los resultados esperados para la comprobación del problema y pautas para realizar una propuesta de lineamientos para el diseño de las viviendas (Delgado, Palma, & Suárez, 2022).

5.8.2 Análisis teórico: el documento aborda el estudio integral del confort humano en viviendas de interés social del conjunto habitacional Virgen de Guadalupe en Picoazá, con un

enfoque multidimensional que incluye confort térmico, lumínico y acústico. Su principal aporte radica en la evaluación sistemática de las condiciones reales de habitabilidad mediante la combinación de técnicas cualitativas y cuantitativas: simulaciones digitales, observaciones directas y encuestas a los usuarios (Delgado, et al, 2022).

Este enfoque permite identificar fortalezas y debilidades en el diseño y construcción de las viviendas otorgadas por MIDUVI, considerando variables arquitectónicas, condiciones ambientales externas e internas, así como percepciones subjetivas de los habitantes, lo que otorga una perspectiva amplia y fundamentada.

En particular, el estudio destaca la influencia de factores climáticos locales —como temperatura, humedad relativa y viento— en el confort interior, y la necesidad de estrategias pasivas para controlar la radiación solar y la ventilación, evidenciando la relevancia de soluciones orientadas al contexto climático y social específico.

El trabajo aporta criterios prácticos para mejorar futuros diseños de vivienda social, orientando hacia intervenciones que equilibren confort y eficiencia, y que respondan a las condiciones ambientales y culturales particulares del lugar. Así, el documento contribuye a la mejora de la habitabilidad en viviendas sociales y sirve como referencia para políticas y programas de vivienda pública más sensibles al confort humano integral (Delgado, et al, 2022).

- ***Metodología***

5.8.3 *Fase 1: Análisis climatológico*: se inicia con un análisis climatológico del sector Virgen de Guadalupe donde se plantea realizar una investigación documental, obteniendo datos que serán proporcionados por el software Meteonorm 8, los cuales abarcan: medición de

temperatura, humedad relativa, temperatura media radiante y velocidad del viento, con un rango mensual y diario con horas de estudios que abordan las 8am, 12pm y 7pm (Vásquez, 2017)

5.8.4 Fase 2: Simulación: se procede a realizar el planteamiento y elaboración de una ficha de observación que determinará factores arquitectónicos tomando como referencia a (Hernández & Velásquez, 2014), y con el cual se percibirá variables del ambiente exterior y materialidad sujetas a las viviendas de interés social (Sampieri, et al, 2014).

5.8.5 Fase 3: Encuesta: se inicia el proceso con la toma muestra en la cual (Twomey & Hinfey), explica que, para calcular el tamaño de la muestra, necesitarás contar con la siguiente información:

- El tamaño de la población.
- Población: El grupo completo sobre el que te interesa sacar conclusiones.
- Muestra: el grupo que está encuestando.

5.8.6 Conclusión / Propósito: la metodología utilizada se estructura en tres fases complementarias: análisis climatológico con apoyo de software Meteonorm, simulación y observación arquitectónica mediante fichas técnicas basadas en criterios específicos, y encuestas aplicadas a los usuarios para captar su percepción del confort.

Este diseño metodológico es útil para integrar datos meteorológicos precisos, condiciones físicas y subjetivas, permitiendo una evaluación holística del confort interior en viviendas sociales. Facilita la identificación de aspectos críticos relacionados con orientación, materiales y diseño que afectan la calidad de vida, y apoya la formulación de pautas y recomendaciones prácticas para mejorar el diseño arquitectónico de conjuntos habitacionales (Sampieri, et al, 2014).

Su enfoque mixto y aplicado la vincula directamente con investigaciones sobre habitabilidad y sostenibilidad en vivienda social, brindando una herramienta adaptable para estudios similares en otros contextos climáticos y socioculturales. Además, contribuye a validar estrategias de diseño y planificación que busquen optimizar el bienestar de los habitantes con recursos accesibles y adecuados a la realidad local (Delgado, et al, 2022).

- **Programas:** ecotect Analysis y Archiwizard

5.9 Adaptación de una Vivienda Pro.Cre.Ar a una Vivienda Bioclimática en la Ciudad De Rauch, Provincia de Buenos Aires.

5.9.1 Adaptación De Una Vivienda: uno de los objetivos clave en la construcción de edificaciones es crear condiciones de habitabilidad adecuadas, con énfasis en el confort higrotérmico y una reducción del consumo energético. Muchos países de América Latina, incluida Argentina, han implementado regulaciones más estrictas sobre la eficiencia energética de los edificios para garantizar un uso responsable de los recursos (Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL, 2016).

Según un informe de la Agencia Internacional de Energía, una de las estrategias más efectivas y económicas para lograr edificaciones más sostenibles es reducir las necesidades de calefacción y refrigeración a través de enfoques pasivos. La bioclimática, aunque considerada innovadora, es un retorno a conocimientos tradicionales sobre el clima, buscando soluciones arquitectónicas que respondan a las condiciones climáticas locales. Es fundamental entender cómo estos factores influyen en el confort de los usuarios y el rendimiento térmico de las construcciones (Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL, 2016).

Desde 1993, Argentina ha incorporado conceptos de eficiencia en la edificación, con normas que regulan el aislamiento térmico. La Ley 13059 de la Provincia de Buenos Aires, promulgada en 2003, delineó pautas para mejorar la calidad de vida y disminuir el consumo energético en las construcciones.

El programa Pro.cre.ar, lanzado entre 2012 y 2016, propone créditos para la construcción, compra o mejora de viviendas populares con un total de 400,000 unidades. Sin embargo, la estandarización de los modelos de vivienda puede comprometer el confort higrotérmico y el cumplimiento de las normativas residenciales (Ortega, et al, 2021).

El trabajo busca demostrar que es posible adaptar estos modelos a viviendas bioclimáticas, mejorando tanto los costos como el proceso constructivo. Se está llevando a cabo un proyecto en Rauch, Buenos Aires, donde se considera la orientación y las características del terreno para maximizar el rendimiento energético.

5.9.2 Análisis teórico: el documento aborda la adaptación de un modelo estándar de vivienda Pro.Cre.Ar en la ciudad de Rauch, Buenos Aires, hacia un diseño bioclimático más eficiente, enfocado en mejorar el confort higrotérmico y reducir el consumo energético mediante estrategias pasivas. Reconoce que, aunque el programa Pro.Cre.Ar promovió la construcción masiva de viviendas sociales, la estandarización puede comprometer la calidad ambiental interior y el cumplimiento de regulaciones energéticas vigentes, como la Ley 13059 de la provincia de Buenos Aires (Ortega, et al, 2021) .

El aporte principal es demostrar que es posible adaptar estas viviendas con cambios mínimos en su diseño original, tomando en cuenta la orientación y características del terreno, para aprovechar mejor los recursos climáticos locales y aplicar soluciones pasivas que reduzcan la

demanda de calefacción y refrigeración. Entre las estrategias destacan el uso de ventilación cruzada, chimenea solar, captación solar mediante muros trombe, protecciones solares móviles y fijas, y el uso de vegetación caducifolia para control estacional de radiación.

Este enfoque representa un retorno a conocimientos tradicionales bioclimáticos con soporte en herramientas modernas de simulación energética (EnergyPLUS), permitiendo demostrar cuantitativamente mejoras en el desempeño térmico de estas viviendas y el cumplimiento regulatorio. Así, el trabajo contribuye a la búsqueda de soluciones habitacionales sostenibles para el contexto de la vivienda social en Argentina, combinando eficiencia energética, confort interior y factibilidad constructiva (Department of Energy, 2022).

- ***Metodología***

5.9.3 Fase 1: Análisis de sitio: con los datos climáticos históricos de las localidades se determinan las características climáticas y los requerimientos higrotérmico.

5.9.4 Fase 2: Evaluación de indicadores edilicios: Se ubicará con la orientación más favorable dentro del lote realizando el espejado de la misma, intentando realizar modificaciones mínimas al diseño original de la vivienda, cumpliendo con la reglamentación dispuesta por la municipalidad de Rauch. Se realiza un análisis basado en la metodología DAC para identificar las debilidades del diseño.

5.9.5 Fase 3: Definición de estrategias: la vivienda del Pro.cre.ar será convertida en una vivienda bioclimática, donde se aprovechará al máximo las estrategias pasivas de acondicionamiento térmico con los recursos existentes.

5.9.6 Fase 4: Simulación: para realizar la investigación sobre la dinámica energética en estado dinámico de la vivienda se realiza una simulación en el programa EnergyPLUS, ya que esto nos permite estimar el comportamiento térmico de las diferentes zonas que conforman la edificación y los sistemas que están realizando alguna prestación en condiciones puntuales de trabajo, en cada instante de tiempo durante el periodo de tiempo simulado.

5.9.7 Fase 5: Conclusiones: se comprueba también que el diseño adaptado garantiza el cumplimiento de los requerimientos establecidos por la ley 13059 de la provincia de Buenos Aires.

5.9.8 Conclusión / Propósito: La metodología emplea un proceso estructurado en fases: análisis climático del sitio con datos históricos, evaluación del diseño original mediante la metodología DAC para identificar debilidades, definición de estrategias pasivas de acondicionamiento térmico adaptadas al contexto local, y simulación dinámica con EnergyPLUS para estimar el comportamiento térmico de la vivienda bajo estas condiciones modificadas (Department of Energy, 2022).

Esta metodología es útil para adaptar diseños estandarizados de viviendas sociales hacia modelos bioclimáticos con intervenciones mínimas, cuantificando los beneficios en confort higrotérmico y eficiencia energética a través de simulaciones precisas. Facilita una comprensión integral de la dinámica energética de la vivienda y la validación con normativas locales, apoyando decisiones de diseño más informadas y sostenibles (Department of Energy, 2022).

Se vincula directamente con investigaciones de eficiencia energética en la edificación social y puede ser replicable y adaptable en otros contextos similares, aportando un marco práctico para mejorar las condiciones habitacionales con recursos eficientes y respetando la normativa vigente.

- *Programas:* energyPLUS

6. Análisis Comparativo del Comportamiento Térmico de dos Edificios en Clima Cálido

Húmedo.

6.1 Caso de Estudio: Hotel Mi California - Barrancabermeja, Santander

Este trabajo de investigación busca desarrollar un análisis comparativo entre dos edificios, para medir y evaluar la efectividad de las estrategias bioclimáticas aplicadas, con el fin de mejorar las condiciones actuales del edificio, teniendo en cuenta su comportamiento térmico y las condiciones climáticas en las que se encuentra. Como caso de estudio se selecciona una edificación de uso comercial - hotelero ubicada en Barrancabermeja – Santander, ciudad identificada bajo el clima cálido húmedo según la clasificación climática de (Köppen, 1936).

6.1.2 Análisis teórico: el documento realiza un análisis comparativo orientado a evaluar la efectividad de diferentes estrategias bioclimáticas aplicadas en dos edificios en un clima cálido húmedo, específicamente en un hotel ubicado en Barrancabermeja, Santander. El estudio se centra en medir el comportamiento térmico y la respuesta ambiental de las edificaciones en un contexto caracterizado por temperaturas anualmente altas y humedad relativa elevada, factores que dificultan alcanzar condiciones confortables sin un adecuado diseño pasivo (Szokolay, 1986).

El principal aporte reside en la integración de estrategias bioclimáticas tradicionales y modernas, con especial énfasis en la protección frente a la radiación solar, la ventilación cruzada efectiva, el diseño de fachadas adaptadas, el uso de vegetación para enfriamiento natural y sistemas de ventilación inducida como efecto chimenea. Se subraya el papel crucial del diseño arquitectónico en climas cálidos húmedos para evitar el sobrecalentamiento interno, minimizar la dependencia de sistemas mecánicos y favorecer el confort térmico mediante ajustes pasivos.

Además, el documento destaca la importancia del modelado energético y la simulación térmica para cuantificar el flujo energético, las ganancias y pérdidas térmicas, y así poder comparar el comportamiento térmico del edificio existente con propuestas de mejora basadas en estrategias bioclimáticas adaptadas al contexto local. Esta aproximación permite validar la factibilidad y eficacia de las soluciones planteadas, contribuyendo a la sostenibilidad y eficiencia energética en edificaciones situadas en climas desafiantes como el cálido húmedo (Szokolay, 1986).

6.1.3 Estrategias: ventilación Cruzada

Los edificios pueden ser ventilados y/o enfriados aprovechando corrientes de viento naturales. Las aberturas de ventanas orientadas perpendicularmente a los vientos dominantes, acopladas a las aberturas en el lado opuesto de un espacio o edificio, proporcionarán ventilación natural utilizando el aire fresco exterior (Olgyay, 1963).

6.1.4 Forma para Enfriamiento: un edificio alargado en la dirección del eje este-oeste expone las dos fachadas más cortas a la máxima ganancia de calor solar y a las altas temperaturas durante los meses más cálidos. El propósito es diseñar un edificio que pueda aprovechar los flujos de energía naturales del sitio a fin de minimizar la ganancia de calor solar, permitiendo que las corrientes de aire natural, por medio de una planta arquitectónica estrecha, a través de ventilación cruzada o inducida, enfríen los espacios interiores (Givoni, 1976).

6.1.5 Sombreado: Fachada Solar: durante los meses cálidos del verano, el uso de aleros o voladizos bloquea la luz solar directa no deseada incidente en las áreas acristaladas solares, reduciendo de esta manera la carga total de enfriamiento. Los aleros o voladizos deben ubicarse encima del área acristalada solar orientada hacia el ecuador (Olgyay, 1963).

6.1.6 Enfriamiento Vegetativo: los árboles y la vegetación dan sombra a las edificaciones y superficies, mientras que el agua que se evapora a través de sus hojas reduce la temperatura del aire en la zona vegetada inmediata. Las temperaturas bajo la sombra de la copa de los árboles pueden reducirse entre 1-5 C° en comparación con las de un terreno abierto, y entre 11-17 C° en comparación con un área de estacionamiento. Se deben ubicar los árboles en patios, áreas de estacionamiento y calzadas, en dirección al este, oeste, noreste, y noroeste para el hemisferio sur (Akbari, Pomerantz, & Taha, 2001).

6.1.7 Ventilación Inducida: el uso de aberturas situadas en la parte baja y alta de un espacio, colocadas en lados opuestos, produce un ‘efecto chimenea’ – el aire caliente del interior escapa a través de las aberturas altas, induciendo la entrada de aire exterior más frío a través de las aberturas bajas.

6.1.8 Otras Estrategias: Fachadas: una fachada basada en el clima local es un filtro entre el exterior y el interior, que crea condiciones interiores confortables. Las estrategias de diseño para dichas fachadas, en climas cálidos, incluyen:

- Enfriamiento Pasivo.
- Áreas acristaladas y muros sombreados.
- Ventilación natural.
- Luz solar reflejada.
- Colores exteriores claros.
- Ventanas con doble acristalamiento para la conservación de aire acondicionado.

- *Metodología*

6.1.9 *Fase 1: Componente climático:* recolección de la información meteorológica y análisis de factores climáticos

- Fuente: Datos de IDEAM, Herramienta: Tablas de Excel y gráficos de líneas
- Elaboración del archivo meteorológico
- Fuente: Datos de IDEAM, Herramienta: *Tablas de Excel y gráficos de líneas*

6.1.10 *Fase 2: Identificación de estrategias bioclimáticas:* Análisis psicométrico por medio del climograma de Givoni

- Recurso: corrección de la temperatura de confort y comprobación del climograma por medio del software Climate Consultant
- Recurso: identificación de las estrategias y posibles técnicas de diseño para clima cálido húmedo

6.1.11 *Fase 3: Análisis del sitio:* Análisis general: Desde la normativa

- Recurso: perfiles viales, áreas de actividad, equipamientos urbanos, espacio público, uso del suelo y edificabilidad.
- Análisis particular: desde el comportamiento térmico del edificio
- Recurso: sombreado, exposición solar y ventilación. Herramientas: Ecotect Analysis, ArchiWizard y Flow Design.

6.1.12 *Fase 4: Análisis del edificio:* descripción general del edificio

- Recurso: área, número de pisos, condición actual, sistema constructivo y accesibilidad.
- División del edificio por zonas
- Recurso: nombre, número zonas, área, y orientación
- Definición de los datos constructivos

- Recurso: materiales, conductividad térmica y densidad, desglosados para cada elemento: muros exteriores, cubiertas y superficies acristaladas

6.1.13 Fase 5: Línea base: Modelado 3D y simulación: modelado 3D del edificio

- Recurso: modelado, distribución de zonas y simulación térmica del edificio. Herramienta: Design Builder
- Análisis de resultados
- Recurso: temperatura, confort, ganancias y balance térmicos del edificio existente

6.1.14 Fase 6: Diseño de la propuesta: nueva propuesta a partir de las estrategias bioclimáticas identificadas

- *Recurso: 1. Factibilidad de las estrategias, 2. Redistribución de espacios, 3. Selección de materiales para el clima*

6.1.15 Fase 7: Simulación y comparación: modelado 3D de la nueva propuesta y comparación de resultados

- *Recurso: Temperatura, confort, ganancias y balance térmicos de la nueva propuesta.*
- *Herramienta: Design Builder*

6.1.16 Conclusión / Propósito: la metodología utilizada se estructura en varias fases bien definidas que incluyen: recolección y análisis de datos meteorológicos locales, identificación de estrategias bioclimáticas con apoyo de climogramas y herramientas digitales (Climate Consultant), análisis del sitio y del edificio mediante software de simulación térmica (Ecotect, ArchiWizard, Flow Design), y modelado 3D y simulación térmica con Design Builder para evaluar escenarios actuales y de propuesta (Department of Energy, 2022).

Este enfoque metodológico es útil para investigar y cuantificar con precisión el desempeño térmico de edificaciones en climas cálidos húmedos, permitiendo comparar efectos de distintas intervenciones bioclimáticas sobre el confort interior y consumo energético. Su integración de análisis climático, diseño adaptativo y simulación avanzada proporciona una herramienta robusta para optimizar edificaciones en contextos similares, fortaleciendo decisiones de diseño arquitectónico sostenible.

Se vincula directamente con investigaciones sobre sostenibilidad, eficiencia energética y diseño adaptado a climas cálidos y húmedos, siendo replicable para otros proyectos o estudios que busquen mitigar discomfort térmico y reducir demanda energética mediante estrategias pasivas fundamentadas y validadas (Department of Energy, 2022).

- *Programas:* design Builder
- *Arquitectura bioclimática:* buenos *Aires, Argentina*

Beatriz Garzón nos habla de que la arquitectura es un trabajo social, y que siendo así, la arquitectura debería enfatizar en la bioclimática; la arquitectura bioclimática busca el confort higrotérmico interior y exterior, utilizando el diseño y los elementos arquitectónicos, sin utilizar sistemas mecánicos (estos solo se ven como un apoyo). Se tiene en cuenta la influencia en reducir los problemas ecológicos, ya que el sector de la edificación consume el 30% de la energía primaria de países industrializados y es posible gastar 6 veces menos de energía cuando la casa tiene impuesto un buen diseño y uso de los elementos arquitectónicos. En cuanto al valor de las edificaciones actuales, no se tiene en cuenta que, tiene más valor una casa con un buen confort térmico, que una casa bonita y bien pintada (Garzón, 2004).

6.1.17 Análisis Teórico: el libro sostiene que la arquitectura debe ser socialmente responsable y ambientalmente sostenible, enfocándose en el diseño bioclimático para garantizar confort térmico sin depender de sistemas mecánicos que consumen mucha energía. La bioclimática busca adaptar los edificios al clima local mediante estrategias pasivas como orientación adecuada, aislamiento térmico, uso de materiales naturales y diseño de volúmenes compactos (Garzón, 2004).

Se presentan casos prácticos en diversos climas (frío, cálido, templado, desértico) que ilustran diferentes soluciones bioclimáticas: proteger del frío con acumuladores de calor, favorecer la ventilación natural para refrescar en verano, y aprovechar la energía solar para calefacción y agua caliente. Además, se utilizan herramientas tecnológicas para optimizar estas soluciones.

En viviendas sociales y rurales, el enfoque bioclimático demuestra cómo se puede lograr eficiencia energética y confort incluso con recursos limitados, enfatizando el bajo impacto ambiental y el uso de energías renovables o pasivas.

6.1.18 Principios de la bioclimática: mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios desde el punto de vista del confort hidrotérmico.

Integración del objeto arquitectónico a su contexto.

Incidir en la reducción de la demanda de energía convencional y al aprovechamiento de fuentes energéticas alternativas, como resultado del concepto ecológico que enmarca esta tendencia.

6.1.19 La bioclimática tiene en cuenta: costo global de cómo se construyen los materiales

- Su transporte
- Costo ambiental cuando acaben su vida útil

6.1.20 *Estrategias bioclimáticas: Caso 1:* Estrategias para un clima de inviernos fríos, temperaturas bajo cero, fuerte radiación solar y veranos con temperaturas máximas superiores a 30°C

- Baja transmitancia térmica en la piel exterior: Muros de 15 y 20 cm, Techos aislantes livianos.
- Forma edilicia compacta: Plantas de mínimos elementos salientes y perímetro exterior.
- Sistemas solares pasivos: Ganancia directa, muro acumulador, invernadero integrado al desarrollo volumétrico de la vivienda.
- Colectores solares planos y módulos fotovoltaicos: Para el calentamiento del agua
- **Caso 2:** Estrategias para un clima muy cálido, reducida amplitud térmica, alta humedad relativa y fuertes precipitaciones
- Espacios controlados entre los sectores edificados a fin de obtener la captación de sol invernal sobre ventanas y, brisas estivales en espacios interiores y semicubiertos (Olgyay, 1963).
- Orientación de las fachadas principales y espacios semicubiertos hacia el norte, con máxima protección de la fachada oeste, especialmente en verano.
- Aleros dimensionados para lograr protección total de la fachada norte en periodos de fuerte radiación solar, mientras permiten captación de sol en invierno.
- Componentes constructivos de la piel, techos, muros y pisos, con buen aislamiento térmico a fin de conservar el calor interior y ofrecer protección del sol estival (Olgyay, 1963).
- Construcción liviana que permita refrescar rápidamente la casa por la noche en verano y un eficaz calentamiento solar en invierno.

6.1.21 Pautas de diseño: se evitan los movimientos de tierra y se minimiza el transporte de materiales a través de una construcción liviana de madera, que utiliza paneles prefabricados y requiere mínimos cimientos y menos energía para su traslado que si fuera para una construcción convencional

La madera contiene carbono absorbido de la atmosfera durante el proceso de fotosíntesis, lo que contribuye a la reducción de emisiones GEI, gases de efecto invernadero, mientras otras alternativas constructivas aumentan las emisiones (Bribián & Capilla, 2010).

El diseño de techos permite la recolección de agua, las instalaciones sanitarias fueron especificas para reducir la demanda de este recurso, normalmente abundante en esta zona, pero, con potencial en meses muy secos.

Se utilizan colectores solares planos para agua caliente y cocción, y leña como fuente adicional de energía renovable.

6.1.22 Metodología de estudio: analizaron las ubicaciones adecuadas para sistemas solares, colectores planos para calentamiento de agua de uso doméstico y paneles fotovoltaicos para generación de energía.

Diseñaron el paisaje para lograr sombra en el verano y asoleamiento en el invierno en los espacios exteriores de uso intensivo y vital (Bribián & Capilla, 2010).

Buscaron proporciones y dimensiones de elementos de protección solar para aberturas vidriadas.

Visualizaron el ingreso del sol en espacios interiores, tanto para su efecto de calentamiento como para el análisis de problemas de confort visual.

6.1.23 *Programas de simulación numérica de fluidodinámica computada (CFD): Helidon:* Simularon el movimiento aparente del sol, dimensionaron los espacios exteriores adecuados entre casas para asegurar un buen asoleamiento sobre fachadas y aberturas.

- **Túnel del viento:** Simula el movimiento del viento y brisas en espacios exteriores, así como el movimiento de aire en espacios interiores.

Cielo artificial: Permite simular y visualizar la distribución e intensidad de iluminación natural en espacios interiores con cielo nublado, al igual que, permite verificar las condiciones lumínicas y equilibrar la entrada de luz con protección solar y las pérdidas de calor a través de ventanas en invierno (Szokolay, 1986).

6.1.24 **Viviendas bioclimáticas rurales:** nos muestra una vivienda a cuál está ubicada en un clima desértico patagónico, seco en verano y frío con heladas y nieve en invierno, temperaturas altas en el día y bajas en la noche, además, se caracteriza por la presencia de vientos fuertes con polvo de arena y tierra (López & Varela, 2017).

6.1.25 *Estrategias y pautas de diseño bioclimáticas:* envolvente:

- **Piso:** Piedra laja de la zona sobre contrapiso de hormigón pobre 0,12m espesor.
- **Muro:** Mampostería de suelo – cemento fabricado in situ; 0,30m exterior con aislamiento de poliestireno expandido de 0,10m de espesor y muros interiores de suelo – cemento de 0,15m de espesor
- **Revestimientos:** Piedra laja
- **Cielorrasos:** De madera machimbrada; plástico negro de 200 micrones; arena volcánica y adobe 0,12m de espesor como aislamiento térmico.

- Cubierta: Chapa de zinc sobre estructura de madera y aislamiento de lana de vidrio de 0,05m.
- Calefacción:
- Muro colector – acumulador: Trombe michel modificado
- Posición: Pared norte
- Inclinación: 90°
- Superficie opaca: muro de ladrillo suelo – cemento 0,30m de espesor.
- Superficie transparente: Vidriado doble hermético
- Cubierta colectora: Con cámara de convección
- Posición: Techo
- Inclinación: 27°
- Superficie opaca: arena volcánica y adobe 0,12m de espesor.
- Superficie transparente: Policarbonato alveolar de 0,004m
- Ganancia directa invernáculo: Con cámara de convección, para producción de verduras y hortalizas.
- Posición: Pared norte y oeste.
- Inclinación: 90° pared norte y oeste; 27° techo
- Superficie opaca: muro de ladrillo suelo – cemento 0,30m de espesor.
- Superficie transparente: Vidriado doble; Policarbonato alveolar de 0,004m
- Calefacción auxiliar:
- Estufa tipo rusa de alto rendimiento con distribución de aire caliente.

6.1.26 *Almacenamiento:* en muros colectores – acumuladores exteriores e interiores pesados en tierra, en piso del invernáculo y de galería norte, y en techo acumulador en tierra;

logrando así una gran masa térmica. La alta inercia térmica de la envolvente amortigua las variaciones diarias de los parámetros climáticos a efectos de conservar el calor (Givoni, 1976).

6.1.27 Refrescamiento: chimenea solar: Sobre cubierta dormitorios, cocina – estar, galería, baño e invernáculo.

- Ventilación selectiva: A través de las aberturas y de los muros colectores – acumuladores.
- Agua caliente sanitaria:
- Colector solar y tanques intermediario acumulador y de reserva, aislados por muros para evitar el congelamiento del agua y cañerías.

6.1.28 Sacado solar con ganancia directa: por ganancia solar directa en recinto como cámara convectiva, de ropa, frutos y hortalizas.

- Cocción de alimentos con ganancia directa:
- Por ganancia directa reflejada:
- Horno solar en fachada norte con acceso desde cocina
- Horno solar móvil “tipo trampa” con aislamiento 0,010m de lana de vidrio, doble vidriado y tapa reflectora de espejo.

Por ganancia directa concentrada: Cocina solar parabólica móvil, construida en acero inoxidable con seguimiento solar manual.

- Humidificación:

Se plantean zonas al sur con área con vegetación arbustiva y fuentes o depósitos de agua para ello.

6.1.29 Conclusión / propósito: el libro de Garzón muestra que la arquitectura bioclimática es clave para construir viviendas sostenibles y confortables que minimicen el consumo energético y el impacto ambiental. Destaca que el valor real de un edificio está en su capacidad para ofrecer confort térmico y eficiencia ambiental, más allá de lo estético (Garzón, 2004).

Este enfoque es viable para diversas zonas climáticas y contextos sociales, y promueve una forma de construir responsable, económica y respetuosa con el planeta.

6.2 Diseño bioclimático como aporte al proyecto arquitectónico

6.2.1 La Plata, Argentina: de este documento se aborda la arquitectura bioclimática como una disciplina que busca diseñar edificaciones respetuosas del ambiente y adaptadas al clima local para optimizar el confort térmico y reducir el consumo energético. Se enfatiza que el diseño debe aprovechar recursos naturales como la radiación solar y la ventilación, evitando el uso excesivo de sistemas mecánicos y energías convencionales.

Se presentan metodologías claras y prácticas que incluyen el análisis climático detallado, la selección y dimensionamiento de sistemas pasivos y activos (como aislación térmica, control solar, ventilación natural, masa térmica y generación de energía solar), así como la evaluación técnica y económica para garantizar la viabilidad y sostenibilidad de los proyectos (Garzón, 2004).

Los ejemplos incluyen viviendas en diferentes zonas climáticas (frío, cálido, templado, desértico), mostrando cómo adaptar los diseños a las condiciones particulares a través de estrategias específicas como orientación adecuada, formas edilicias compactas, uso de materiales locales, protección solar estival y aprovechamiento solar invernal, ventilación cruzada, y el diseño de espacios exteriores que aportan confort (Garzón, 2004).

En particular, se destaca la importancia de integrar las soluciones bioclimáticas desde etapas tempranas del proyecto arquitectónico, considerando factores técnicos, ambientales, funcionales y económicos, buscando un equilibrio entre confort, eficiencia energética y cuidado ambiental.

6.2.2 Análisis teórico: el libro fundamenta la arquitectura bioclimática como un sistema integral que combina análisis científico-climático con un diseño arquitectónico sensible al entorno, buscando maximizar el uso de recursos naturales como la radiación solar y la ventilación natural. La metodología propuesta es un proceso sistemático que inicia con un relevamiento climático detallado y análisis de diagramas bioclimáticos para identificar las necesidades térmicas higrotérmicas (Garzón, 2004).

Este enfoque hace posible seleccionar y dimensionar soluciones pasivas y activas adecuadas, considerando desde sistemas de acumulación y captación de energía solar hasta el control de pérdidas y ganancias térmicas por la envolvente y aberturas. El análisis incluye la evaluación económica, fundamentando la viabilidad y sustentabilidad del proyecto.

El texto subraya la importancia de factores como la orientación del edificio y sus espacios, el diseño de la envolvente térmica, la incorporación de ventilación cruzada y estrategias de refrescamiento pasivo (chimeneas solares, muros ventilados), así como el diseño del entorno exterior con sombreados y forestación para mejorar el microclima. Para climas cálidos, resalta el uso de colores claros, aislamientos en techos y muros, y la minimización de tales térmicas para evitar el sobrecalentamiento (Garzón, 2004).

6.2.3 Metodología: Arquitectura solar y bioclimática

6.2.4 Etapa 1: Análisis bioclimático general

- Relevamiento y tratamiento de datos meteorológicos.
- Clasificación bioclimática de las condiciones locales.
- Análisis de acondicionamiento mediante diagramas bioclimáticos.
- Selección de sistemas o pautas de diseño bioclimáticas para el acondicionamiento.
- Determinación de necesidades higrotérmicas

6.2.5 Etapa 2: Dimensionamiento inicial de los sistemas

- Esquema del proyecto.
- Dimensionamiento inicial de colección.
- Dimensionamiento inicial de acumulación.
- Análisis económico: grado de sustitución de fuentes energéticas no convencionales.

6.2.6 Etapa 3: Dimensionamiento Final

- Dimensionamiento final.
- Selección de métodos constructivos.

6.2.7 Etapa 4: Análisis económico final:

- Grado de sustitución
- Amortización de la inversión.
- Determinación de sobre costo.

6.2.6 Pautas de Diseño I: ubicación y Emplazamiento. Con lo cual conjugar orientación, visuales ocupación del terreno en función e las relaciones funcionales y espaciales. Protegerse de los parámetros climáticos.

Orientación del edificio y de los ambientes. Con lo cual aprovechar o protegerse de la radiación solar y de los vientos. Aprovechar el sol en el invierno para calefaccionar y las brisas frescas en el verano para refrescar.

Iluminación Natural. Disposición de las diferentes aberturas, ya sean sobre componentes verticales (muros perimetrales) u horizontales (cubierta). Se debe tener en cuenta los colores claros de los paramentos, cielorrasos y pisos. Determinar las áreas de incidencia en base a la orientación (Altura y acimut del sol). Diseñar elementos de transporte tales como lumiductos (para espacios mediterráneos), estantes de luz en aberturas, o elementos de difusión y filtrado, tales como cortinas o pantallas (Szokolay, 1986).

Envolvente Edilicia. Aquella que se encuentra como interfase entre el espacio interior y exterior y aquellos espacios intermedios como invernaderos, galerías o pérgolas. Por un lado debe resolverse una envolvente con buena aislación térmica con lo cual minimizar las pérdidas de calor en el invierno y las ganancias por conducción en verano. Tanto de muros, cubierta y piso. Los espacios intermedios pueden actuar como generadores de calor (invernaderos) o como sistemas de control solar.

Ubicación de los cerramientos. En relación con las orientaciones y parámetros climáticos.

Forma de los volúmenes y su relación con los muros, altura e inclinación de las cubiertas y distribución de los espacios habitables.

Funcionamiento y ocupación. En función de los requerimientos energéticos y de confort de los distintos espacios (Entendidos estos como módulos edilicios).

Ventilación natural. La cual puede ser cruzada, selectiva, y en climas cálidos húmedos aprovechando la capacidad entalpica del aire.

Calefacción. Pudiéndose resolver por energías renovables como la biomasa, la solar térmica, minimizando o eliminando —según sea el caso- los consumos de energía convencional.

Control Solar. Sombreado los muros y protegiendo las cubiertas, fundamentalmente limitando el acceso de los rayos solares al interior de los ambientes en el período estival. Es importante sombrear los espacios exteriores con los cual evitar el calentamiento del aire (Olgyay, 1963).

Refrescamiento pasivo. Utilizando sistemas de sombreado y viabilizando las corrientes de aire benignas tanto a nivel del usuario como para extracción del aire de los sectores superiores del ambiente. Se pueden implementar chimeneas solares en las cubiertas, de modo de extraer aire, de tiro natural o con sistemas forzados (ventiladores eólicos o mecánicos). Se pueden implementar también muros ventilados (Givoni, 1976).

Ganancia Directa e Ganancia Indirecta. Con lo cual general energía calórica aprovechando la radiación solar incidente.

Masa Térmica. Con lo cual producir energía térmica, poder almacenarla o desfasar su onda térmica.

Calentamiento de agua. Utilizando colectores solares. Existen de diferentes modelos, los más difundidos son los de placa colectora plana, termosifónicos, aunque en algunos casos se incorporan bombas de baja capacidad con los cual mover el agua. Estos equipos se debe tener en cuenta la capacidad de acumulación de agua caliente y el período de cálculo en función de las series de días nublados para la zona. En algunos casos se puede incluir este tipo de equipos como precalentador de equipos tradicionales (Szokolay, 1986).

Generación de energía. A partir de sistemas conformados por celdas fotovoltaicas, las cuales producen electricidad a partir de la incidencia de la radiación solar. Estos equipos generan

corriente continua, lo que implica que se puede incluir conversores para corriente alterna y banco de baterías para acumulación. También se pueden incorporar sistemas eólicos los cuales aprovechan la incidencia de los vientos.

Espacios exteriores. El correcto diseño de estos espacios no solo beneficia los ámbitos interiores sino que se transforman en espacios habitables vitales para el desarrollo de la vida durante gran parte del año, fundamentalmente en climas templados o cálidos.

6.2.7 Estrategias Bioclimáticas: Clima muy cálido:

- Aislación térmica:
- Incorporar colores claros en paredes exteriores y techos.
- Incorporar importante aislación térmica en Techos y Muros, fundamentalmente en las orientaciones E y O minimizando el sobrecalentamiento estival.
- Radiación Solar:
- Para verano:
- Aplicar sombreado evitando la incidencia de la radiación solar, tanto para muros como para aberturas.
- Techos sombra, Mallas, galerías, pergolados, parasoles, etc.
- Utilizar postigos, cortinas, aleros para controlar la radiación solar.
- Reducir las aberturas con orientación este-oeste minimizando la incidencia de la radiación en el interior.
- Utilizar colores claros para disminuir la absorción de la radiación.
- Control lumínico y térmico del recurso.
- Para invierno: (período invernal reducido)
- Aprovechar las orientaciones NO-N-NE como ganancia directa (GAD).

- Para todo el año:
- Utilización de colectores solares de Agua caliente, pendiente de colectores 51°.
Colectores simple vidrio
- Producción de calor:
- Aprovechar la ganancia directa por aberturas durante el período invernal a pesar de ser poco significativo.

6.2.8 Orientaciones:

- Las orientaciones óptimas resultan la NO-N-NE y la SO-S-SE.
- Evitar el soleamiento en verano en todas las orientaciones.
- Utilizar como eje predominante de los edificios el E-O.
- Minimizar los aventanamientos en la orientación E-O.
- Altitud Verano: 85° (ver tabla de geometría solar).
- Altitud de Invierno: 39° (ver tabla de geometría solar).
- *Ventilación:*
- Se recomienda ventilación natural cruzada y nocturna.
- Aprovechar las diferencias entálpicas (Kcal/Kg aire) de aire nocturno-diurno.
- Utilizar espacios semicubiertos o galerías los cuales ofrecen ambientes confortables en los periodos críticos del día.
- Los vientos predominantes corresponden a las orientaciones NE y S con velocidades medias de 10 km/h.

6.2.9 Constructivas:

- Poca inercia térmica en muros y/o pisos si lo hubiera.
- Construcción liviana armadas en seco y de construcción rápida; y en el caso de armados húmedos, utilizar tecnología semipesadas con discriminación de elementos. La implementación de la tecnología se terminará de definir en función de su utilización.
- Ventanas con control solar y asegurando ventilación cruzada en verano, aprovechando la orientación NE y S.
- Fundación con zapatas. Aprovechar la tecnología del lugar (Szokolay, 1986)

6.2.10 Materiales:

- Madera local: Duras y semiduras. o Chapa acanalada, tejuela.
- Mamposterías livianas o semi-pesadas (huecas) accesibles a la zona.
- Dependerán del escenario económico- productivo vigente de la región y el país (Givoni, 1976).

6.2.11 Espacios Exteriores:

- Se deben utilizar espacios semi-cubiertos y de sombreado estival, galerías, pérgolas, enjaretados para lograr el sombreado de las superficies horizontales y verticales sin evitar el pasaje de las brisas.
- Se debe utilizar adecuadamente la forestación de rápido crecimiento para adecuar el microclima exterior. Además de adecuar el diseño del paisaje y los edificios con lo cual

posibilitar el libre movimiento del aire para lograr refrescamiento en verano y protección en invierno.

6.2.12 Otras características:

- En las áreas cálidas húmedas, el espacio exterior en general tiene un uso muy intenso en las estaciones más cálidas, que conforman la mayor parte del año. Los espacios arquitectónicos intermedios, permiten aprovechar el refrescamiento natural aportado por el entorno mediato sombreado y el refrescamiento nocturno. Las aberturas deben estar protegidas contra insectos y reptiles (Olgay, 1963).

5.7.16 Conclusión / propósito: San Juan propone un método claro y aplicable que integra análisis climático, diseño y economía para crear edificios más sostenibles y confortables. La arquitectura bioclimática es una herramienta clave para reducir el impacto ambiental y mejorar la calidad de vida, usando soluciones adaptadas a cada clima y contexto.

6.3 Conceptos bioclimáticos y su aplicabilidad a la zona rural altoandina

5.3.1 Caso comunidad San Francisco de Raymina: El artículo describe la experiencia de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) en la aplicación de principios bioclimáticos en la comunidad rural altoandina de San Francisco de Raymina (Ayacucho, Perú), situada a 3.700 msnm y expuesta a temperaturas extremas, especialmente en invierno. Se plantea que un enfoque bioclimático integral —basado en la interacción de datos climáticos y características humanas— es clave para alcanzar el bienestar térmico en viviendas rurales, optimizando el uso de recursos naturales y protegiendo a sus ocupantes.

El enfoque integra disciplinas como fisiología humana, climatología y física, sustentándose en conceptos como:

- Bienestar térmico: estado de comodidad resultante de factores ambientales y personales.
- Clima e índices bioclimáticos: parámetros que determinan zonas de confort.
- Estrategias bioclimáticas: lineamientos para aprovechar condiciones favorables.
- Técnicas bioclimáticas: aplicación práctica de dichas estrategias en elementos constructivos.

La intervención incluyó aislamiento térmico en pisos, techos y ventanas; eliminación de puentes térmicos; muros de adobe con alta masa térmica; incorporación de ventanas térmicas; e invernaderos adosados que mejoraron el confort y la nutrición. Se enfatiza la necesidad de soluciones sostenibles, adaptadas al contexto y acompañadas de capacitación comunitaria, contrastando con intervenciones previas sin análisis técnico que fracasaron (Olgay, 1963).

La experiencia demuestra que la adopción de principios bioclimáticos en zonas rurales altoandinas es una vía sustentable para enfrentar las heladas y mejorar la calidad de vida, constituyendo un antecedente valioso para el diseño arquitectónico en climas severos. Todo lo mencionado en los conceptos será desarrollado en el marco conceptual.

En el contexto de esta tesis, el documento aporta una referencia concreta sobre cómo la integración de análisis climático, fundamentos teóricos y aplicación de estrategias bioclimáticas pasivas puede traducirse en soluciones efectivas y contextualizadas. Los criterios metodológicos y las intervenciones descritas sirven como insumo para el desarrollo de una metodología propia, flexible y replicable, alineada con el objetivo de optimizar el confort térmico en el salón comunal *Ágora* mediante estrategias adaptadas a su clima y condiciones específicas (Olgay, 1963).

6.3.2 Arquitectura bioclimática:

- ***Polo del Conocimiento:*** el documento analiza la importancia de las estrategias y técnicas bioclimáticas en la vivienda rural altoandina, tomando como referencia la comunidad de Pampa Cangallo (Ayacucho, Perú), ubicada a más de 3 200 msnm. Se identifican deficiencias en la protección térmica de las viviendas tradicionales, lo que provoca incomfort y problemas de salud en épocas frías. Se plantea que un enfoque bioclimático integral —basado en el análisis climático y la participación comunitaria— puede mejorar el confort térmico y reducir el consumo energético (Acosta, 2010).

El diseño bioclimático en zonas altoandinas aprovecha las condiciones climáticas locales para alcanzar un equilibrio entre las variables ambientales y las necesidades fisiológicas humanas.

Este enfoque se sustenta en conceptos como:

- Confort térmico: equilibrio entre condiciones ambientales y factores personales.
- Ganancia de calor: directa, mediante radiación solar, o indirecta, a través de sistemas pasivos.
- Pérdida de calor: reducción mediante aislamiento y materiales con alta inercia térmica.
- Estrategias bioclimáticas: lineamientos para optimizar el diseño arquitectónico.
- Técnicas bioclimáticas: aplicación concreta de estas estrategias en elementos constructivos.

La intervención en Pampa Cangallo incluyó muros de adobe con alta masa térmica, aislamiento en techos y pisos, ventanas térmicas e invernaderos adosados para la captación pasiva de calor. Estas acciones elevaron significativamente la temperatura interior y redujeron enfermedades respiratorias, evidenciando la eficacia de un diseño bioclimático adaptado a las condiciones climáticas, económicas y culturales del lugar (Acosta, 2010).

En el contexto de esta tesis, este documento aporta un caso relevante sobre cómo la combinación de análisis climático, fundamentos teóricos y participación comunitaria puede derivar en soluciones efectivas y sostenibles. Los resultados y criterios técnicos presentados servirán como referencia para la formulación de estrategias bioclimáticas pasivas aplicadas al salón comunal Ágora, asegurando su adaptación al clima de Bucaramanga y a las necesidades de sus usuarios. Todo lo desarrollado en los conceptos de este análisis se incorporará al marco conceptual (Acosta, 2010).

6.4 Manual Para El Diseño Bioclimático y Ecotecnia en Conjuntos Habitacionales

6.4.1 Infonavit: el documento presenta la experiencia de intervención bioclimática en la comunidad de Pampachiri (Apurímac, Perú), situada a más de 3 500 msnm y expuesta a un clima frío extremo con temperaturas nocturnas bajo cero. Las viviendas tradicionales de adobe, aunque poseen alta masa térmica, presentan deficiencias en aislamiento, control de puentes térmicos y captación solar pasiva, lo que genera discomfort térmico y problemas de salud (Segovia, 2025).

El diseño bioclimático aplicado buscó optimizar el confort térmico y la eficiencia energética mediante un enfoque pasivo y sostenible, integrando conocimientos de climatología, física y diseño arquitectónico. Este enfoque se fundamenta en conceptos como:

- Bienestar térmico: equilibrio entre condiciones ambientales (temperatura, humedad, viento, temperatura radiante) y factores personales (vestimenta, actividad, salud).
- Zona de confort: rango definido por índices bioclimáticos donde las personas experimentan comodidad térmica.
- Estrategias bioclimáticas: orientadas a maximizar la ganancia de calor y minimizar pérdidas, especialmente en climas fríos extremos.

- Técnicas bioclimáticas: acciones concretas como aislamiento higrotérmico en techos y pisos, control de puentes térmicos, optimización de muros de adobe, instalación de ventanas térmicas e incorporación de invernaderos adosados (Segovia, 2025).

En Pampachiri, estas medidas aumentaron significativamente la temperatura interior, redujeron el consumo de combustibles contaminantes y mejoraron la salud y la alimentación de la población. El caso demuestra que un diseño bioclimático contextualizado, basado en análisis técnico y participación comunitaria, puede generar soluciones efectivas y sostenibles para entornos altoandinos.

En el marco de esta tesis, este documento aporta un referente valioso sobre cómo adaptar estrategias bioclimáticas pasivas a contextos específicos, optimizando el confort térmico y reduciendo el consumo energético. Sus principios y resultados servirán como base para la formulación de propuestas aplicables al salón comunal Ágora, garantizando su pertinencia frente al clima de Bucaramanga y las necesidades de sus usuarios. Todo lo desarrollado en los conceptos será incorporado al marco conceptual (Segovia, 2025).

6.5 Estrategias bioclimáticas en la arquitectura de Ruiz-Larrea

6.5.1 Estrategias bioclimáticas en la arquitectura: el documento presenta las estrategias bioclimáticas como herramientas esenciales en el diseño arquitectónico para optimizar el confort térmico y reducir el consumo energético, aprovechando los recursos climáticos locales —radiación solar, dirección del viento y humedad— para disminuir la dependencia de sistemas mecánicos. Se destacan estrategias como la orientación óptima del edificio, ventilación natural, uso de masa térmica, aislamiento, sombreado y captación solar pasiva, subrayando la importancia de adaptarlas a las condiciones específicas de climas cálidos, templados y fríos (Olgyay, 1963).

Estas estrategias se fundamentan en la climatología aplicada a la arquitectura y en los principios de la física de la construcción, con el objetivo de lograr un equilibrio térmico interior que minimice el uso de energía convencional. El proceso parte de la comprensión de variables como radiación solar, temperatura del aire, humedad relativa y ventilación, que determinan la percepción de confort térmico. Autores como Victor Olgyay, Baruch Givoni y Ken Yeang han resaltado la necesidad de incorporar el clima como punto de partida en el diseño arquitectónico. La selección correcta de estrategias depende de un análisis climático detallado y de la capacidad del diseño para adaptarse a variaciones estacionales y diarias de temperatura y humedad (Olgyay, 1963).

Este enfoque, vinculado a la arquitectura sostenible y la climatología aplicada, retoma aportes de investigaciones previas y herramientas como la carta bioclimática, útiles para orientar decisiones de diseño. Puede emplearse como guía para proyectos en diversos contextos climáticos, desde viviendas hasta equipamientos urbanos, siempre que se realice un diagnóstico climático riguroso.

En el contexto de esta tesis, el documento constituye una referencia metodológica para identificar y seleccionar estrategias bioclimáticas pasivas a partir del análisis del clima local. Su estructura y criterios serán aplicados en la formulación de propuestas para el salón comunal Ágora, asegurando su pertinencia frente al clima de Bucaramanga y la mejora del confort térmico de sus usuarios. Todo lo desarrollado en los conceptos será incorporado al marco conceptual (Olgyay, 1963).

6. 6 Fachadas disipadoras de calor: Recursos para el diseño arquitectónico

6.6.1 Fachadas disipadoras de calor: el documento presenta las estrategias bioclimáticas como soluciones pasivas orientadas a optimizar el confort térmico y la eficiencia energética, aprovechando los recursos naturales y reduciendo el uso de energía convencional. Aborda conceptos clave como orientación, ventilación natural, masa térmica, aislamiento, sombreado y captación solar pasiva, destacando su importancia y aplicación según el tipo de clima. También resalta la relación entre diseño arquitectónico y condiciones climáticas, señalando que la correcta aplicación de estas estrategias no solo aporta beneficios ambientales y económicos, sino que también mejora el bienestar y la salud de los usuarios (Givoni, 1976).

Fundamentadas en la climatología aplicada y la física de la edificación, estas estrategias buscan integrar el diseño arquitectónico al medio natural. Autores como Victor Olgyay y Baruch Givoni han desarrollado metodologías para determinar, en función de las variables climáticas, cuáles son las más adecuadas. Se clasifican en estrategias de captación, control y protección: en climas cálidos, se priorizan la ventilación y el sombreado; en fríos, la captación solar y el aislamiento; y en templados, un equilibrio entre ambas. La teoría destaca el papel de la envolvente arquitectónica como mediadora entre el ambiente exterior e interior, así como la relevancia de los materiales y su comportamiento térmico. (Givoni, 1976)

El texto se enmarca en la arquitectura bioclimática y el diseño sostenible, sintetizando conceptos esenciales que sirven de base para formular estrategias adaptadas a diversos contextos climáticos. Su contenido es aplicable a proyectos residenciales, institucionales o comerciales, siempre que parta de un diagnóstico climático detallado.

En el contexto de esta tesis, el documento constituye un referente para la selección y clasificación de estrategias bioclimáticas pasivas según el clima, aportando criterios técnicos que

guiarán la propuesta de intervención para el salón comunal Ágora. Su enfoque en la relación entre envolvente, materiales y comportamiento térmico es particularmente útil para optimizar el confort en climas cálidos como el de Bucaramanga. Todo lo desarrollado en los conceptos será incorporado al marco conceptual (Givoni, 1976).

6.7 Guía de estrategias de diseño bioclimático para el confort térmico.

6.7.1 Guía de estrategias de diseño bioclimático: el documento presenta la relevancia de las estrategias bioclimáticas en el diseño arquitectónico como medio para optimizar el confort térmico, reducir el consumo energético y mejorar la sostenibilidad ambiental. Plantea que la arquitectura debe responder a las condiciones climáticas del lugar, aprovechando recursos naturales —sol, viento, vegetación— e incorporando materiales y técnicas que incrementen el desempeño térmico de los edificios. Se explican conceptos clave como orientación, ventilación natural, masa térmica, aislamiento, sombreado y captación solar pasiva, junto con técnicas específicas adaptadas a climas cálidos, templados y fríos, considerando variables como temperatura, humedad y velocidad del viento. Se resalta que, además de sus beneficios ambientales y económicos, estas estrategias mejoran la calidad de vida de los usuarios (Olgyay, 1963).

Basadas en la climatología aplicada y la física de la construcción, las estrategias bioclimáticas parten de adecuar el diseño arquitectónico a las condiciones climáticas del sitio, minimizando la dependencia de sistemas mecánicos para la climatización. Autores como Victor Olgyay y Baruch Givoni han desarrollado metodologías para analizar el clima y seleccionar estrategias pasivas adecuadas a cada contexto. En climas cálidos y húmedos se prioriza la ventilación y la protección frente a radiación directa; en templados, el equilibrio entre ganancias y pérdidas térmicas; y en fríos, la captación solar y la reducción de pérdidas de calor (Olgyay, 1963).

El texto, inscrito en la arquitectura bioclimática contemporánea, ofrece un compendio de estrategias adaptables a distintos contextos y tipologías, desde viviendas unifamiliares hasta edificios públicos, teniendo en cuenta características locales y culturales. Presenta casos de aplicación como captación solar pasiva en climas fríos, ventilación cruzada en climas cálidos y control estacional en climas templados, constituyéndose en una guía útil para arquitectos, estudiantes y profesionales del diseño sostenible.

En el marco de esta tesis, el documento es un recurso metodológico que aporta criterios técnicos y ejemplos de aplicación para la selección de estrategias bioclimáticas pasivas adaptadas al clima de Bucaramanga. Sus lineamientos servirán de base para proponer soluciones que optimicen el confort térmico del salón comunal *Ágora*, integrando un diseño contextualizado y eficiente. Todo lo desarrollado en los conceptos será incorporado al marco conceptual (Olgyay, 1963).

6.7.2 Marco conceptual

El presente marco conceptual establece las bases teóricas y terminológicas necesarias para el desarrollo del proyecto, cuyo objetivo general es plantear estrategias bioclimáticas pasivas que optimicen el confort térmico en el salón comunal *Ágora* del barrio El Rocío, en Bucaramanga. Este apartado integra conceptos esenciales de la arquitectura bioclimática, la climatología aplicada y el diseño sostenible, garantizando un lenguaje unificado que facilite la comprensión y aplicación de los fundamentos en cada fase del estudio (Olgyay, 1963).

En el contexto de Bucaramanga, ciudad caracterizada por un clima cálido y húmedo, el confort térmico representa un desafío que exige soluciones adaptadas a las condiciones locales. Por ello, los conceptos aquí desarrollados se orientan a la identificación, análisis, dimensionamiento y evaluación de estrategias pasivas que permitan un mejor aprovechamiento de

los recursos naturales, reduciendo el consumo de energía convencional y promoviendo el bienestar de los usuarios.

El marco conceptual se sustenta en teorías y metodologías reconocidas en el campo, como las propuestas por Victor Olgyay y Baruch Givoni, que establecen la relación directa entre variables climáticas, diseño arquitectónico y desempeño térmico. De esta manera, se abordan términos como orientación, ventilación natural, masa térmica, aislamiento, sombreado, captación solar pasiva, envolvente arquitectónica, adaptación climática y fachadas disipadoras de calor, todos ellos vinculados al contexto y objetivos del proyecto (Olgyay, 1963).

En suma, este apartado no solo define y organiza los conceptos clave, sino que también los relaciona con los objetivos específicos del estudio: conceptualizar estrategias bioclimáticas pasivas, analizar las condiciones climatológicas del sitio, modelar el comportamiento térmico del edificio, proponer soluciones adaptadas y evaluar su efectividad. De esta forma, el marco conceptual se convierte en el puente entre la fundamentación teórica y la aplicación práctica en el caso de estudio (Olgyay, 1963).

5.13.1 Arquitectura bioclimática: enfoque de diseño que adapta la edificación a las condiciones climáticas locales para optimizar el confort térmico y la eficiencia energética, priorizando el uso de recursos naturales y minimizando la dependencia de sistemas mecánicos. Este concepto es fundamental para el objetivo general del proyecto, ya que sustenta la formulación de estrategias pasivas adaptadas al salón comunal Ágora (Olgyay, 1963).

5.13.2 Estrategias bioclimáticas pasivas: conjunto de soluciones de diseño que regulan las condiciones térmicas y lumínicas del edificio mediante recursos naturales, sin consumo energético mecánico. Incluyen orientación, ventilación natural, masa térmica, aislamiento, sombreado y

captación solar pasiva. Se relaciona directamente con el objetivo específico de conceptualizar y estudiar estas estrategias como base para la metodología a desarrollar (Olgyay, 1963).

5.13.3 Orientación: disposición del edificio y sus fachadas en relación con el recorrido solar y la dirección predominante del viento, para optimizar la captación de calor o su disipación según el clima. Este concepto es clave para el análisis del sitio y para el diseño de estrategias adaptadas (Givoni, 1976).

5.13.4 Ventilación natural: aprovechamiento del flujo de aire generado por el viento o por diferencias de temperatura para renovar el aire interior y regular la temperatura. Contribuye especialmente en climas cálidos y húmedos, y se vincula al objetivo de proponer estrategias que mejoren el confort térmico del salón comunal.

5.13.5 Masa térmica: capacidad de los materiales para absorber, almacenar y liberar calor, regulando así las fluctuaciones de temperatura interior. Este concepto se relaciona con la selección de materiales y el control de la inercia térmica en el diseño (Givoni, 1976).

5.13.6 Aislamiento térmico: uso de materiales o técnicas constructivas que reducen la transferencia de calor entre el interior y el exterior, manteniendo condiciones estables en el edificio. Aporta al objetivo de dimensionar estrategias que optimicen la eficiencia energética.

5.13.7 Sombreamiento: protección contra la radiación solar directa mediante elementos como aleros, persianas, vegetación o celosías. Es esencial en climas cálidos y se vincula al objetivo de diseñar soluciones pasivas específicas para el contexto del salón comunal (Givoni, 1976).

5.13.8 Captación solar pasiva: aprovechamiento de la radiación solar para generar calor en el interior del edificio, principalmente en climas fríos o templados, mediante orientación y elementos constructivos adecuados. En el proyecto, este concepto es relevante para balancear ganancias y pérdidas térmicas según la temporada.

5.13.9 *Envolvente arquitectónica*: conjunto de elementos que separan el interior del exterior del edificio (fachadas, cubiertas, ventanas, etc.), actuando como mediadora en el intercambio de energía y condiciones ambientales. Es fundamental para integrar de forma coherente todas las estrategias pasivas (Givoni, 1976).

5.13.10 *Adaptación climática del diseño*: proceso de ajustar las soluciones arquitectónicas a las características específicas del clima, la geografía y la cultura del lugar. Este concepto se relaciona con el objetivo de desarrollar una metodología flexible y replicable.

5.13.11 *Climatología aplicada*: estudio de las variables climáticas (temperatura, humedad, radiación solar, viento) para definir criterios de diseño. Es la base para el objetivo específico de analizar las características climatológicas del entorno.

5.13.12 *Fachadas disipadoras de calor*: diseños de envolventes que reducen la acumulación de calor y favorecen su liberación, mediante ventilación, sombreado o materiales de baja conductividad térmica. Este concepto se vincula al objetivo de proponer y dimensionar soluciones pasivas para climas cálidos (Givoni, 1976).

6.7.3 Marco legal

De acuerdo con la *Resolución 549 de 2015*, la *calidad del ambiente interior* constituye un componente esencial para garantizar el bienestar de los ocupantes, al abarcar factores que influyen directamente en la salud, la comodidad y la productividad. Entre estos, el confort térmico ocupa un lugar central, pues las condiciones de temperatura, humedad y circulación del aire determinan la percepción de habitabilidad de los espacios. La incorporación de estrategias pasivas de diseño —como la orientación óptima, el uso de materiales con propiedades térmicas adecuadas y la ventilación natural— no solo asegura dicho confort, sino que también favorece la eficiencia

energética y la sostenibilidad, principios expresamente promovidos por la resolución (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2015).

En este contexto, el concepto de *Relación de Ventana a Pared* (RVP) y las características de las superficies vidriadas adquieren especial relevancia, dado que influyen directamente en las ganancias y pérdidas térmicas de un edificio. Una RVP elevada o un vidrio con baja resistencia térmica puede incrementar significativamente las cargas térmicas internas, elevando la temperatura en climas cálidos o favoreciendo la pérdida de calor en climas fríos. Por ello, el diseño arquitectónico debe contemplar estrategias que regulen la radiación solar incidente, aplicando sistemas de control solar que actúen en los periodos del día en que la temperatura interior tienda a superar el rango de confort. Dichos sistemas deben ser diseñados de forma tal que no comprometan la ganancia solar útil en momentos donde esta sea beneficiosa (Szokolay, 1986).

El contenido de la *Resolución 549 de 2015* enfatiza la implementación de medidas de control solar como mecanismo para mantener la temperatura interna dentro de la zona de confort. Este enfoque coincide con el criterio prioritario del presente proyecto, ya que la regulación de la radiación solar es determinante para conservar el confort térmico y, de manera indirecta, optimizar la calidad del aire interior. El diseño de protecciones solares adecuadas evita el sobrecalentamiento sin sacrificar la iluminación natural ni los beneficios energéticos que aporta el sol en otros momentos del día (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2015).

Por su parte, la norma *ASHRAE 55-2020* establece los parámetros ambientales térmicos aplicables a distintos espacios interiores, considerando tanto factores propios del ocupante —tasa metabólica y aislamiento térmico de la vestimenta— como condiciones del entorno —temperatura del aire, temperatura radiante, velocidad del aire y humedad relativa—. En su anexo informativo

H, la norma presenta una escala de sensación térmica que facilita la evaluación del nivel de confort en un espacio. De acuerdo con este criterio, el confort térmico se determina mediante el cálculo del índice *Predicted Mean Vote* (PMV), cuyo rango óptimo se sitúa entre las percepciones de *ligeramente frío* y *ligeramente cálido*, lo que representa el nivel de aceptación térmica de la mayoría de los ocupantes (ASHRAE, 2020).

Figura 1. Aceptación térmica



Tomado de (Olgay, 1963)

Esta escala se fundamenta en el método evaluativo propuesto por Fanger, adoptado por la presente norma y por la ISO 7730, el cual cuantifica el confort térmico y resulta particularmente útil para el análisis del Ágora. En este proyecto, dicho método se implementará mediante el software especializado *DesignBuilder*, que permite realizar simulaciones térmicas detalladas. Además del cálculo del índice PMV, la herramienta genera un gráfico que representa la evolución horaria de este indicador a lo largo del día, lo que posibilita analizar el comportamiento térmico del Ágora y su correspondencia con la escala establecida por la norma.

- *Análisis del POT:* en este capítulo se presenta un examen de la normativa contenida en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) aplicable al edificio objeto de estudio: el Ágora El Rocío, ubicado en la Calle 105A No. 16-95, barrio García Rovira, municipio de Bucaramanga. El objetivo es identificar las disposiciones vigentes y las restricciones que podrían influir en intervenciones futuras. Esta información resulta esencial para seleccionar estrategias pasivas que optimicen el confort térmico, verificando que cumplan con los lineamientos del POT (Alcaldía de Bucaramanga, 2014).

El Ágora El Rocío se localiza en la comuna 11 (Sur) de Bucaramanga, en un sector clasificado por el POT como suelo urbano y de protección. Dentro de las áreas de actividad, el predio se encuentra en una zona residencial con actividad económica y de servicios localizados, lo que permite el uso complementario dotacional. Este uso abarca edificaciones destinadas a actividades educativas, culturales, deportivas, administrativas, de salud, de servicios públicos y otros equipamientos colectivos. En este marco, el Ágora El Rocío se clasifica como un equipamiento colectivo, orientado a facilitar encuentros e interacciones sociales que promueven la participación ciudadana y el desarrollo comunitario (Alcaldía de Bucaramanga, 2014).

Según la normativa urbanística y el análisis demográfico del POT, el inmueble cuenta con un índice de ocupación máximo de 0,7. Considerando el tamaño del lote, la densidad poblacional y las alturas permitidas, el índice de construcción aplicable es de 3,0, con una altura máxima autorizada de cinco pisos.

En términos de movilidad, el POT establece que el acceso al Ágora se realiza mediante una vía arterial secundaria, lo que implica una conexión con un corredor de alto flujo e importancia para la ciudad.

Este análisis normativo garantiza que las intervenciones propuestas no solo sean legalmente viables, sino que también estén alineadas con los objetivos de desarrollo urbano sostenible y de planificación territorial, favoreciendo un entorno construido que respete las regulaciones locales y satisfaga las necesidades de confort térmico de los usuarios del Ágora El Rocío (Alcaldía de Bucaramanga, 2014).

- *Marco físico-espacial:* el Ágora El Rocío, ubicado en la Calle 105A No. 16-95, barrio García Rovira, pertenece a la comuna Sur del municipio de Bucaramanga. Su función principal es facilitar interacciones sociales y actividades comunitarias que estimulen la participación ciudadana y el fortalecimiento del tejido social, lo que refuerza su carácter público (Alcaldía de Bucaramanga, 2014).

El edificio cuenta con dos niveles. La planta baja alberga el salón principal (140 m²), tarima (13,5 m²), cocina (5,8 m²), bodega 1 (6,1 m²), baño de hombres (5,3 m²), baño de mujeres (5,3 m²), bodega 2 (10,7 m²) y un espacio urbano cerrado (285 m²). En estas áreas se desarrollan la mayoría de las actividades, como clases de danza, reuniones de adultos mayores, eventos sociales, puntos de información, entre otras. La segunda planta se destina a la oficina administrativa (10,5 m²), donde se gestionan las actividades y el funcionamiento del Ágora (Alcaldía de Bucaramanga, Secretaría de Planeación y Obras Públicas, 2022).

En materia de confort térmico, el edificio presenta una transmitancia térmica elevada, lo que genera variaciones extremas de temperatura interior en función de las condiciones externas. Cuando la temperatura exterior es baja, el inmueble no conserva el calor, y cuando es alta, no logró aislarlo. Esto se debe principalmente a la presencia de múltiples perforaciones sin cerramientos adecuados y a la utilización de materiales sin propiedades térmicas apropiadas, lo que favorece una

rápida adaptación de la temperatura interior a las condiciones ambientales (Alcaldía de Bucaramanga, Secretaría de Planeación y Obras Públicas, 2022)..

Además, se identifican deficiencias en accesibilidad, ya que no cuenta con espacios adaptados para personas con movilidad reducida, particularmente en el acceso a los baños, que carecen de instalaciones inclusivas.

En síntesis, el Ágora El Rocío enfrenta desafíos significativos en términos de confort térmico y de accesibilidad, lo que limita su efectividad como espacio comunitario. La selección de este inmueble como objeto de estudio se justifica por su relevancia social y por las problemáticas detectadas. El proyecto propone la implementación de estrategias bioclimáticas pasivas que optimicen las condiciones térmicas y mejoren la habitabilidad del espacio (Alcaldía de Bucaramanga, 2014).

Un diagnóstico integral revela que, si bien el Ágora posee un alto potencial para fomentar la interacción social, sus limitaciones estructurales y funcionales afectan su aprovechamiento. La adopción de soluciones técnicas adecuadas no solo permitiría alcanzar niveles óptimos de confort térmico, sino que también impulsaría la revitalización de este equipamiento como punto de encuentro clave para la comunidad (Alcaldía de Bucaramanga, 2014).

7. Estudio Previo

Antes de desarrollar la metodología, se llevó a cabo un Estudio Previo, el cual se dividió en dos etapas: la primera corresponde al proceso de diseño metodológico, y la segunda a la selección del caso de estudio. A continuación, se describen cada una de ellas en detalle:

7.1 Proceso de diseño metodológico: el método utilizado en este proyecto de grado surge a partir del análisis crítico de ocho proyectos arquitectónicos, entre los cuales destacan, la *Metodología*

de Diseño Bioclimático: El análisis climático y el Análisis energético de un edificio de oficinas en DesignBuilder, entre otros. Esto con el propósito de desarrollar una propuesta metodológica para ser una herramienta base desarrollada en el contexto colombiano, respondiendo a las particularidades climáticas y bioclimáticas del país (Manzano, et al, 2015).

La propuesta metodológica se llevó a cabo mediante 4 Etapas, en las cuales se explica que se hace en cada una y su relevancia en el proyecto, además la elaboración de cuadros comparativos en cada etapa con el fin de facilitar la lectura de lo que previamente se está diciendo.

- La estructura de estas Etapas nos permite:
- Etapa 1: Tener un contexto de los 8 proyectos analizados (Nombre del proyecto, enfoque y propósito)
- Etapa 2: Detectar similitudes y diferencias entre las metodologías desarrolladas de cada proyecto.
- Etapa 3: Clasificar el tipo de fase y su relevancia en cada metodología desarrollada.
- Etapa 4: Una propuesta metodológica, con fases, subfases y el propósito de cada una de ellas (Manzano, et al, 2015).
- ***Etapas. Etapa 1:***

Esta primera etapa es una contextualización general de cada proyecto analizado, incluye el nombre del proyecto arquitectónico a analizar, su enfoque, su propósito y el número con el que se clasifica el proyecto (Manzano, et al, 2015)..

Se resalta que en esta primera etapa la mayoría o si no todos, pretenden evaluar o medir el confort térmico y el análisis climatológico.

Tabla 1. *Contextualización de Proyectos*

<i>Proyecto</i>	<i>Contextualización de Proyectos</i>		<i>Número de proyecto</i>
	<i>Enfoque</i>	<i>Propósito</i>	
Metodología de diseño bioclimático el análisis climático	Análisis climático	Apoyar en el diseño bioclimático general para la determinación de estrategias básicas de diseño.	1
Estrategias bioclimáticas pasivas para el confort térmico en ciudades amazónicas	Análisis del Confort térmico	Maximizar la relación entre el confort térmico y la ocupación del espacio público mediante la aplicación de estrategias que mejoren la interacción de los usuarios con su entorno.	2
Simulación de estrategias bioclimáticas específicas para recuperar diseños valiosos en la arquitectura vernácula.	Estudio de estrategias bioclimáticas	Evaluar la eficiencia energética que aportan las estrategias bioclimáticas en las viviendas vernáculas.	3
Análisis energético de un edificio de oficinas en Design Builder	Análisis energético	Estudiar el comportamiento energético de un edificio de oficinas y las propuestas con vistas a mejorar la eficiencia energética del edificio.	4
Análisis del confort térmico en escuela modelo de la sierra peruana y evaluación de mejoramiento térmico mediante el uso de principios bioclimáticos	Análisis del Confort térmico	La evaluación del confort térmico de una escuela tipo Sierra ubicada en el departamento de Cusco	5
Análisis del confort humano (confort térmico, lumínico y acústico) en viviendas de interés social. caso de estudio: virgen de Guadalupe, picoazá	Análisis del confort humano	Analizar el nivel de confort humano dentro del conjunto habitacional, identificando el grado de confort térmico, acústico y lumínico.	6
Adaptación de una vivienda pro.cre.ar a una vivienda bioclimática en la ciudad de rauch, provincia de buenos aires	Análisis del confort térmico	La construcción edilicia es proveer de condiciones de habitabilidad adecuadas, estables y permanentes priorizando el confort higrotérmico interior que es imprescindible para la actividad humana.	7
Análisis comparativo del comportamiento térmico de dos edificios en clima cálido y húmedo. caso de estudio: hotel mi california	Análisis del confort térmico	Mejorar las condiciones actuales del edificio, teniendo en cuenta su comportamiento térmico y las condiciones climáticas en las que se encuentra.	8

- *Etapa 2:* en esta segunda etapa se realizó un cuadro comparativo para adentrarnos a las fases de cada metodología aplicada en su respectivo proyecto, es decir, de cada proyecto se saca, el número de fases dentro de la metodología aplicada y cuál es el

nombre de estas fases. Esto con el propósito de detectar las similitudes y diferencias entre las metodologías con respecto a sus fases desarrolladas (Manzano, et al, 2015).

Se resalta que en esta segunda etapa la mayoría de las metodologías, tienen un total de 5 fases dentro de su desarrollo, y que solo unas pocas llegan a completar 6 fases.

Tabla 2. *Similitudes y Diferencias entre Metodologías*

<i>Similitudes y Diferencias entre las Metodologías</i>							
<i># proyecto</i>	<i># de fases</i>	<i>Fase 1</i>	<i>Fase 2</i>	<i>Fase 3</i>	<i>Fase 4</i>	<i>Fase 5</i>	<i>Fase 6</i>
1	6	Análisis del sitio y del entorno	Análisis del usuario	Definición de estrategias de diseño	Definición de conceptos de diseño bioclimático	Anteproyecto	Conclusiones
2	5	Análisis del sitio	Modelado	Datos climáticos	Análisis	Resultados	N/A
3	6	Análisis del sitio	Datos climáticos	Análisis de materiales de construcción	Modelado	Resultados	Conclusiones
4	6	Definición del objetivo	Análisis del sitio	Modelado del edificio	Definición de estrategias de diseño.	Simulación	Análisis económico
5	6	Propuesta metodológica	Análisis del sitio	Simulación térmica	Resultados y su discusión	Análisis del confort interno	Conclusiones
6	3	Datos climatológicos	Simulación	Encuesta	N/A	N/A	N/A
7	5	Análisis de sitio	Evaluación de indicadores edificios	Definición de estrategias	Simulación	Conclusiones	N/A
8	5	Análisis comparativo de las metodologías	Identificación de estrategias bioclimáticas	Análisis del edificio y su entorno	Simulación	Análisis	N/A

- *Etapa 3:* ya en la tercera etapa, se crea un cuadro comparativo para analizar más de cerca cada fase de la metodología. Esto se hizo para clasificar las fases entre el tipo de fase (fase

duplicada o exclusiva) y la relevancia de la fase (fase crítica, complementaria o prescindible) en cada metodología desarrollada (Manzano, et al, 2015).

Se resalta que, en esta tercera etapa, la fase de *Análisis del sitio y del entorno*, es la fase más duplicada dentro de las 8 metodologías analizadas, comprendiendo así, como una de las fases más importantes o las más importante de las metodologías analizadas.

Tabla 3. Clasificación de Fases

Clasificación de Fases						
Nombre de Fase	Orden dentro de la metodología	Fase duplicada	Fase exclusiva	Fase Crítica	Fase Complementaria	Fase Prescindible
Análisis del sitio y del entorno	(4 veces en fase 1), (2 veces en fase 2), (1 vez en fase 3)	7 veces		X		
Análisis del usuario	fase 2		X	X		
Definición de estrategias bioclimáticas	(1 vez – fase 2), (2 veces – fase 3), (1 vez – f4)	4 veces		X		
Definición de conceptos de diseño bioclimático	f4		X	X		
Modelado	(1 vez – f2), (1 vez – f3), (1 vez – f4)	3 veces		X		

Datos climáticos	(1 vez – f1), (1 vez – f2), (1 vez – f3)	3 veces		X		
Análisis	(1 vez – f4), (2 veces – f5)	3 veces		X		
Resultados	(1 vez – f4), (2 veces – f5)	3 veces		X		
Análisis de materiales de construcción	f3		X	X		
Conclusiones	(1 vez – f5), (3 veces – f6)	4 veces		X		
Definición del objetivo	f1		X			X
Simulación	(1 vez – f2), (1 vez – f3), (2 veces – f4), (1 vez – f5)	5 veces		X		
Análisis económico	f6		X			X
Propuesta metodológica	f1		X	X		
Encuesta	f3		X		X	
Evaluación de indicadores edilicios	f2		X			X
Análisis comparativo de las metodologías	f1		X	X		

Nota: Elaboración propia

- **Etapa 4:** finalmente, basándonos en el análisis previo de metodologías y sus fases, decidimos desarrollar una propuesta metodológica que servirá como base para nuestro proyecto.

Identificando lo esencial para nuestro proyecto, tomamos la decisión de establecer 5 fases principales, tales como, Fase 1: Conceptualización Bioclimática, Fase 2: Análisis Contextual, Fase 3: Evaluación de Línea Base, Fase 4: Optimización y Validación y Fase 5: Conclusión. De estas fases también establecimos las sub fases para el desarrollo de proyecto, las cuales son, Subfase 1: Comprensión de conceptos y estrategias bioclimáticas, Subfase 2: Análisis del sitio y del entorno, Subfase 3: Análisis del usuario, Subfase 4: Modelado de línea base, Subfase 5: Simulación inicial, Subfase 6: Análisis de resultados de línea base y simulación inicial, Subfase 7: Dimensionamientos de estrategias bioclimáticas, Subfase 8: Simulación final, Subfase 9: Análisis comparativo de resultados y Subfase 10: Conclusiones (Manzano, et al, 2015).

Al igual, en cada fase establecimos el propósito que tiene en el desarrollo de nuestra propuesta metodológica, ^{todo} esto con el fin de mantener un orden general en el proyecto, alineado con los 5 objetivos que planteamos previamente.

Tabla 4. Propuesta Metodológica

Propuesta Metodológica			
Orden	Fase	Sub - fase	Propósito
1	Conceptualización Bioclimática	1. Comprensión de conceptos y estrategias bioclimáticas	Comprender mejor los principios bioclimáticos y las estrategias pasivas de diseño mediante la revisión de libros, tesis, artículos y otras fuentes confiables. Con esto se busca construir una base teórica sólida que sirva de guía para las decisiones proyectuales relacionadas con el confort térmico

2	Análisis Contextual	2. Análisis del sitio y del entorno	Comprender las condiciones físicas y climáticas del entorno, así como las necesidades y comportamientos del usuario, para establecer una base de diseño coherente con el contexto y las expectativas del proyecto.
		3. Análisis del usuario	
3	Evaluación de Línea Base	4. Modelado de línea base	Evaluar el comportamiento térmico actual del edificio a través del modelado y la simulación de la línea base. A partir de los resultados obtenidos, se identifican problemáticas relacionadas con el confort térmico y se establecen los parámetros iniciales que servirán como punto de comparación para futuras mejoras en el diseño.
		5. Simulación inicial	
		6. Análisis de resultados de línea base y simulación inicial	
4	Optimización y Validación	7. Dimensionamientos de estrategias bioclimáticas	Aplicar y dimensionar estrategias bioclimáticas seleccionadas, simular su impacto en el comportamiento del edificio y validar su efectividad. A través del análisis de resultados finales, se ajustan las propuestas para optimizar el confort térmico, consolidando así una solución proyectual adecuada.
		8. Simulación final	
		9. Análisis comparativo de resultados	
5	Conclusión	10. Conclusiones	Reflexionar sobre los resultados obtenidos a lo largo del proceso, identificando los logros alcanzados en términos de confort térmico, así como los aprendizajes derivados del análisis, simulación y aplicación de estrategias bioclimáticas. Esta fase permite cerrar el ciclo metodológico.

Nota: Elaboración propia

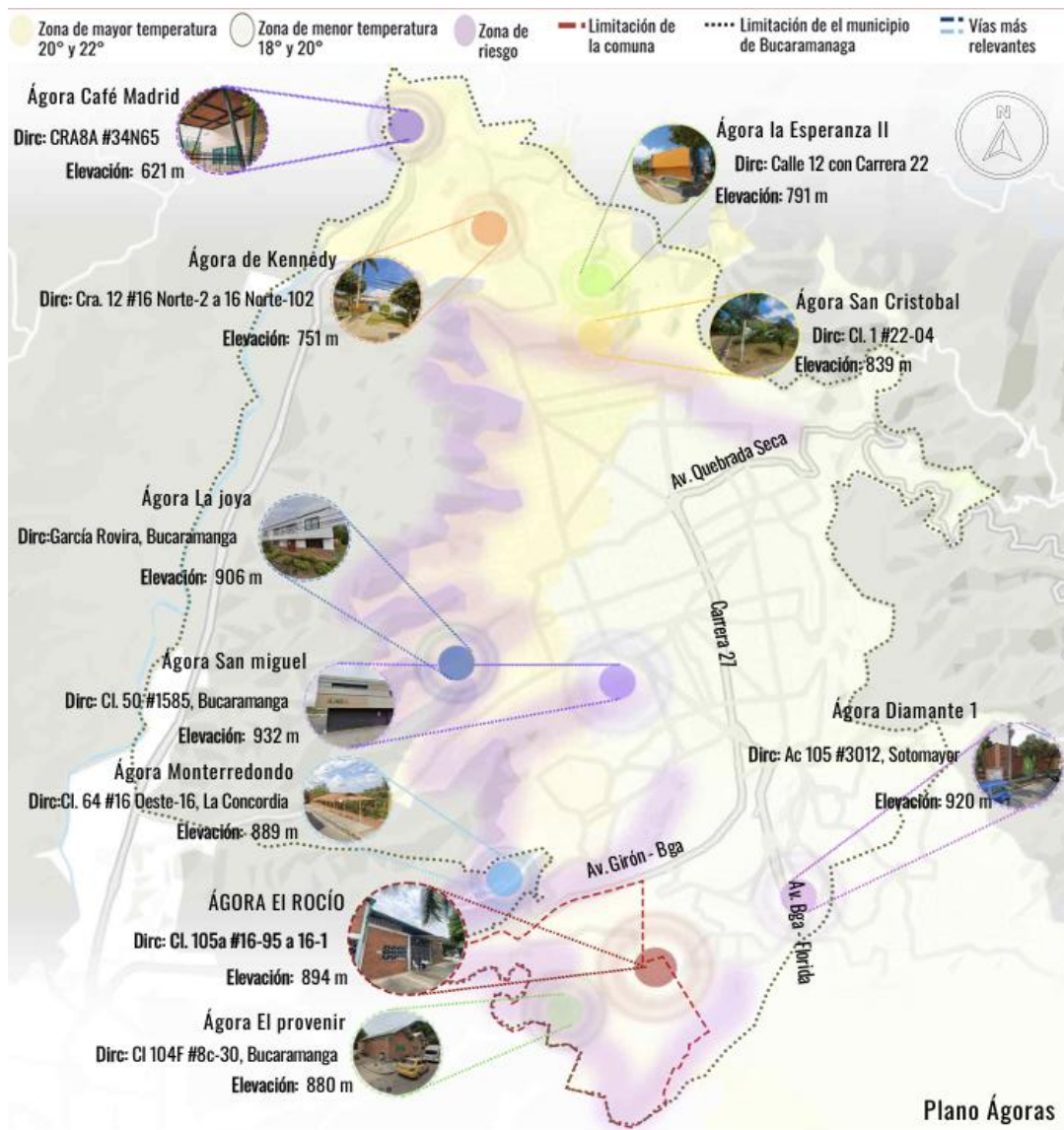
- **Selección del caso de estudio (el edificio):** antes del desarrollo de la metodología propuesta, se llevó a cabo la selección del caso de estudio en el cual se aplicaría y desarrollaría dicha metodología. La primera decisión consistió en escoger un edificio

público de baja escala, específicamente un ágora, por su carácter comunitario y su relevancia dentro del tejido urbano. Para determinar cuál sería seleccionada como objeto de estudio, se realizó un análisis comparativo de las ágoras activas del municipio de Bucaramanga, evaluando sus condiciones y potencial para la aplicación de estrategias bioclimáticas (Manzano, et al, 2015).

- ***Factores de un Ágora como objeto de estudio:*** Para la selección del ágora como objeto de estudio, se establecieron una serie de factores determinantes que permitieron enfocar el análisis desde una perspectiva urbana, social y bioclimática:
 - Carácter público y comunitario
 - Escala e influencia urbana
 - Actividad vigente en Bucaramanga
 - Presencia de modificaciones previas
 - Orientación del edificio
 - Normativa y viabilidad de intervención

Posteriormente, se identificaron las ágoras activas del municipio de Bucaramanga con el propósito de evaluarlas a partir de los factores previamente establecidos. A través de este proceso de análisis y filtrado, se seleccionó aquella que presentó las condiciones más adecuadas para el desarrollo y aplicación de la metodología propuesta (Manzano, et al, 2015).

Figura 2. *Plano de ágoras activas en el municipio de Bucaramanga*



NOMBRE	COMUNA	BARRIO	ESTRATO	ACTIVIDADES	REMODELACIÓN	ZONA DE RIESGO	ORIENTACIÓN
Ágora Café Madrid	1 - norte	Café Madrid	1	Clases de danza, música, artes, etc.	SÍ	NO	↻
Ágora Kennedy	1 - norte	Kennedy	2	Presentaciones de música, cine.	SÍ	NO	↻
Ágora la esperanza	2 - nororiental	La esperanza II	2	Presentaciones de música, teatro, etc.	NO	SÍ	↻
Ágora San Cristóbal	2 - nororiental	San Cristóbal	2	Eventos culturales de música, etc.	NO	SÍ	↻
Ágora la joya	5 - García Rovira	La joya	3	Talleres culturales y artísticos, etc.	NO	SÍ	↻
Ágora San miguel	6 - la concordia	San miguel	3	Actualmente no se realiza nada	SÍ	SÍ	↻
Ágora monterredondo	17- mutis	Monterredondo	3	Actualmente no se realiza nada	NO	NO	↻
Ágora Diamante	9 - la pedregosa	Diamante 1	4	Talleres para niños como pintura	SÍ	NO	↻
Ágora el Rocío	11- sur	El rocío	3	Exposiciones Artísticas, Cine Foro, etc.	SÍ	NO	↻
Ágora el porvenir	11- sur	El porvenir	3	Punto de servicios municipales	NO	SÍ	↻

Nota: (Alcaldía de Bucaramanga, 2019)

- **El Ágora:** después de revisar los factores establecidos, se elige al Ágora del rocío como objeto de estudio, que se localiza en la ciudad de Bucaramanga, departamento de Santander, dentro de la comuna 11, también denominada comuna Sur. Esta unidad territorial comprende aproximadamente quince barrios, entre los cuales se destaca el barrio El Rocío (Alcaldía de Bucaramanga, 2022).

8. Metodología

8.1 Fase 1: Conceptualización Bioclimática: El propósito de esta fase es comprender mejor los principios bioclimáticos y las estrategias pasivas de diseño mediante la revisión de libros, tesis, artículos y otras fuentes confiables. Con esto se busca construir una base teórica sólida que sirva de guía para las decisiones proyectuales relacionadas con el confort térmico (Olgyay, 1963).

- *Sub - fases:*
- *Comprensión de conceptos y estrategias bioclimáticas*

Identificar, seleccionar y analizar literatura especializada en diseño bioclimático y con énfasis en el confort térmico:

- *Recurso:* Acceso a bases de datos académicas y repositorios en línea que contengan literatura actualizada y relevante en el campo de la bioclimática.
- **Resultado:** Fundamentar el proyecto a través del estudio de literatura especializada en diseño bioclimático, con un enfoque particular en el confort térmico.
- Definir conceptos arquitectónicos en general, de confort térmico y diseño bioclimático:
- **Recurso:** Documentos anteriormente identificados y analizados. (De los documentos extraen los conceptos que se van a utilizar)

- **Resultado:** Fundamentar el proyecto a través del estudio de literatura especializada en diseño bioclimático, con un enfoque particular en el confort térmico (Szokolay, 1986).
- *Lectura de fundamentos teóricos sobre confort térmico y acondicionamiento pasivo:*
- *Recurso:*
- Capítulo 5 de Diseño con el clima – Victor Olgyay
- Capítulos 3 y 4 del Manual de diseño bioclimático – Baruch Givoni
- Cuadros de estrategias del Manual de diseño bioclimático – Szokolay (Szokolay, 1986).
- *Resultado:* Comprender los factores que afectan el confort térmico (temperatura, humedad, radiación, ventilación).
- Análisis de caso real aplicado a estrategias pasivas en climas similares:
- *Recurso:* Estudio de caso: “Arquitectura bioclimática aplicada a viviendas del programa Pro.cre.ar” – Repositorio CONICET Digital
- *Resultado:* Identificar estrategias aplicadas en contextos reales, evaluar su eficacia y extraer aprendizajes útiles para el proyecto propio, reconociendo aciertos y limitaciones.

8.2 *Fase 2: Análisis Contextual:* Esta fase tiene como propósito comprender las condiciones físicas y climáticas del entorno, así como las necesidades y comportamientos del usuario, para establecer una base de diseño coherente con el contexto y las expectativas del proyecto (Szokolay, 1986).

- Sub - fases:
- Análisis del sitio y del entorno
- Condiciones geomorfológicas:

Tipo y características del terreno, como la pendiente y la altura. Orientación y forma del terreno

- *Recurso:* Levantamientos topográficos, imágenes satelitales de alta resolución, mapas y datos geográficos. (Google earth)
- *Resultado:* Plano de localización macro - meso - micro, para entender y orientar decisiones de diseño bioclimático.
- *Radiación solar:* Intensidad y duración de la radiación solar en diferentes estaciones. Distribución de radiación directa y difusa a lo largo del día y del año. Ángulos de incidencia solar. Insolación, horas de luz solar aprovechables (Givoni, 1976).

Recurso: Herramientas en línea: Andrew Marsh – Sun path 3D Y CBE Thermal Comfort Tool

- *Resultado:* Datos cuantitativos (gráficos y tablas) y simulaciones visuales (diagramas solares) con el fin de analizar la intensidad, duración y distribución de la radiación solar para optimizar la orientación, el diseño de protecciones solares y la captación de calor.
- *Temperatura:* temperatura promedio y extremos (máximos, medios y mínimos). Amplitud térmica diaria y estacional.
- *Recurso:* Herramienta en línea: CBE Thermal Comfort Tool
- *Resultado:* Datos cuantitativos (gráficos y tablas) con el fin de entender las variaciones térmicas y definir estrategias de diseño bioclimático que mejoren el confort térmico.
- *Precipitaciones:* cantidad anual de precipitaciones y su distribución estacional.

- *Recurso:* Condiciones climáticas promedio registradas por estaciones meteorológicas (IDEAM) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)
- *Resultado:* Datos cuantitativos (gráficos) con el fin de conocer la cantidad y distribución estacional de las precipitaciones para diseñar estrategias de protección contra la humedad y controlar la infiltración de agua.
- *Vientos:* dirección y velocidad de los vientos predominantes. Frecuencia e intensidad del viento en cada estación.
- *Recurso:* Herramienta en línea: CBE Thermal Comfort Tool
- *Resultado:* Datos cuantitativos (gráficos), con el fin de entender cómo la dirección, velocidad y frecuencia de los vientos afectan el entorno para diseñar estrategias de ventilación natural, protección contra vientos fuertes y control de corrientes de aire.
- *Humedad relativa:* niveles promedio de humedad relativa y sus variaciones estacionales.
- *Recurso:* Herramienta en línea: CBE Thermal Comfort Tool
- *Resultado:* Datos cuantitativos (gráficos y tablas), con el fin de conocer los niveles promedio y las variaciones estacionales de humedad relativa para diseñar estrategias de ventilación, deshumidificación o humidificación (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022).
- *Tipo de especies animales locales:* **Recurso:** Revisión de inventarios y base de datos de biodiversidad locales.

- *Resultado:* Identificar y analizar la presencia de especies animales locales para evaluar su relación con el entorno y su posible interacción con el proyecto arquitectónico.
- *Tipos de vegetación presentes:* compatibilidad de la flora local con estrategias de confort y eficiencia energética, como el uso de plantas.
- *Recurso:* Inventario de Vegetación Local: Creación de un catálogo de las especies vegetales presentes.
- *Resultado:* Identificar y catalogar la vegetación local para evaluar su compatibilidad con estrategias de confort térmico y eficiencia energética en el diseño arquitectónico.
- *Análisis de la normativa:* sistemas de transporte y accesibilidad del lugar. Sistemas de vías y perfiles viales. Áreas de actividad, equipamientos urbanos y espacio público. Uso del suelo y edificabilidad, restricciones ambientales.
- *Recurso:* Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) y Plan de ordenamiento territorial (POT) (Comité Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, 2017)
- *Resultado:* Garantizar que el proyecto sea viable desde el punto de vista normativo y urbano, asegurando su correcta integración con la ciudad y evitando problemas legales en su desarrollo.
- *Tipos de materiales del edificio:* Se realizará un análisis general del edificio existente para identificar los tipos de materiales que componen su envolvente (muros, techos, pisos, ventanas) y registrar sus propiedades térmicas, especialmente la conductividad térmica, para luego realizar una propuesta de materiales.

- *Recurso:* Norma Técnica Colombiana NTC 4595 – Materiales de construcción sostenibles, ASHRAE Standard 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (Define alturas estándar para mediciones y métodos de evaluación in situ). Norma ISO 7726 – Instrumentos para medir las condiciones físicas del ambiente térmico (Define cómo usar correctamente termómetros, higrómetros, anemómetros y luxómetros, incluyendo su calibración y posición) (Comité Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, 2017).
- *Resultado:* Evaluar el comportamiento térmico real del edificio y verificar si los materiales actuales favorecen o dificultan el confort térmico y el diseño bioclimático (Comité Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, 2017).

- *Análisis del usuario*
- *Análisis del tipo de usuario y perfil de ocupación del edificio:* identificar quiénes son los principales usuarios del espacio, considerando aspectos como edad, género, condición física y número estimado de personas que utilizan el edificio, tanto de forma habitual como ocasional.
- *Recurso:* Estadísticas demográficas del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), incluyendo el Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 y proyecciones poblacionales actuales (Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, 2019).
- Observación directa y registros de uso del espacio
- *Resultado:* Comprender el perfil de los usuarios y su relación con el espacio, lo que permite diseñar soluciones adaptadas a las características y necesidades reales de la comunidad,

promoviendo un entorno inclusivo y accesible para todos los grupos etarios y sociales (Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, 2019).

- *Análisis de confort térmico mediante el arropamiento:* analizar el nivel de aislamiento térmico de la vestimenta (clo) según la norma ISO 7733, considerando las condiciones climáticas tropicales de Bucaramanga y la observación del vestuario habitual de los habitantes. Este análisis permitió definir valores de arropamiento representativos del contexto local para su aplicación en la simulación.
- *Recurso:* Observaciones en campo y norma ISO 7733
- *Resultado:* Valores de arropamiento (clo) acordes al clima y hábitos locales.

- *Análisis de la normativa en cuanto al confort humano en el edificio:* comparar los datos obtenidos con los rangos de confort definidos por normas reconocidas y utilizar estos datos como referencia para determinar si el espacio cumple con los parámetros deseables de confort o si presenta deficiencias (ASHRAE, 2020).
- *Recurso:* ASHRAE 55 (para confort térmico). ISO 8995 (para niveles de iluminación). ISO 7726 (para condiciones del ambiente térmico)
- *Resultado:* Identificar posibles deficiencias y justifica la necesidad de aplicar mejoras o estrategias de adaptación que optimicen el confort humano dentro del espacio arquitectónico.

8.3 Fase 3: Evaluación De Línea Base: Esta fase tiene como propósito evaluar el comportamiento térmico actual del edificio a través del modelado y la simulación de la línea base. A partir de los resultados obtenidos, se identifican problemáticas relacionadas con el confort

térmico y se establecen los parámetros iniciales que servirán como punto de comparación para futuras mejoras en el diseño (Crawley, Lawrie, & Winkelmann, 2001).

- *Sub - fases:*
- *Modelado de línea base*
- *Levantamiento del edificio:*
- *Recurso:* Acceso a la edificación, para la toma de las medidas
- *Resultado:* Material base para la construcción del modelo tridimensional del edificio existente.
- Reunión del material base y construcción del modelo 3D en Revit:
- *Recurso:* Planos técnicos levantados en campo y software Revit
- *Resultado:* Modelo tridimensional preciso del edificio existente, apto para su uso en las simulaciones térmicas.
- *Simulación inicial*
- *Configuración de condiciones climáticas y de ocupación:*

Ingresar al modelo en Design Builder y cargar los datos climáticos del sitio (archivo EPW) y definir patrones de uso, ajustar valores de localización, ajustar valores de materialidad del edificio, y su actividad metabólica (DesignBuilder Software Ltd, 2021).

- *Recurso:* Archivo climático de Bucaramanga (.epw), datos de ocupación definidos previamente, parámetros de confort térmico, información sobre materiales y actividad interna del edificio.
- *Resultado:* Obtener un modelo configurado con condiciones reales del contexto climático, constructivo y de uso, apto para realizar simulaciones térmicas precisas.

- *Instalación y configuración del software DesignBuilder con EnergyPlus:* se procede a la descarga, instalación y configuración del software DesignBuilder, junto con la instalación del motor de simulación EnergyPlus, necesario para el análisis del confort térmico en edificaciones (DesignBuilder Software Ltd, 2021).
- *Recurso:* Instalador de DesignBuilder + instalación de EnergyPlus compatible.
- *Resultado:* Software listo para realizar simulaciones térmicas y energéticas a partir de datos arquitectónicos definidos directamente en DesignBuilder o importados desde otros formatos compatibles.

- *Modelado del edificio en el simulador:* Diseñar el modelo tridimensional del edificio en el software Design Builder, incluyendo la geometría, orientación, niveles, cerramientos, vanos y zonificación de espacios, con base en los planos existentes y el levantamiento previo (DesignBuilder Software Ltd, 2021).
- *Recurso:* Planos arquitectónicos del edificio (Levantamiento previamente realizado en Revit), información del levantamiento físico y herramientas de modelado de Design Builder.
- *Resultado:* Obtener una representación digital fiel del edificio que servirá como base para las simulaciones térmicas.
- *Ajuste de actividades por espacio en el simulador:* asignar a cada zona del modelo las actividades correspondientes, ajustando parámetros como carga metabólica, horarios de uso, densidad de ocupación y caudal de aire, según la función real de cada espacio (reuniones, circulación, oficinas, etc.).

- *Recurso:* Modelado previo en DesignBuilder. Información sobre el uso del edificio y características funcionales de cada espacio. Valores estándar definidos por ASHRAE y el software DesignBuilder (DesignBuilder Software Ltd, 2021).
- *Resultado:* Contar con un modelo térmico realista y adaptado al uso específico de cada espacio, lo que permite obtener resultados más precisos en las simulaciones de confort.
 - **Análisis de resultados de línea base y simulación inicial:** *Identificación de oportunidades de intervención urbana, funcional, formal y técnica:* realizar un análisis integral del edificio y su entorno considerando aspectos técnicos (materiales, aislamiento, sistemas), urbanos (accesibilidad, relación con el contexto), funcionales (uso y distribución de espacios) y formales (orientación, forma y volúmenes), para detectar zonas con potencial de mejora (DesignBuilder Software Ltd, 2021).
- *Recurso:* Observaciones del entorno urbano, levantamiento arquitectónico y documentación técnica del edificio.
- *Resultado:* Identificar y clasificar áreas clave que requieren intervención, sirviendo como base para proponer estrategias bioclimáticas, funcionales y de diseño coherentes con el contexto y el uso del espacio.
- *Análisis del comportamiento ambiental del edificio mediante simulación:* se realizará una simulación en DesignBuilder con el fin de analizar el comportamiento ambiental del edificio y su relación con las condiciones climáticas del entorno. A través del software, se obtendrán gráficos y datos sobre variables como temperatura interior y exterior, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento, y flujo de aire interno,

permitiendo comprender el desempeño térmico y de ventilación natural del edificio (DesignBuilder Software Ltd, 2021).

La simulación se llevará a cabo en dos escenarios representativos (el día más cálido y el día más frío del año) con el propósito de identificar las diferencias en el comportamiento térmico y las zonas críticas de confort o discomfort.

- *Recurso:* Software DesignBuilder y base de datos climática (.epw).
- *Resultado:* Obtención de un diagnóstico ambiental cuantitativo y visual del edificio, que permita interpretar su respuesta ante distintas condiciones climáticas y orientar futuras decisiones de mejoramiento bioclimático.

8.4 Fase 4: Optimización Y Validación: esta fase tiene como propósito aplicar y dimensionar estrategias bioclimáticas seleccionadas, simular su impacto en el comportamiento del edificio y validar su efectividad. A través del análisis de resultados finales, se ajustan las propuestas para optimizar el confort térmico, consolidando así una solución proyectual adecuada (Olgyay, 1963).

- Sub - fases:
- Dimensionamientos de estrategias bioclimáticas
- Desarrollo de propuestas de intervención urbana:

A partir de las oportunidades de intervención urbana identificadas, se plantean estrategias que mejoren la relación del edificio con su contexto inmediato. Se busca optimizar aspectos como la orientación, la conectividad peatonal, la integración con espacios públicos y la respuesta a las condiciones climáticas del entorno. Estas acciones apuntan a fortalecer la interacción entre el

edificio y la ciudad, promoviendo un equilibrio entre confort, accesibilidad y sostenibilidad ambiental.

- **Recurso:** Resultados del análisis del entorno urbano y diagnóstico de oportunidades de integración.
- **Resultado:** Propuesta urbana coherente con el contexto, que mejore la interacción del edificio con su entorno físico, social y ambiental.
- **Desarrollo de propuestas de intervención funcional:** En esta etapa se formulan las estrategias orientadas a optimizar la distribución y uso de los espacios interiores. Se evalúa la eficiencia de los recorridos, la relación entre zonas activas y pasivas, y el aprovechamiento de la ventilación e iluminación natural según la función de cada espacio. Estas propuestas buscan mejorar el confort térmico, la habitabilidad y la adaptabilidad del edificio a sus actividades reales.
- **Recurso:** Resultados del análisis funcional del edificio y de las dinámicas de uso observadas.
- **Resultado:** Propuesta funcional que potencie el desempeño del edificio mediante una mejor organización espacial y una relación eficiente con las condiciones ambientales.
- **Desarrollo de propuestas de intervención formal:** con base en las problemáticas formales identificadas, se plantean ajustes en la morfología, la envolvente y los elementos arquitectónicos del edificio. Las acciones consideran la orientación solar, el control de radiación, el uso de sombras y la ventilación cruzada, buscando que la forma arquitectónica contribuya directamente al confort ambiental y a la expresión del proyecto.
- **Recurso:** Resultados del análisis formal y simulaciones de comportamiento climático del edificio.

- *Resultado:* Propuesta formal que optimice el desempeño bioclimático y refuerce la identidad arquitectónica del edificio.
- *Desarrollo de propuestas de intervención técnica:* se definen estrategias técnicas centradas en la mejora del comportamiento térmico y energético del edificio, mediante soluciones constructivas, selección de materiales, incorporación de dispositivos pasivos y posibles adaptaciones en la envolvente. Esta etapa busca garantizar la viabilidad técnica de las propuestas y su adecuación a las condiciones climáticas y estructurales del caso de estudio.
- *Recurso:* Documentación técnica del modelo base, resultados de simulación y análisis de materiales.
- *Resultado:* Propuesta técnica que integre soluciones constructivas coherentes con las estrategias bioclimáticas y los requerimientos del edificio.
- Simulación final
- *Simulación de propuesta con estrategias dimensionadas:* en esta etapa se realiza la simulación del edificio incorporando las estrategias bioclimáticas dimensionadas en la fase anterior. El objetivo es evaluar el desempeño térmico y ambiental del modelo bajo las condiciones definidas, sin tratarse necesariamente de la propuesta final, sino de una aproximación que permita validar la efectividad de las estrategias planteadas. Los resultados obtenidos servirán como base para ajustar, optimizar o redefinir las soluciones en función del confort y la eficiencia observada.
- *Recurso:* Modelo actualizado en DesignBuilder con la integración de estrategias bioclimáticas dimensionadas.

- *Resultado:* Análisis de los resultados de la simulación que permita identificar el impacto de las estrategias aplicadas y orientar posibles ajustes para el desarrollo de la propuesta final.
- *Aplicación de estrategias bioclimáticas mediante prueba y error:* En esta etapa se realiza la aplicación progresiva de estrategias bioclimáticas pasivas al modelo, mediante un proceso de simulación flexible que permite repetir los ensayos tantas veces como el usuario considere necesario. Cada iteración puede incluir variaciones en aspectos como ventilación cruzada, protecciones solares, aislamiento térmico o control de radiación, con el fin de observar su impacto térmico y comparar los resultados. El número de simulaciones dependerá del nivel de exploración que el investigador desee alcanzar: algunos casos podrán requerir una o dos simulaciones, mientras que otros podrían necesitar múltiples iteraciones para definir la propuesta más eficiente.
- *Recursos:* Herramientas de simulación de DesignBuilder, base de datos de estrategias bioclimáticas pasivas, criterios de confort térmico (ASHRAE 55).
- *Resultado:* Identificación de las estrategias bioclimáticas más efectivas para el edificio, justificando técnicamente las decisiones de intervención a partir de los resultados comparativos obtenidos.
- *Análisis comparativo de resultados:* comparación de resultados térmicos entre simulación base y propuesta preliminar:

En esta etapa se realiza la comparación entre la simulación inicial del edificio y una propuesta preliminar en la que se han aplicado las estrategias bioclimáticas dimensionadas. Esta comparación no corresponde aún a la propuesta final, sino a una versión intermedia que permite analizar el comportamiento térmico y ambiental del modelo antes de realizar los ajustes definitivos.

Se contrastan los resultados obtenidos por el software Design Builder, tales como temperaturas superficiales, comportamiento térmico de materiales, velocidad y presión del aire, con el fin de identificar las variaciones generadas por la aplicación de las estrategias.

- *Recurso:* Informes y gráficos exportados desde DesignBuilder correspondientes a las simulaciones base y con estrategias aplicadas.
- *Resultado:* Análisis comparativo que permite evaluar el impacto de las estrategias bioclimáticas preliminares sobre el desempeño térmico del edificio y definir los ajustes necesarios para la propuesta final.
- *Ajuste y desarrollo de la propuesta final con estrategias bioclimáticas validadas:* en esta etapa se parte de la propuesta preliminar evaluada en la simulación anterior, realizando los ajustes necesarios a las estrategias bioclimáticas que presentaron oportunidades de mejora. Se analizan nuevamente aspectos como el sombreado, la ventilación natural y el control solar, verificando su efectividad y coherencia con los resultados obtenidos en Design Builder. A partir de este proceso de revalidación, se consolida una propuesta final que optimiza las condiciones de confort térmico del edificio.

Esta propuesta integra los componentes urbano, funcional, formal y técnico, garantizando una respuesta proyectual coherente con el entorno y una mejora significativa en la calidad térmica y ambiental del espacio arquitectónico.

- *Recurso:* Resultados comparativos de simulación, planos arquitectónicos actualizados, matriz de estrategias bioclimáticas y documentación técnica del modelo

- *Resultado:* Propuesta final ajustada con base en los resultados simulados, que evidencia mejoras en el confort térmico y una integración adecuada de las estrategias bioclimáticas en los diferentes componentes del proyecto arquitectónico.
- *Simulación final y presentación de resultados:* En esta sub-fase se lleva a cabo la simulación final del edificio con las estrategias bioclimáticas definitivas ya integradas. El propósito es obtener los datos precisos sobre el comportamiento térmico del modelo y registrar los resultados generados por el software, sin realizar aún comparaciones con las simulaciones anteriores. Esta etapa permite visualizar el desempeño térmico alcanzado por la propuesta final y comprender el impacto directo de las estrategias aplicadas en los componentes urbano, funcional, formal y técnico.
- *Recurso:* Modelo final del edificio en Design Builder con las estrategias bioclimáticas integradas.
- *Resultado:* Resultados finales de la simulación que muestran el comportamiento térmico del edificio y evidencian los efectos de las estrategias aplicadas, sirviendo como base para su posterior comparación y análisis en la siguiente fase.

8.5 Fase 5: Conclusión: Esta fase tiene como propósito reflexionar sobre los resultados obtenidos a lo largo del proceso, identificando los logros alcanzados en términos de confort térmico, así como los aprendizajes derivados del análisis, simulación y aplicación de estrategias bioclimáticas. Esta fase permite cerrar el ciclo metodológico.

- Sub - fases:
- Conclusiones
- Comparación entre estado inicial y estado mejorado:

Elaborar una comparación clara entre los resultados térmicos del modelo inicial y del modelo mejorado, destacando diferencias clave.

- *Recurso:* Gráficos y tablas comparativas extraídas de Design Builder (DesignBuilder Software Ltd, 2021).
- *Resultado:* Visualizar y argumentar las mejoras obtenidas tras la implementación de estrategias bioclimáticas.

- *Validación del cumplimiento de objetivos del proyecto:* Revisar si el diseño final responde a los objetivos planteados en cuanto a confort térmico.
- *Recurso:* Documento de objetivos iniciales + resultados del modelado final.
- *Resultado:* Confirmar la eficacia del proceso proyectual frente a las metas bioclimáticas establecidas.

- *Elaboración de planos finales del proyecto:* Desarrollar los planos arquitectónicos definitivos (plantas, cortes, fachadas, detalles constructivos) incluyendo las estrategias bioclimáticas implementadas (Olgyay, 1963).
- *Recurso:* Modelo final en Revit + normas de representación arquitectónica.
- *Resultado:* Comunicar técnicamente la propuesta definitiva con todos sus componentes integrados.

- Construcción de maqueta del proyecto: elaborar una maqueta física del proyecto arquitectónico, evidenciando las decisiones bioclimáticas (orientación, volúmenes, sombreados, ventilación, etc.) (Olgay, 1963).
- *Recurso:* Modelo 3D definitivo.
- *Resultado:* Representar visual y espacialmente el resultado del diseño para su comprensión global y presentación final.
- *Redacción de conclusiones generales del proyecto:* elaborar un capítulo de conclusiones que resume los aprendizajes, aciertos, desafíos, impactos de las estrategias bioclimáticas aplicadas y recomendaciones futuras.
- *Recurso:* Registro de todo el proceso metodológico, resultados, y bitácora del proyecto.
- *Resultado:* Consolidar el cierre reflexivo y crítico del proyecto, aportando a la discusión sobre arquitectura bioclimática urbana (Creswell & Creswell, 2018).

9. Cronograma / Plan De Trabajo

El siguiente cronograma fue diseñado para estructurar el desarrollo del proyecto de manera eficiente. Está dividido en semanas, incluyendo el mes previo al inicio de clases (01/2025) y los dos semestres académicos (Noveno y Décimo). El cronograma se organiza en cinco fases, cada una con actividades específicas que permiten reflejar el avance y los entregables previstos en cada etapa del proceso.

Tabla 5. Cronograma

Periodo	Semanas	Fase	Sub-Fases Y Sus Actividades
Mes previo a clases (enero del 2025)	1-4	Fase 1: Conceptualización Bioclimática	<p>1. Comprensión de conceptos y estrategias bioclimáticas</p> <p>Identificar, seleccionar y analizar literatura especializada en diseño bioclimático y con énfasis en el confort térmico</p> <p>Definir conceptos arquitectónicos en general, de confort térmico y diseño bioclimático</p> <p>Lectura de fundamentos teóricos sobre confort térmico y acondicionamiento pasivo</p> <p>Análisis de caso real aplicado a estrategias pasivas en climas similares</p>
Noveno Semestre (febrero, marzo, abril y mayo del 2025)	1-5	Fase 2: Análisis Contextual	<p>Análisis del sitio y del entorno</p> <p>Condiciones geomorfológicas</p> <p>Radiación solar</p> <p>Temperatura</p> <p>Precipitación</p> <p>Vientos</p> <p>Humedad relativa</p> <p>Tipo de especies animales locales</p> <p>Flora</p> <p>Análisis de la normativa:</p> <p>Tipos de materiales del edificio</p> <p>Análisis del usuario</p>

			<p>Análisis del tipo de usuario y perfil de ocupación del edificio</p> <p>Análisis de confort térmico mediante el arropamiento</p> <p>Análisis de la normativa en cuanto al confort humano en el edificio</p>
	6-10	Fase 3: Evaluación de Línea Base	<p>Modelado de línea base</p> <p>Levantamiento del edificio</p> <p>Reunión del material base y construcción del modelo 3D en Revit</p> <p>Simulación inicial</p> <p>Configuración de condiciones climáticas y de ocupación</p> <p>Instalación y configuración del software DesignBuilder con EnergyPlus</p> <p>Modelado del edificio en el simulador</p> <p>Ajuste de actividades por espacio en el simulador</p> <p>Análisis de resultados de línea base y simulación inicial:</p> <p>Identificación de oportunidades de intervención urbana, funcional, formal y técnica.</p> <p>Análisis del comportamiento ambiental del edificio mediante simulación.</p>
	11-15	Fase 4: Optimización y Validación	<p>Dimensionamientos de estrategias bioclimáticas</p> <p>Desarrollo de propuestas de intervención urbana</p>

			<p>Desarrollo de propuestas de intervención funcional</p> <p>Desarrollo de propuestas de intervención formal</p> <p>Desarrollo de propuestas de intervención técnica</p> <p>Simulación final</p> <p>Simulación de propuesta con estrategias dimensionadas</p> <p>Aplicación de estrategias bioclimáticas mediante prueba y error</p> <p>Análisis comparativo de resultados</p> <p>Comparación de resultados térmicos entre simulación base y propuesta preliminar</p> <p>Ajuste y desarrollo de la propuesta final con estrategias bioclimáticas validadas</p> <p>Simulación final y presentación de resultado</p>
<p>Décimo Semestre</p> <p>(agosto, septiembre y octubre del 2025)</p>	1-10	Fase 5: Conclusión.	<p>Conclusiones</p> <p>Comparación entre estado inicial y estado mejorado</p> <p>Validación del cumplimiento de objetivos del proyecto</p> <p>Elaboración de planos finales del proyecto</p> <p>Construcción de maqueta del proyecto</p> <p>Redacción de conclusiones generales del proyecto</p>

Mes Final (noviembre del 2025)	11-12		Mes libre para revisar el proyecto en su totalidad, preparar la documentación final y realizar ajustes necesarios
--------------------------------------	-------	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

10. Desarrollo de la Metodología

10.1 Fase 1: Conceptualización Bioclimática

- Sub - fases:
- Comprensión de conceptos y estrategias bioclimáticas
- Identificar, seleccionar y analizar literatura especializada en diseño bioclimático y con énfasis en el confort térmico:

Para este proyecto de grado se seleccionaron 16 documentos relacionados con el diseño bioclimático y el confort térmico.

De ellos, los primeros 8 documentos sirvieron como base para la elaboración de nuestra propuesta metodológica, los cuales se encuentran en el Estudio Previo, mientras que los 8 restantes aportaron el fundamento teórico del proyecto, permitiéndonos comprender conceptos y principios de la bioclimática, así como su aplicabilidad (Sampieri, et al, 2014).

El análisis de cada documento se presenta en el **marco teórico** de este trabajo. Cada uno incluye:

- Un resumen contextual

- Un análisis teórico orientado a su utilidad
- La metodología empleada (cuando el documento la incluye, ya que no todos proponen una metodología bioclimática),

Las estrategias bioclimáticas utilizadas en los proyectos,

- Las pautas de diseño aplicadas,
- Y finalmente, las conclusiones derivadas de la lectura.

Teniendo en cuenta lo anterior, y considerando que los análisis completos se encuentran en el marco teórico, a continuación, se presentan los nombres de los documentos analizados, siguiendo el mismo orden allí establecido para facilitar su consulta:

Metodología de Diseño Bioclimático el análisis climático. (2002). [Tesis de maestría]. Universidad autónoma metropolitana.

Simbaña, P., Rocchio, D., Cherrez, K., & Alvarado – Arias, N. (2024). Estrategias pasivas para el confort térmico en ciudades amazónicas: El caso de Tena Frente al mar. Bitácora Urbano Territorial

Beatriz Montalbán Pozas, Francisco Serrano (2022). *Simulando estrategias bioclimáticas específicas para recuperar diseños valiosos en la arquitectura vernácula*. Estudio de caso: Inercia térmica en El Valle. Informes de la Construcción.

Análisis energético de un edificio de oficinas en design builder. (2023). [Trabajo Fin De Máster]. Universidad Politécnica de Madrid.

Alonso, I. N. C. (2021). “*Análisis del confort térmico en escuela modelo de la sierra peruana y evaluación de mejoramiento térmico mediante el uso de principios bioclimáticos*”. Pontificia Universidad Católica Del Perú.

Steeven y Suárez Cevallos Davor Alfonso, D. Z. M. (2022). *Análisis del confort humano (confort térmico, lumínico y acústico) en viviendas de interés social. Caso de estudio: Virgen de Guadalupe, Picoazá*. Universidad San Gregorio de Portoviejo.

Arq. Guillermina Rey Y Arq. Maria Antonieta Sanchez. (2015). *Adaptación de una vivienda pro.cre.ar a una vivienda bioclimática en la ciudad de RAUCH, provincia de buenos aires*. Universidad Nacional De La Plata.

Parra, H. M. L. (2019). *Análisis comparativo del comportamiento térmico de dos edificios en clima cálido húmedo*. Caso de Estudio: Hotel Mi California - Barrancabermeja, Santander. Universidad Santo Tomás, Bucaramanga.

Garzón, B. (2011). *Arquitectura bioclimática: (ED.)*. Buenos Aires, Argentina, Argentina: Editorial Nobuko.

San Juan, G. A. (2013). *Diseño bioclimático como aporte al proyecto arquitectónico: (ED.)*. La Plata, Argentina: D - Editorial de la Universidad Nacional de La Plata

Espinoza, R., Molina, J., Horn, M., & León, M. G. (2015). *Conceptos bioclimáticos y su aplicabilidad a la zona rural altoandina: Caso comunidad San Francisco de Raymina (SFR) - Ayacucho*. Tecnia, 25(2), 5

Arquitectura bioclimática. (2020). Polo del Conocimiento, 5(43).

Anakarenc. (s. f.). *Manual para el diseño bioclimático y ecotecias en conjuntos habitacionales*. INFONAVIT.

Gutiérrez González, S. (2023). *Estrategias bioclimáticas en la arquitectura de Ruiz-Larrea* (Tesis de máster, E.T.S.A.M.).

Hernández Morel, G. de los M. (2016). *Fachadas disipadoras de calor: recursos para el diseño arquitectónico* (Tesis de máster, Máster Universitario en Tecnología en la Arquitectura, Línea de Construcción Arquitectónica e Innovación Tecnológica, Barcelona).

Ministerio de Educación del Perú. (s. f.). *Guía de estrategias de diseño bioclimático para el confort térmico*.

- Definir *conceptos arquitectónicos en general, de confort térmico y diseño bioclimático*: el desarrollo de esta actividad se presenta en el marco conceptual. Tras el análisis de los 16 documentos mencionados anteriormente, se definieron diversos conceptos que se utilizaron tanto en dicho marco como en el glosario, además de conceptos propios hechos con el propósito de lograr una comprensión más clara y precisa del confort térmico y del diseño bioclimático (Sampieri, et al, 2014).
- *Lectura de fundamentos teóricos sobre confort térmico y acondicionamiento pasivo*: Para fortalecer el marco conceptual del proyecto, se revisaron los aportes de tres autores fundamentales en el diseño bioclimático: Victor Olgyay, Baruch Givoni y Steven Szokolay. Sus planteamientos sobre confort térmico y estrategias pasivas permiten comprender las bases teóricas que orientan la adaptación arquitectónica en climas cálido-húmedos como el de Bucaramanga (Olgyay, 1963).
- *Victor Olgyay – Design with Climate, Capítulo 5*: (Olgyay, 1963) plantea que el confort térmico en arquitectura es un equilibrio dinámico entre las condiciones ambientales y las respuestas fisiológicas del ser humano. Su propuesta se centra en el uso del diseño arquitectónico como mediador entre el clima y el usuario. En el capítulo 5, enfatiza que factores como la radiación solar, el viento y la humedad son determinantes en la experiencia térmica.

El autor introduce la importancia de la orientación del edificio para maximizar beneficios y minimizar impactos negativos del sol y el viento, y recomienda el uso de elementos de control solar como parasoles, aleros y vegetación para reducir ganancias térmicas indeseadas. La ventilación natural cruzada se presenta como estrategia indispensable para la renovación del aire y la disipación del calor acumulado en espacios interiores.

En relación con el Ágora El Rocío, los principios de Olgyay resultan pertinentes, ya que Bucaramanga presenta un clima cálido-húmedo en el que las ganancias solares excesivas afectan el confort. La adecuada orientación del salón comunal y la implementación de sombreado en fachadas y cubiertas permitirían reducir el sobrecalentamiento y mejorar las condiciones internas sin recurrir a sistemas mecánicos (Olgyay, 1963).

- *Baruch Givoni – Manual de diseño bioclimático, Capítulos 3 y 4:* Givoni aporta un enfoque más técnico al confort térmico a través de su conocido diagrama psicrométrico, el cual permite relacionar variables como temperatura, humedad relativa, radiación y velocidad del aire con la zona de confort. En los capítulos 3 y 4, clasifica y explica estrategias pasivas para distintos climas, destacando la importancia de adaptar cada decisión arquitectónica al contexto específico (Givoni, 1976).

En climas cálidos-húmedos, como el de Bucaramanga, Givoni recomienda maximizar la ventilación natural, evitando la acumulación de calor y humedad en los espacios. Sugiere el uso de masas térmicas ligeras, ya que los materiales pesados retienen calor en exceso y pueden empeorar las condiciones de habitabilidad. También enfatiza en el sombreado de fachadas y cubiertas, junto con el uso de elementos naturales como vegetación y agua para fomentar procesos de evaporación y enfriamiento pasivo (Givoni, 1976).

Aplicado al caso de estudio, el análisis de Givoni respalda la necesidad de que el Ágora El Rocío integre estrategias de baja inercia térmica en su materialidad, incorpore ventilación cruzada eficiente y complemente su entorno con vegetación estratégica para reducir la temperatura del microclima inmediato.

- *Steven Szokolay – Manual de diseño bioclimático, cuadros de estrategias:* Szokolay organiza el conocimiento bioclimático en cuadros que sistematizan las estrategias pasivas aplicables según cada condición climática. Su aporte principal es la claridad y rapidez con la que se pueden identificar las soluciones adecuadas a partir de variables específicas, como exceso de calor, exceso de humedad o necesidad de ventilación (Szokolay, 1986).

Para los climas cálidos-húmedos, Szokolay propone: reducir las ganancias solares mediante colores claros, cubiertas reflectantes, sombreado profundo y protección de aberturas; favorecer la ventilación natural a través de orientaciones estratégicas y el dimensionamiento de las aberturas; y finalmente, atender al control de la humedad relativa, promoviendo soluciones que reduzcan la sensación de bochorno, como ventilación cruzada acelerada o enfriamiento evaporativo (Szokolay, 1986).

En el contexto del Ágora El Rocío, el valor de los cuadros de Szokolay es su capacidad de servir como guía práctica, ya que permiten seleccionar rápidamente las estrategias más adecuadas y compararlas en función de su factibilidad constructiva. Esto facilita la toma de decisiones al momento de proponer intervenciones arquitectónicas para mejorar el confort térmico del edificio (Alcaldía de Bucaramanga, 2022).

Tabla 6. Matriz comparativa de fundamentos teóricos:

Autor	Conceptos principales	Estrategias pasivas	Aplicabilidad al
-------	-----------------------	---------------------	------------------

		propuestas	contexto de Bucaramanga
Victor Olgyay	Relación entre confort humano, clima y arquitectura. Importancia de orientación, radiación solar y vientos.	Orientación del edificio. Control solar (aleros, parasoles, vegetación). Ventilación cruzada. Integración con el entorno.	Necesario reducir ganancias solares y potenciar ventilación en espacios colectivos como el Ágora El Rocío.
Baruch Givoni	Confort definido en el diagrama psicrométrico. Clasificación de estrategias pasivas por clima.	Ventilación natural como prioridad. Masa térmica ligera. Protección solar en cubiertas y fachadas. Evaporación y enfriamiento con vegetación o agua.	Recomendado usar materiales ligeros, vegetación y ventilación para mitigar calor y humedad en Bucaramanga.
Steven Szokolay	Sistematización de estrategias pasivas según variables climáticas.	Reducción de ganancias solares. Orientación y aberturas para ventilación. Control de humedad relativa.	Sus cuadros permiten identificar de manera práctica estrategias útiles para Bucaramanga: sombreadamiento, ventilación cruzada y control de humedad.

La comparación de sus propuestas evidencia que, aunque cada autor aporta desde enfoques distintos, coinciden en la relevancia del control solar, la ventilación natural y el uso adecuado de materiales para optimizar el confort térmico. Estas estrategias, adaptadas al caso del Ágora El Rocío, constituyen una guía esencial para la metodología planteada en esta investigación.

- *Análisis de caso real aplicado a estrategias pasivas en climas similares:* Con el fin de contrastar los fundamentos teóricos con experiencias prácticas, se analizó el caso “Arquitectura bioclimática aplicada a viviendas del programa Pro.Cre.Ar”, el cual constituye un referente de aplicación de estrategias pasivas en contextos climáticos comparables. Este estudio permite reconocer soluciones reales, sus resultados y posibles aprendizajes útiles para el proyecto del Ágora El Rocío (Yin, 2018).

El estudio del programa Pro.Cre.Ar presenta viviendas de interés social en Argentina diseñadas bajo criterios de arquitectura bioclimática, en climas templados y cálidos con características de humedad que permiten comparaciones con el caso de Bucaramanga. Entre las estrategias más destacadas se encuentran la orientación de las viviendas para optimizar la captación y control solar, el uso de ventilación cruzada mediante aberturas opuestas, y la incorporación de protecciones solares en ventanas (aleros y parasoles) que reducen las ganancias térmicas en verano. Asimismo, se incluyó la selección de materiales con aislamiento térmico adecuado y cubiertas ventiladas para evitar el sobrecalentamiento (Gálvez & Solari, 2016).

Los resultados reportados indican mejoras significativas en el confort térmico de los usuarios y una reducción en el consumo energético asociado a la climatización artificial. Sin embargo, el estudio también señala limitaciones, como la necesidad de mayor participación de los usuarios en el manejo de las estrategias pasivas (por ejemplo, apertura de ventanas en horarios adecuados) y dificultades en la durabilidad de algunos materiales propuestos (Gálvez & Solari, 2016).

Al trasladar estos aprendizajes al caso del Ágora El Rocío, resulta pertinente adoptar principios como la correcta orientación de fachadas y cubiertas, la implementación de ventilación

natural cruzada efectiva y el uso de protecciones solares fijas y móviles adaptadas a un espacio colectivo de gran afluencia. Del mismo modo, es importante considerar la selección de materiales resistentes a la humedad y de bajo mantenimiento, dada la intensidad de uso de un salón comunal. Estos hallazgos confirman la relevancia de integrar estrategias pasivas no solo en la fase de diseño, sino también en la gestión y apropiación de los usuarios, garantizando así su eficacia a largo plazo (Gálvez & Solari, 2016).

El análisis evidenció que, aunque las viviendas Pro.Cre.Ar responden a una escala distinta, las estrategias de orientación, sombreadamiento, ventilación cruzada y selección de materiales ofrecen pautas valiosas para la adaptación del salón comunal. Los aciertos y limitaciones identificados refuerzan la importancia de seleccionar soluciones ajustadas al clima cálido-húmedo de Bucaramanga y a las condiciones de uso colectivo del edificio (Gálvez & Solari, 2016).

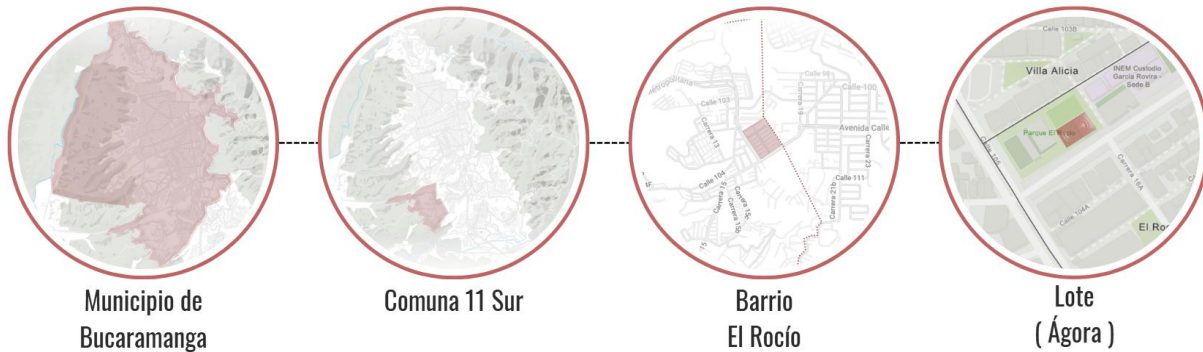
11.1 Fase 2: Análisis Contextual:

- Sub - fases:
- Análisis del sitio y del entorno
- Condiciones geomorfológicas:

El edificio objeto de estudio (Ágora) se localiza en la ciudad de Bucaramanga, departamento de Santander, dentro de la comuna 11, también denominada comuna Sur. Esta unidad territorial comprende aproximadamente quince barrios, entre los cuales se destaca el barrio El Rocío (Alcaldía de Bucaramanga, 2019).

En este sector se encuentra el Ágora del Rocío, ubicado en la dirección: **Cl. 105A #16-95 a 16-1**, Bucaramanga, Santander, edificación seleccionada como caso de análisis para el desarrollo del presente proyecto de grado.

Figura 3. Sector del Rocío



Nota: (Alcaldía de Bucaramanga, 2019)

Luego a través del IDEAM, sacamos el año tipo de la estación meteorológica más cercana al ágora, asegurando una mayor precisión en la interpretación de los datos climáticos relevantes para el proyecto, del cual se obtuvo una representación estadística de las condiciones climáticas promedio registradas en el país durante un año (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2020).

Figura 4. Código de Representación estadística

CODIGO	TIPO	NOMBRE_EST	MUNICIPIO	CORRIENTE	DPTO	ELEV	LONGITUD	LATITUD
2319504	CP	Univ Ind Santander	Bucaramanga	Tona	Santander	1018	-73.122055556	7.144715278

Después de seleccionar la estación meteorológica de la Universidad Industrial de Santander, se eligieron los datos que mejor representan las condiciones climáticas típicas de cada mes. Se evitó incluir extremos inusuales o eventos atípicos para asegurar una representación más precisa y consistente del clima en el área de estudio.

Figura 5. Datos del archivo del año meteorológico de la estación de la UIS

HUMEDAD RELATIVA (%)												
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
80	80	81	83	84	83	82	81	82	84	85	82	82

PRECIPITACION (MM)												
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	V_ANUAL
90	101	138	134	131	86	106	86	111	132	111	78	1303

TEMPERATURA MEDIA												
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
22,9	23,2	23,3	23,2	23,1	23,0	22,9	23,0	22,8	22,5	22,4	22,6	22,6

TEMPERATURA MEDIA MAXIMA												
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
27,7	27,7	27,9	27,9	28,0	27,9	28,1	28,3	28,2	27,6	27,2	27,4	27,8

TEMPERATURA MEDIA MINIMA												
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
18,9	19,1	19,4	19,5	19,5	19,4	19,0	19,1	19,0	18,9	19,1	18,9	19,1

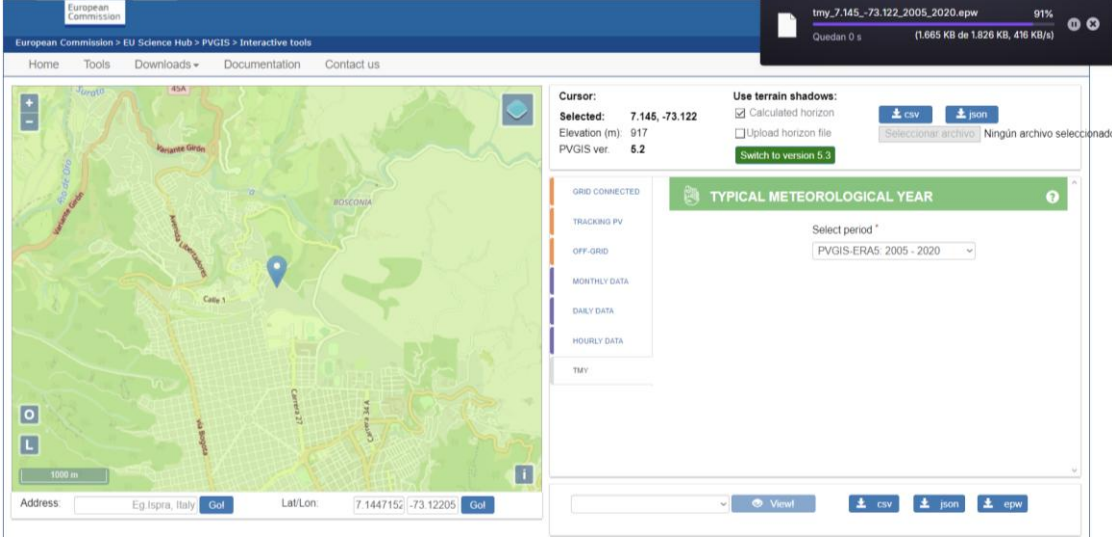
Nota: (European Commission, Joint Research Centre, 2021)

Después de obtener los datos del archivo meteorológico, ingresamos a la herramienta PVGIS de la Comisión Europea, la cual proporciona datos horarios o mensuales esenciales para evaluar la radiación solar y optimizar el diseño arquitectónico bioclimático, facilitando la implementación de estrategias pasivas para el confort térmico en edificios (European Commission, Joint Research Centre, 2021).

En la plataforma, ingresamos las coordenadas de latitud y longitud de nuestra estación meteorológica seleccionada para descargar un documento en formato TMY, esto con el fin de luego ser pasados por la Herramienta CBE clima, la cual nos proporcionará datos climatológicos exactos de nuestro edificio.

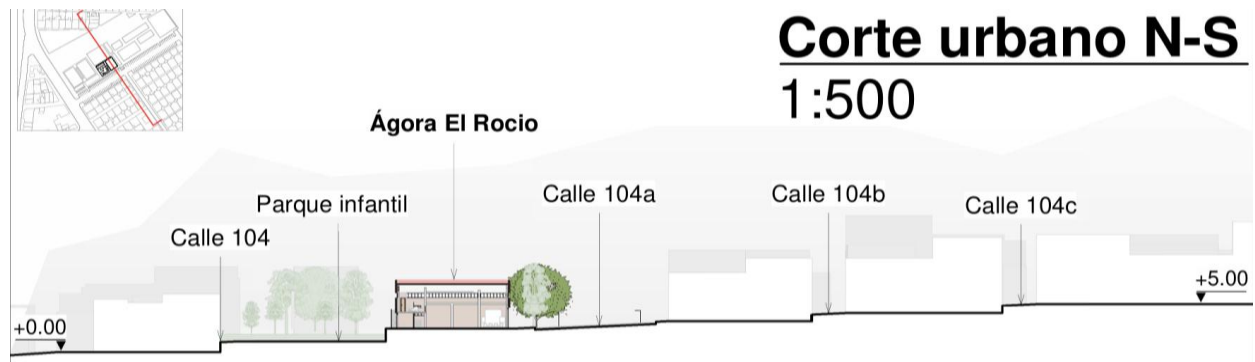
- Longitud: -73.12
- Latitud: 7.14
- Pendiente: 4%
- Altitud sobre el nivel del mar: 1018 m

Figura 6. Herramienta PVGIS de la Comisión Europea



Nota: (European Commission, Joint Research Centre, 2021).

Figura 7. Corte Urbano Norte - Sur del Ágora el Rocío



Nota: (European Commission, Joint Research Centre, 2021)

Figura 8. Corte Urbano Oeste - Este del Área el Rocío

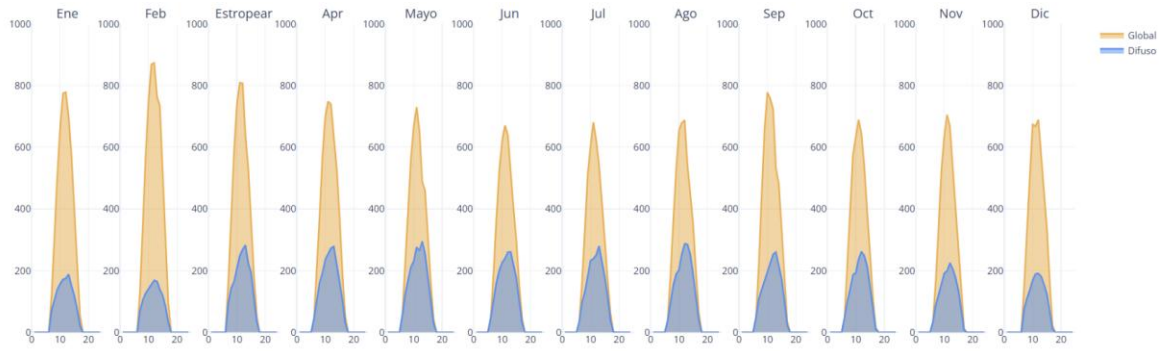


Nota: (European Commission, Joint Research Centre, 2021)

- Radiación solar:
- Radiación solar horizontal global y difusa (Wh/m^2):

En términos de radiación, se observa que la radiación solar horizontal global alcanza su valor máximo en el mes de febrero y su valor mínimo en junio.

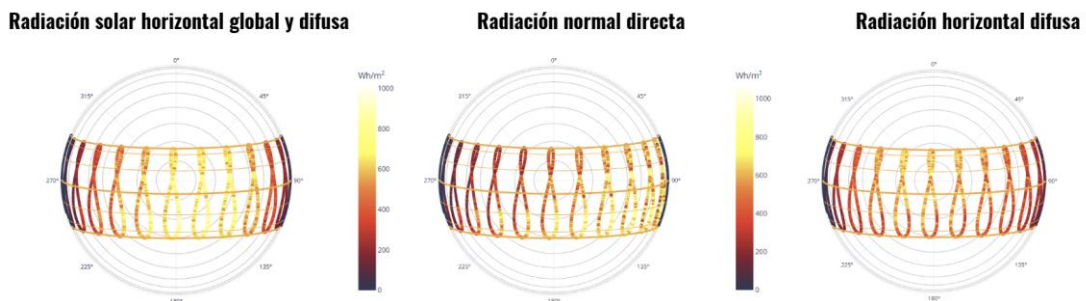
Figura 9. Herramienta CBE clima



Nota: (European Commission, Joint Research Centre, 2021)

Por otro lado, la radiación solar horizontal difusa presenta su punto más alto en mayo y el más bajo en febrero, lo que refleja la variabilidad estacional en la disponibilidad de radiación directa y difusa.

Figura 10. Herramienta CBE clima

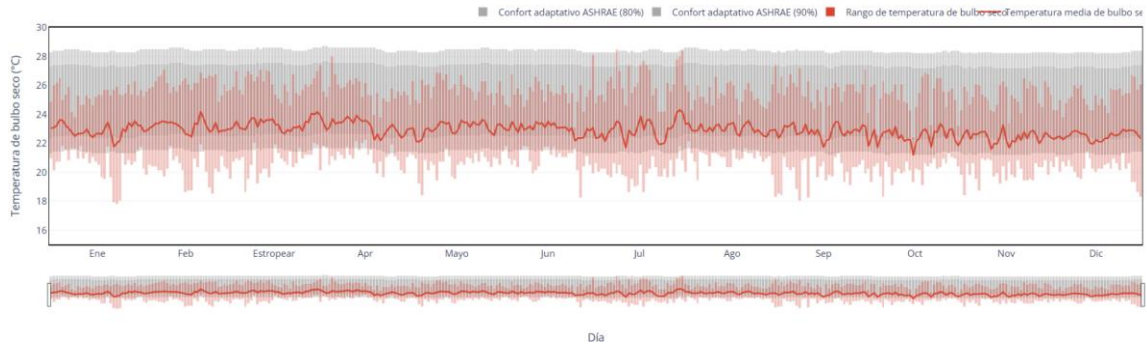


Nota: (European Commission, Joint Research Centre, 2021)

- **Temperatura:**

La siguiente gráfica evidencia que, durante los meses de junio, julio y un poco de agosto, la temperatura muestra un incremento que supera ligeramente el rango de confort térmico estándar, lo que sugiere la necesidad de implementar estrategias pasivas para mitigar este efecto y mantener condiciones óptimas de confort.

Figura 11. Herramienta CBE clima



Nota: (European Commission, Joint Research Centre, 2021)

Además, los valores más relevantes extraídos de la tabla fueron la temperatura media mínima anual y la temperatura media máxima anual.

Figura 12. Herramienta CBE clima

mes	media (°C)	estándar (°C)	min (°C)	1% (°C)	25% (°C)	50% (°C)	75% (°C)	99% (°C)	máx. (°C)
Ene	22.89	1.74	17.8	18.2	21.7	22.7	24.3	26.06	26.5
Feb	23.16	2.12	18.5	18.9	21.3	23	25.1	26.8	27.1
Estropear	23.31	1.89	18.6	19.6	21.8	23.2	25	27	27.1
Apr	23.17	1.55	19.6	20.22	22	23	24.4	26.5	28
Mayo	23.06	1.72	18.4	19.44	21.6	23	24.5	26.4	26.9
Jun	23.02	1.51	18.2	20.1	21.9	22.7	24.3	26.28	26.8
Jul	22.93	2.11	18.6	19.14	21.2	22.7	24.6	27.7	28.5
Ago	23	1.51	18.3	19.8	21.8	22.8	24.2	26.16	27.4
Sep	22.83	1.95	18	18.6	21.3	22.65	24.6	26.3	27.2
Oct	22.48	1.69	18.3	19.3	21.2	22.2	23.8	26.2	26.9
Nov	22.44	1.74	18.4	19.4	21	22.2	23.9	26	26.5
Dic	22.51	1.63	18.3	19.39	21.2	22.3	23.8	26	26.7
Año	22.9	1.79	17.8	19.1	21.5	22.7	24.4	26.7	28.5

Nota: (European Commission, Joint Research Centre, 2021)

- *Precipitaciones:*

Figura 13 Precipitaciones anuales:

PRECIPITACION (MM)												
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	V_ANUAL
90	101	138	134	131	86	106	86	111	132	111	78	1303

Nota: (European Commission, Joint Research Centre, 2021)

La temporada más mojada dura 8,3 meses, de 25 de marzo a 1 de diciembre, con una probabilidad de más del 43 % de que cierto día será un día mojado.

La temporada más seca dura 3,7 meses, del 1 de diciembre al 25 de marzo.

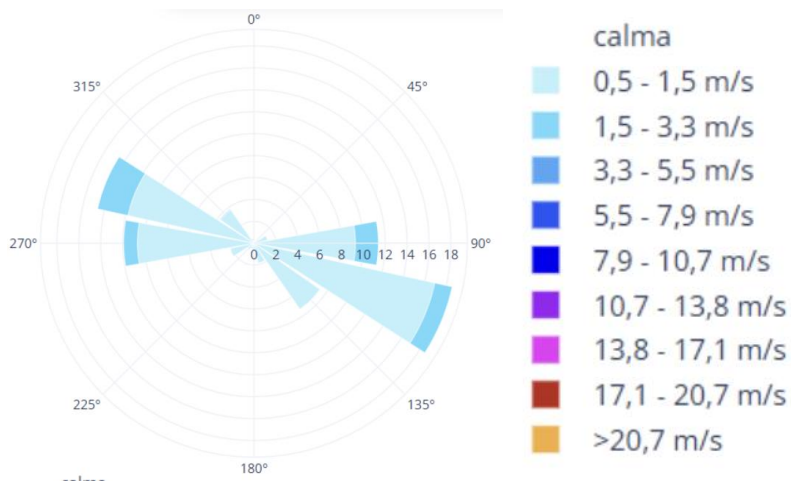
Figura 14. Representación de sequía



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2020)

- *Vientos:*

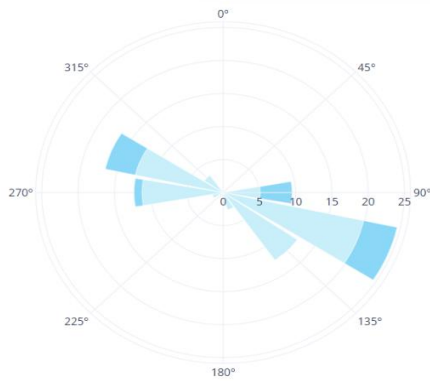
Figura 15 Rosa de los Vientos anual resumen:



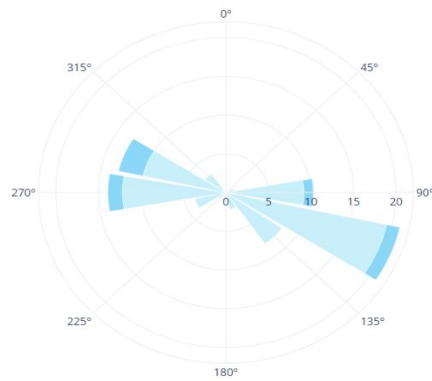
Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2020)

El periodo con mayor frecuencia de vientos en calma es de septiembre a diciembre (33 %), con 17 observaciones. De junio a agosto, aunque el porcentaje es del 25 %, también se registran 17 observaciones, indicando una alta incidencia de vientos en calma. De marzo a mayo (25 %) y de diciembre a febrero (24 %), la frecuencia de vientos en calma es menor, con 6 y 8 observaciones respectivamente (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022).

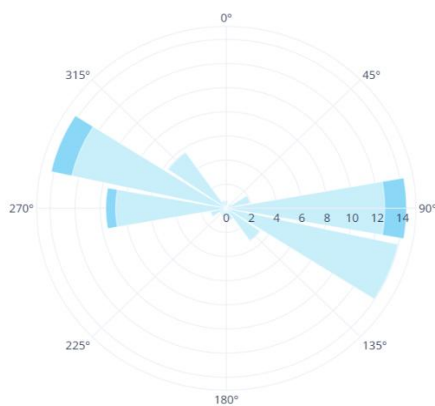
Figura 16. Rosa de los Vientos anual específico



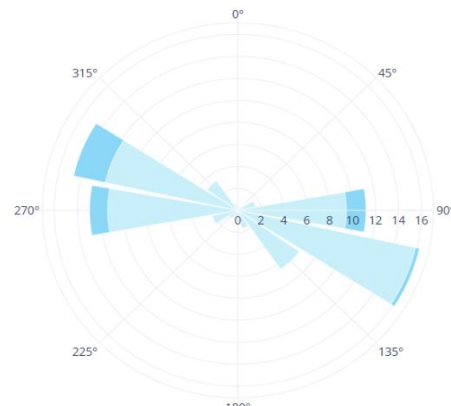
Dic y Feb entre las 01:00 horas y las 24:00 horas. El 24 %.



Mar y Mayo entre las 01:00 horas y las 24:00 horas. El 25 %.



Junio y Agosto entre las 01:00 horas y las 24:00 horas. El 25 %.

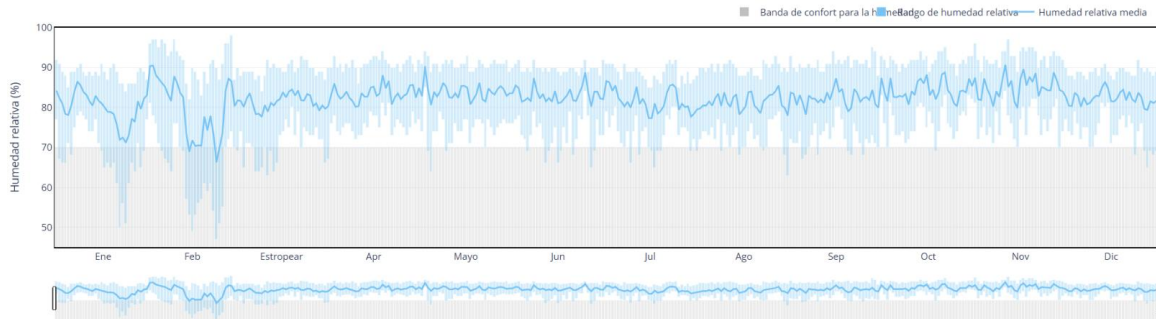


Septiembre y Diciembre entre las 01:00 horas y las 24:00 horas. El 33 %.

Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022).

- *Humedad relativa:* del análisis de la gráfica de humedad, se observa que los registros de nuestra estación meteorológica se encuentran fuera de los límites de confort térmico en términos de humedad.

Figura 17. Herramienta CBE clima



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022).

Los valores más relevantes para el análisis son la humedad media mínima anual y la humedad media máxima anual, ya que permiten identificar las variaciones extremas y orientar la implementación de estrategias bioclimáticas para mejorar el confort.

Figura 18. Herramienta CBE clima

mes	media (%)	Estándar (%)	min. (%)	1% (%)	25% (%)	50% (%)	75% (%)	99% (%)	máx. (%)
Ene	79.89	8.17	50	52.43	76	82	86	90	92
Feb	79.63	12.77	47	49	72	82	91	97	98
Estropear	81.4	6.28	63	65	77	82	86	91.57	93
Apr	83.37	4.76	67	73	80	83	87	92	94
Mayo	83.9	5.23	64	71	80	84	88	93	94
Jun	83.18	5.5	65	67.19	79	84.5	87	91	92
Jul	81.67	5.41	65	69	78	82	86	91	92
Ago	81.37	5.64	63	68	78	82	86	91	93
Sep	82.32	6.05	67	69	78	83	87	92.81	95
Oct	84.35	5.07	69	72	81	85	88	94	95
Nov	85.15	5.3	70	72	82	86	89	94.81	97
Dic	82.32	4.9	65	69	79	83	86	90	92
Año	82.39	6.74	47	59	79	83	87	94	98

Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022).

- **Tipo de especies animales locales:** en el entorno inmediato del lote se observa una fauna urbana común, compuesta principalmente por especies adaptadas al entorno habitado. Entre ellas se encuentran animales domésticos como perros y gatos, así como aves típicas de zonas urbanas como colibríes y palomas. Estas especies forman parte del ecosistema cotidiano del barrio, caracterizado por la presencia constante de actividad humana y

espacios verdes limitados (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2020).

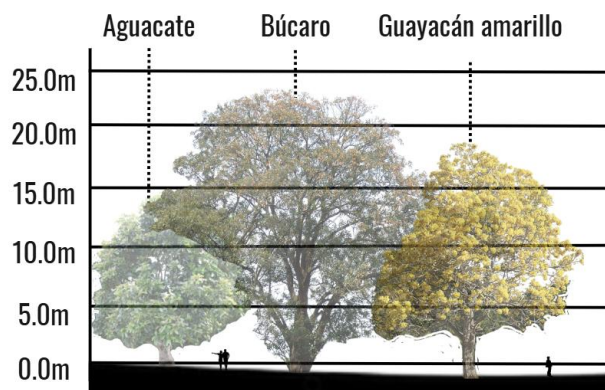
Figura 19. Tipos de especies



Nota: (Secretaría de Medio Ambiente., 2018)

- *Flora:* la flora presente en el sector corresponde a especies características de entornos urbanos del área, conformadas por árboles ornamentales y frutales que aportan sombra y valor paisajístico al entorno. Entre las especies más representativas se encuentran el Guayacán amarillo (*Tabebuia chrysantha*), el Búcaro (*Erythrina poeppigiana*) y el Aguacate (*Persea americana*), las cuales contribuyen a la regulación térmica local y al equilibrio ecológico del barrio.

Figura 20. Flora y ecosistema



Nota: (Secretaría de Medio Ambiente., 2018)

- *Guayacán amarillo (Tabebuia chrysantha)*: Árbol de copa media y follaje caducifolio estacional. Brinda sombra parcial y permite paso de radiación en época seca (útil para confort térmico estacional). Además, aporta color y valor paisajístico (Secretaría de Medio Ambiente., 2018).
- *Búcaro (Erythrina poeppigiana)*: Crecimiento rápido y copa amplia que da buena sombra. Sin embargo, sus raíces son invasivas, por lo que debe ubicarse en espacios abiertos (no cerca de andenes ni redes subterráneas). Contribuye fuertemente a la reducción de la temperatura superficial del suelo.
- *Aguacate (Persea americana)*: Árbol frutal que requiere cuidados, atrae plagas y puede generar residuos que dificultan el mantenimiento urbano. No es el más eficiente en densidad de copa para sombra en espacios públicos. Puede mantenerse solo en parques comunitarios (Secretaría de Medio Ambiente., 2018).
- *Análisis de la normativa*: el lote se encuentra clasificado como suelo urbano de uso dotacional, según lo establecido por el Plan de Ordenamiento Territorial (POT). Este tipo de suelo está destinado a equipamientos colectivos que fomentan la interacción social y el desarrollo comunitario, como es el caso del Salón Comunal del Barrio El Rocío.

Figura 21. Salon comunal del Rocio



Nota: (Alcaldía de Bucaramanga, 2014)

De acuerdo con la normativa vigente, el sector presenta un índice de ocupación (I.O.) máximo de 0,7 para predios con frente menor a 15 m, y 0,6 para frentes mayores o iguales a 15 m. El índice de construcción (I.C.) máximo permitido es de 2,1 y 3,0 respectivamente. La altura máxima permitida es de tres pisos para frentes menores y cinco pisos para frentes mayores, con tipología aislada, lo que permite mantener una adecuada ventilación e iluminación natural en las edificaciones (Alcaldía de Bucaramanga, Secretaría de Planeación y Obras Públicas, 2022).

El área de actividad donde se ubica el lote corresponde a la zona dotacional (D), dentro de un entorno predominantemente residencial (R-2 y R-4) con presencia de comercio y servicios localizados, lo que favorece la integración del equipamiento con la dinámica barrial (Alcaldía de Bucaramanga, 2015).

Figura 22. Equipamiento con la dinámica barrial



Nota: (Alcaldía de Bucaramanga, 2015).

Asimismo, el sector hace parte de la estructura ecológica principal, donde se establecen aislamientos frontales de 4,00 m y antejardines entre 2,00 y 5,00 m, destinados a conservar la calidad ambiental y el espacio público. En los sistemas estructurantes se identifican áreas de equipamiento, zonas deportivas y espacios de articulación y encuentro, que fortalecen el tejido urbano y social.

Figura 23. Espacios de articulación



Nota: (Alcaldía de Bucaramanga, 2015)

Por último, el área se encuentra dentro de la zonificación de restricciones a la ocupación, específicamente en las zonas 12 y 13, lo cual implica limitaciones normativas que buscan controlar el tipo y la intensidad del uso del suelo, garantizando el equilibrio entre densidad construida, espacio público y sostenibilidad ambiental (Alcaldía de Bucaramanga, 2015).

- *Tipos de materiales del edificio:* se realizó un análisis de los materiales constructivos existentes en el edificio, evaluando su comportamiento térmico mediante el cálculo de la resistencia térmica total y el flujo de calor en los principales elementos: cubierta, placa y muro. Para ello, se identificaron los materiales presentes, como la teja de zinc con pintura azul de PVC, la losa de concreto con acabado en baldosa de gres y el ladrillo tolete, determinando su conductividad térmica y el coeficiente de transmisión de calor (U).

Figura 24. Cubiertas placas de muro:



Nota: (Alcaldía de Bucaramanga, 2015)

Este análisis permitió conocer el nivel de aislamiento térmico del edificio y establecer una base comparativa para la propuesta de mejoramiento bioclimático posterior.

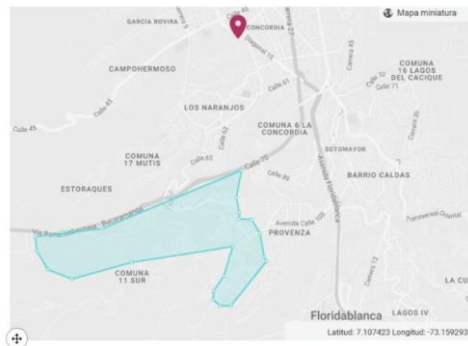
Figura 25. Características de mejoramiento Bioclimático.



Nota: (Alcaldía de Bucaramanga, 2015)

- **Análisis del usuario**
- **Análisis del tipo de usuario y perfil de ocupación del edificio:** Ágora del Rocío se localiza en la comuna 11 de Bucaramanga, también denominada comuna Sur. Esta comuna cuenta con una población de aproximadamente 33.600 habitantes, de los cuales 9.550 son niños, 9.141 adolescentes, 10.982 adultos y 3.994 adultos mayores, según datos del DANE. Esta cifra representa cerca del 5,4% de la población total de la ciudad.

Figura 26. Cifras del DANE



Niños: 9.550 Adolescentes: 9.141
Adultos: 10.982 Adultos mayores: 3.994

Aproximadamente el 5.4 % de la población de Bucaramanga habita en La comuna 11 (Sur) de Bucaramanga

Nota: (Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, 2019)

Dentro de esta comuna se encuentra el barrio El Rocío, que concentra 2.316 habitantes distribuidos de la siguiente manera: 563 niños, 765 adolescentes, 608 adultos y 380 adultos mayores. En términos de género, 1.006 son hombres (43,44%) y 1.310 son mujeres (56,55%). La población del barrio reside en 691 viviendas tipo casa y 101 apartamentos (Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, 2019).

Esta población se distribuye en 752 edificaciones, cuya clasificación es la siguiente:

Figura 27. Clasificación de edificaciones



siguiente: **691 casa**
 101 apartamentos

Hombres: 1006 = 43.44 %
Mujeres: 1310 = 56.56 % Adultos: 608
Niños: 563 Adultos
Adolescentes: 765 mayores: 380

Nota: (Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, 2019)

- *Análisis de confort térmico mediante el arropamiento:* Aislamiento térmico de la ropa (en clo según la ISO 7733). La selección del tipo de vestimenta se realizó considerando las condiciones climáticas propias de Bucaramanga, caracterizada por un ambiente tropical, así como a partir de la observación directa durante las visitas de obra, donde se analizó la manera en que los habitantes del sector suelen vestir en su cotidianidad. Este procedimiento permitió garantizar que los valores de arropamiento utilizados en la simulación fueran coherentes con la realidad del contexto local (Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, 2019)

Figura 28. Aislamiento térmico de prendas.

Niños total de: 0,94

Adolescentes total de: 0,70

Adultos total de: 0,86

Adultos mayores total de: 1,07

Tabla 3.27
Aislamiento térmico de cada prenda

TIPO DE PRENDA	AISLAMIENTO TÉRMICO (clo según ISO 7730)
ROPA INTERIOR	
Bragas/Calzoncillos	0,03
Camiseta de tirantes	0,04
Calcetines largos y gruesos	0,10
Normal, con manga larga	0,25
Ligeros	0,20
CHAQUETAS	
Normal	0,28

TIPO DE PRENDA	AISLAMIENTO TÉRMICO (clo según ISO 7730)
CALZADO Y GUANTES	
Zapatos de suela gruesa	0,04

Arropamiento definitivo: 0,89

Nota: (International Organization for Standardization, 2005)

La tabla presentada corresponde al valor de arropamiento definitivo, obtenido a partir de la media de los niveles de aislamiento térmico calculados para los diferentes grupos etarios. El resultado consolidado alcanza un total de 0,89 clo, lo cual representa un valor promedio generalizado que permite caracterizar de manera adecuada a los usuarios del Ágora El Rocío en el marco de las simulaciones térmicas (International Organization for Standardization, 2005).

- Análisis de la normativa en cuanto al confort humano en el edificio: el desarrollo de esta actividad se presenta en el marco legal.

10.2 Fase 3: Evaluación De Línea Base

- Sub - fases:
- Modelado de línea base
- Levantamiento del edificio:

Para esta etapa se realizó una visita técnica al sitio, con el fin de obtener información precisa sobre las características físicas del edificio existente. Se efectuó la toma de medidas in situ, el registro fotográfico detallado de las fachadas, cubiertas e interiores, y la identificación de los materiales constructivos presentes. Este proceso permitió recopilar la información necesaria para la elaboración del modelo tridimensional del edificio, que serviría como base para los análisis posteriores de confort y simulación bioclimática (Ching, 2015).

A Continuación, el registro fotográfico del edificio actual:

Figura 29. Exterior del edificio actual:





Nota: (International Organization for Standardization, 2005)

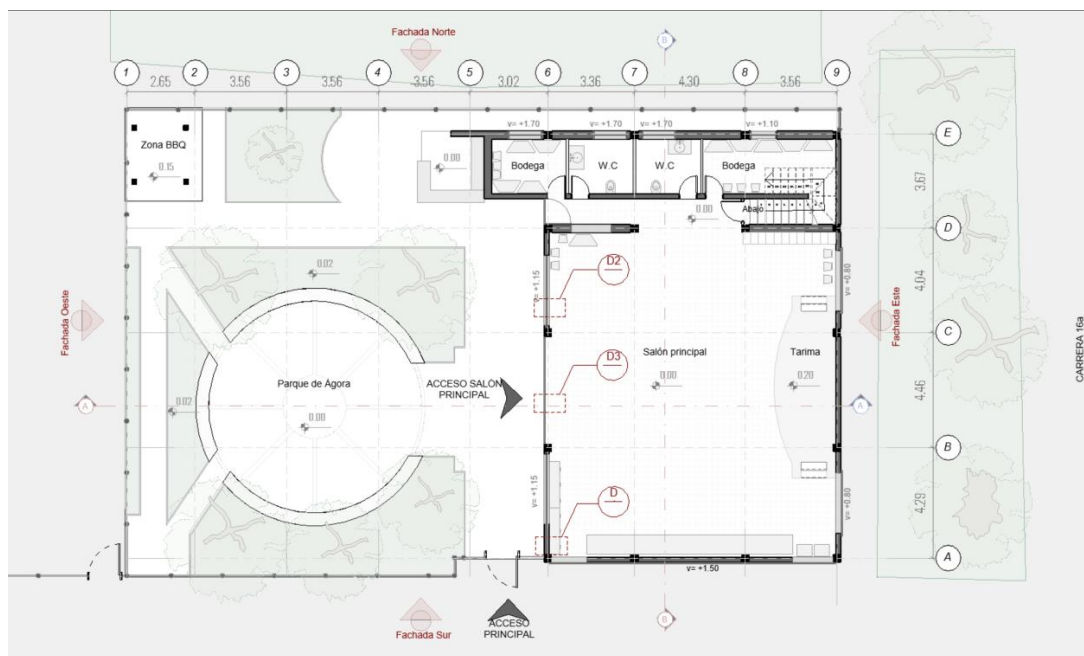
Figura 30. Exterior del edificio actual:



Nota: (International Organization for Standardization, 2005)

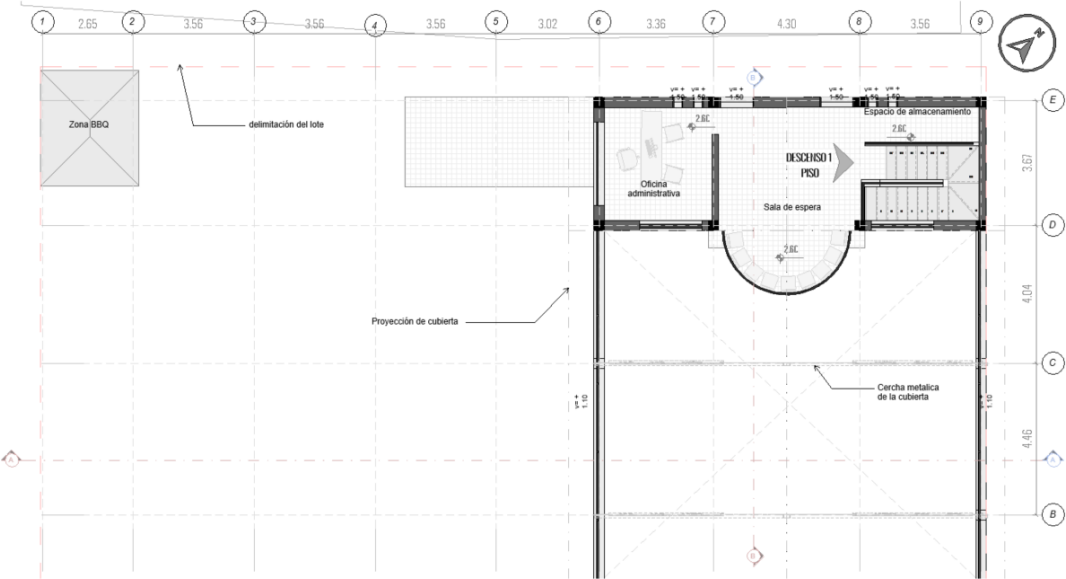
- *Reunión del material base y construcción del modelo 3D en Revit:* a partir de la información obtenida en el levantamiento previo. Se elaboraron los planos técnicos correspondientes al primer y segundo piso, las fachadas y la representación tridimensional del edificio, con el fin de contar con una documentación completa y precisa que permitiera comprender la configuración espacial, formal y constructiva del inmueble. Además, el modelo generado sirvió como base para realizar la simulación en el software DesignBuilder, facilitando el análisis del comportamiento térmico y energético del edificio existente.

Figura 31. Planta Primer piso



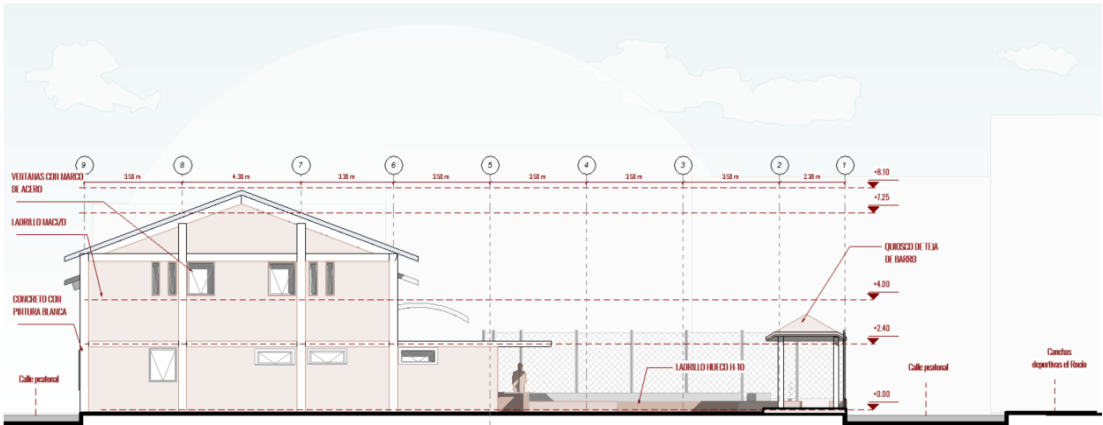
Nota: (Department of Energy, 2022)

Figura 32. Planta Segundo piso



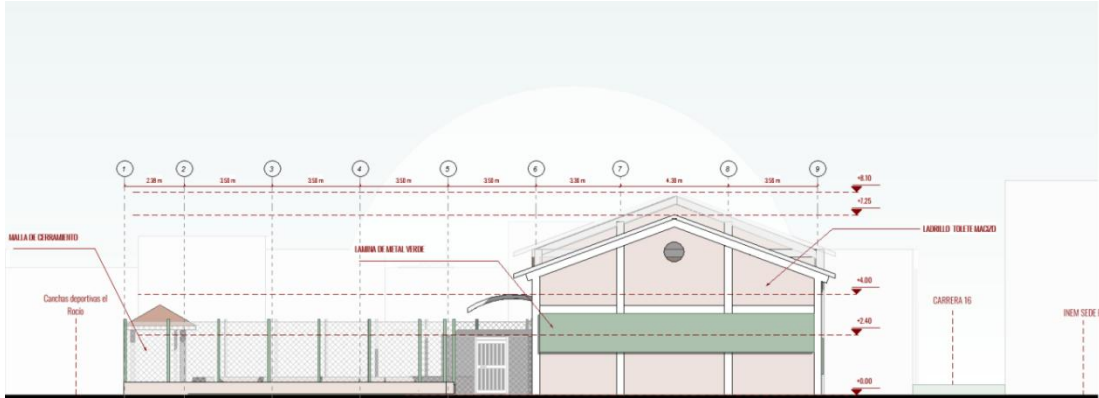
Nota: (Department of Energy, 2022)

Figura 33. Fachada Norte



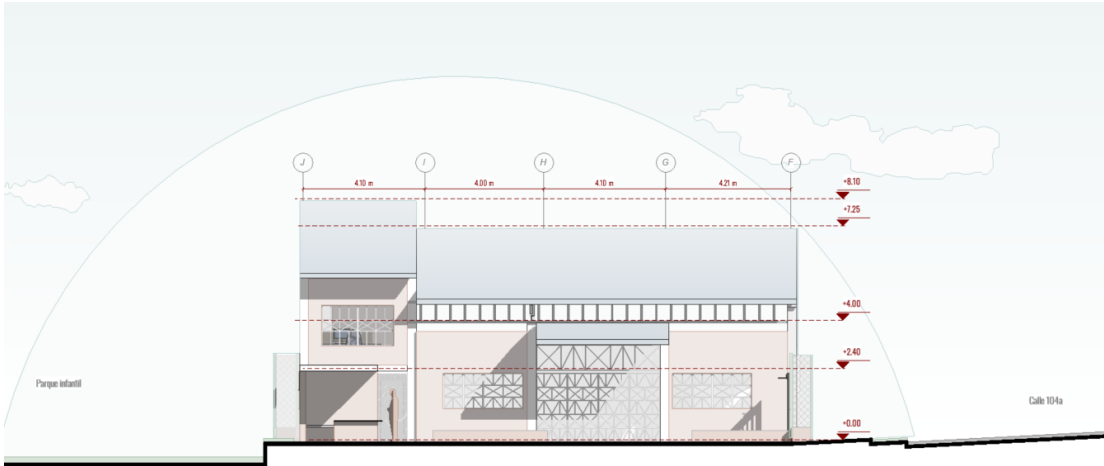
Nota: (Department of Energy, 2022)

Figura 34. Fachada Este



Nota: (Department of Energy, 2022)

Figura 35. Fachada Sur

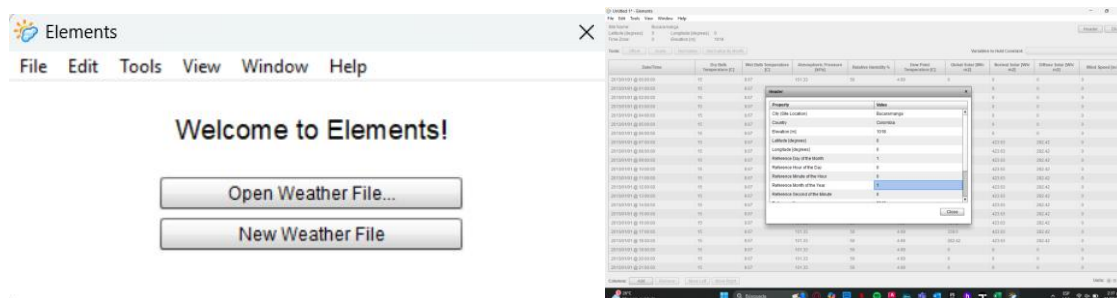


Nota: (Department of Energy, 2022)

10.2.1 Simulación inicial

- Configuración de condiciones climáticas y de ocupación: se ingresó a la aplicación de ELEMENTS para utilizar el documento TMY previamente descargado, con los datos extraídos del documento del año tipo. Se empezó a reemplazar la información en la aplicación ELEMENTS, ingresando los valores climáticos correspondientes para cada variable, como temperatura y humedad. Este proceso permitirá configurar el entorno de simulación de manera precisa, adaptando las condiciones climáticas locales al modelo arquitectónico, lo cual es fundamental para evaluar el confort térmico y optimizar el diseño bioclimático del proyecto (Crawley, Hand, & Kummert, 2008).

Figura 36. Aplicación de ELEMENTS



Nota: (Crawley, Hand, & Kummert, 2008).

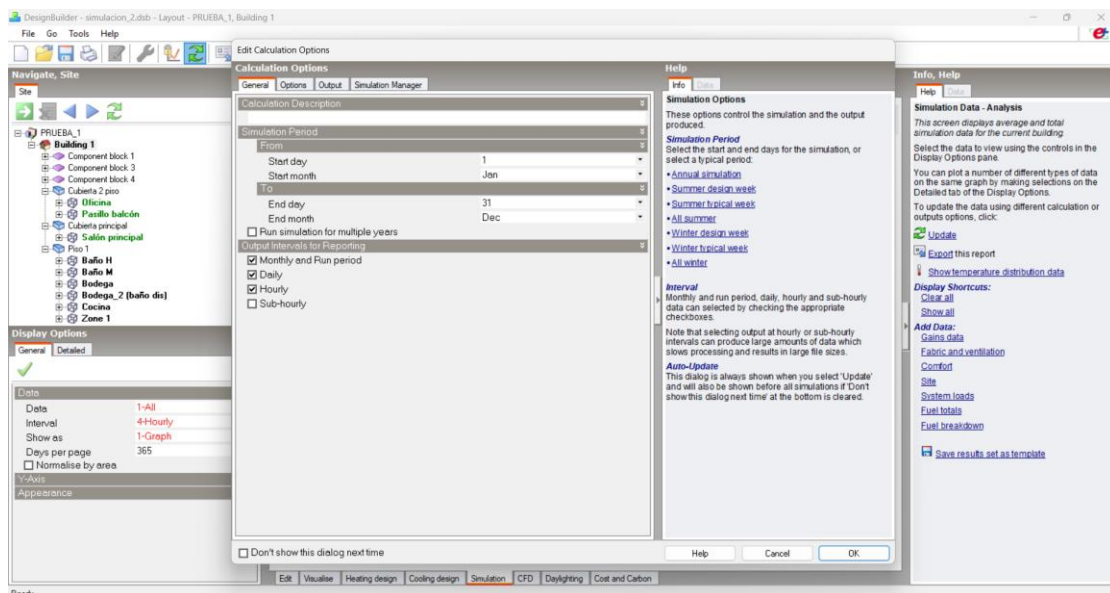
Después de actualizar los datos en el aplicativo de Elementos, se procedió a descargarlos en un archivo EPW, para proceder a la configuración del software.

- *Instalación y configuración del software DesignBuilder con EnergyPlus:* en el software DesignBuilder, se realizaron los pasos iniciales para preparar el entorno de simulación. El proceso incluyó:

- Instalación del programa, con el acompañamiento de un docente, quien proporcionó los enlaces de descarga y los archivos necesarios.
- Conversión del archivo climático al formato EPW, necesario para el funcionamiento del programa. (Previamente ya realizado)
- Carga y retroalimentación del archivo climático dentro del software, utilizando datos previamente obtenidos en formato EPW.

Una vez cargados los datos, se hizo una revisión para corregir posibles errores y asegurar que la información climática estuviera correctamente integrada. Con esto, se estableció la base para avanzar en las próximas simulaciones del proyecto.

Figura 37. Retroalimentación del archivo climático dentro del software

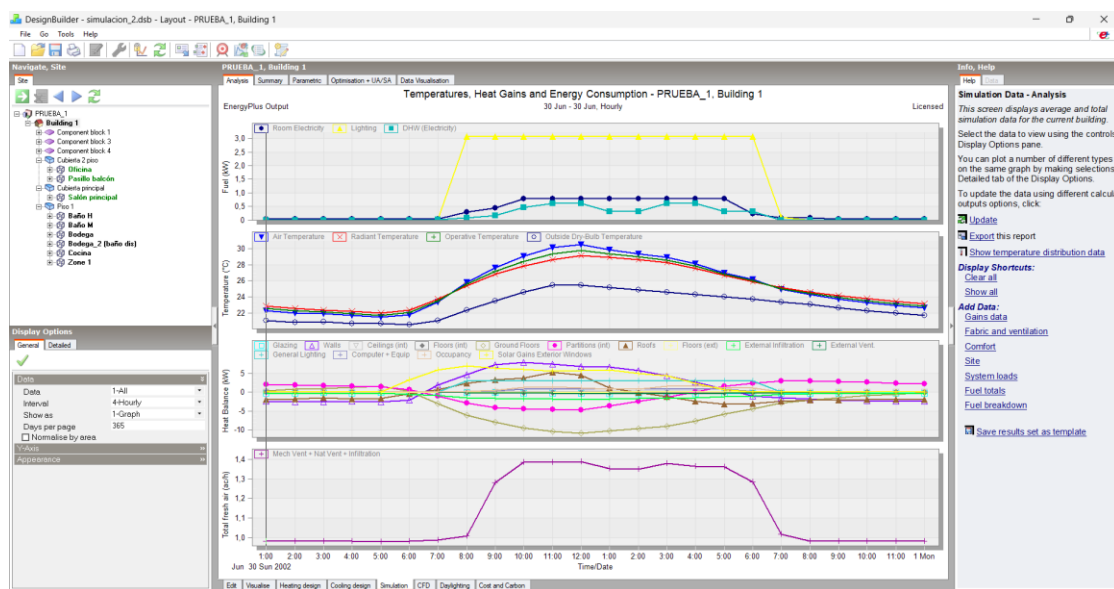


Nota: (Crawley, Hand, & Kummert, 2008).

Una vez realizada la modificación del lugar dentro del modelo, el software DesignBuilder genera las primeras gráficas de salida. Estas gráficas se basan en la información climática y contextual previamente suministrada, y permiten comenzar a visualizar cómo responde el entorno simulado a las condiciones del sitio (Crawley, Hand, & Kummert, 2008).

Estas representaciones gráficas proporcionan datos iniciales fundamentales para el análisis bioclimático del proyecto.

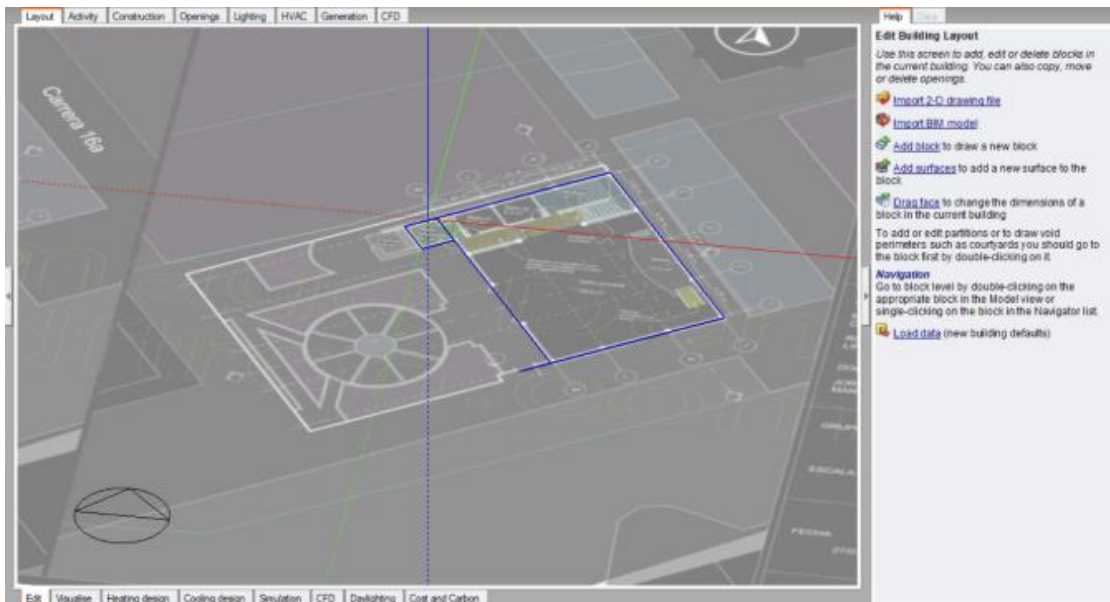
Figura 38. Primeras gráficas del software



Nota: (Crawley, Hand, & Kummert, 2008).

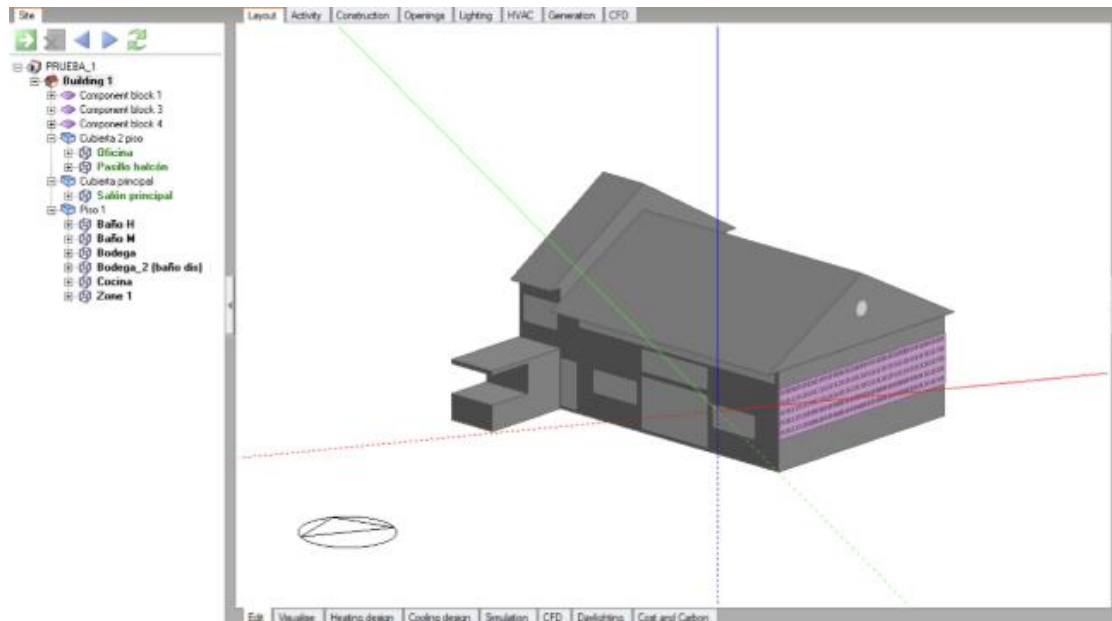
5.3 Modelado del edificio en el simulador:

Para el proceso de modelado en el simulador, se convirtió una de las plantas arquitectónicas previamente hechas en revit a formato PDF y se ajustó a escala real dentro del software, como preparación para el modelado.

Figura 39. Planta en perspectiva en el software

Nota: (DesignBuilder Software Ltd, 2021).

Posteriormente, se desarrolló el primer nivel del proyecto, incorporando las divisiones internas generales según la distribución original. Este proceso da inicio al modelado necesario para los análisis bioclimáticos posteriores.

Figura 40. Modelado del Ágora en el software

Nota: (DesignBuilder Software Ltd, 2021).

10.3 Ajuste de actividades por espacio en el simulador: se asignaron a cada zona del modelo las actividades correspondientes, ajustando los parámetros de carga metabólica, horarios de uso, densidad de ocupación y caudal de aire, de acuerdo con la función real de cada espacio (reuniones, circulación, oficinas, entre otros).

10.4 Factor metabólico de una persona en reposo: 0,86

- Este valor salió de que el programa nos da un rango de metabolismo por persona y lo que se hizo fue sacar la media debido a que al ágora asisten las tres diferentes edades
- Actividad metabólica: 180
- Sale de una tabla proporcionada en la clase de énfasis en bioclimática (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021).

Figura 41. Velocidad del metabolismo**Velocidad del metabolismo según la actividad**

ACTIVIDAD		VELOCIDAD DEL METABOLISMO		
		(W/m ²)	(W)	(met)
00. Nula	Metabolismo basal.	41/44	65/79	0,65/0,79
0. Mínima	Descansando.	65	115	1,15
1. Baja	Actividad manual sentado. Ligeros desplazamientos (<1,0 m/s).	100	180	1,80
2. Media	Trabajos con brazos y piernas. Desplazamientos a velocidad moderada (1,0-1,5 m/s).	165	295	2,95
3. Alta	Trabajos intensos. Desplazamientos rápidos (1,5-2,0 m/s).	230	415	4,15
4. Muy alta	Trabajos muy intensos. Desplazamientos corriendo (>2,0 m/s).	290	520	5,20

Nota: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021).

- **Horarios de uso:** las simulaciones tendrán una comparativa en los días: (IDEAM se tomó las distintas velocidades del viento en el atlas del viento)
 - El día más caluroso con la velocidad del aire más alta
 - El día más caluroso con la velocidad del aire más baja
 - El día más frío con la velocidad del aire más alta
 - El día más frío con la velocidad del aire más baja

Horario de uso establecido para la simulación: (08:00AM-11:00AM; 02:00PM-06:00PM)

(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021)

- **Densidad ocupacional;** la densidad ocupacional (m² por persona) se sacó de la norma NSR-10. "En la siguiente tabla K.3.3-1 se presentan los valores normales del factor de carga que deben utilizarse para el cálculo de la carga de ocupación de un piso o espacio ocupado, según los diferentes Grupos de Ocupación."

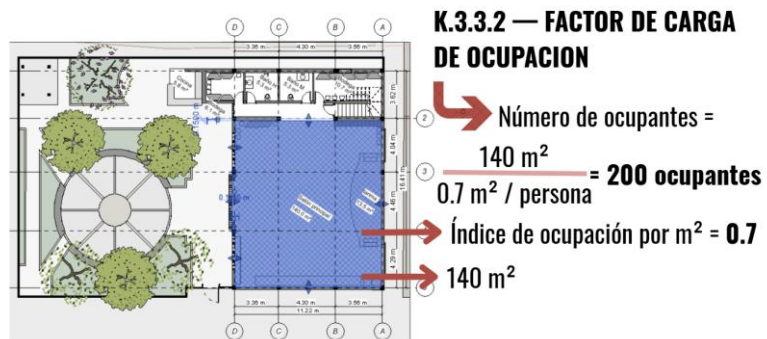
Figura 42. Índice de ocupación

Tabla K.3.3-1 (continuación)
Índice de ocupación

Nomenclatura	Grupos de Ocupación	Área neta de piso en metros cuadrados por ocupante
L	LUGARES DE REUNIÓN	
L-1	Deportivos (Sin asientos fijos)	0.7
L-2	Culturales y teatros (Sin asientos fijos)	1.3
L-3	Sociales y Recreativos	0.7
L-4	Religiosos	0.7
L-5	De transporte (No menos de 1.5 veces la capacidad de todos los vehículos que puedan descargarse simultáneamente)	0.3

Nota: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021).

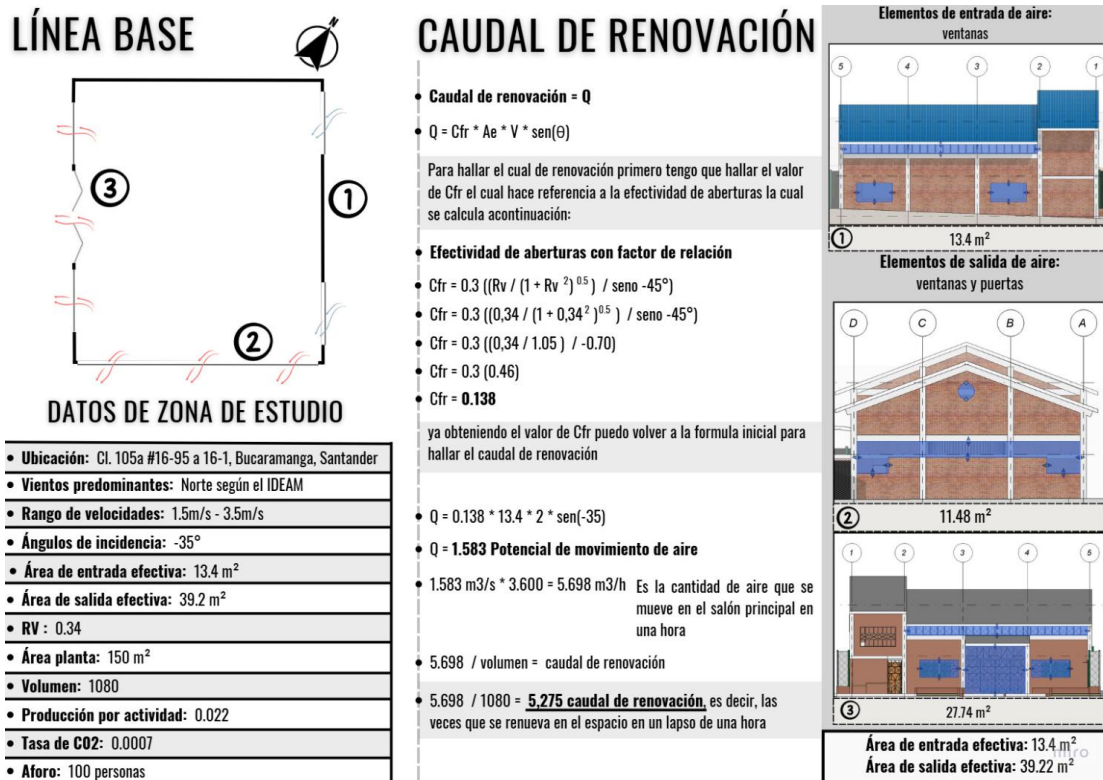
Figura 43. Factor de carga



Nota: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021).

- *Caudal del aire:* el caudal de aire permite determinar la cantidad de aire que se renueva en un espacio, evaluando la eficiencia de la ventilación natural en el Ágora (línea base).

Figura 44. Línea de Base



Nota: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021)

Las siguientes tablas muestran la caudal de renovación del aire del salón principal del ágora en diferentes condiciones donde varía la velocidad y el ángulo del viento, con el objetivo de verificar el comportamiento de la ventilación interior del edificio en los escenarios donde menos se produzca una ventilación y donde más el edificio tenga una ventilación.

Figura 45. Ventilación del Edificio

CALCULO DE Q (ACT CLASE)		CALIDAD DEL AIRE (ACT CLASE)		CALCULO DE Q (ACT CLASE)		CALIDAD DEL AIRE (ACT CLASE)		CALCULO DE Q (ACT CLASE)		CALIDAD DEL AIRE (ACT CLASE)	
ANGULO INCIDENCIA VIENTO	10	CO2 POR ACTIVIDAD	0.027	ANGULO INCIDENCIA VIENTO	45	CO2 POR ACTIVIDAD	0.027	ANGULO INCIDENCIA VIENTO	90	CO2 POR ACTIVIDAD	0.027
VELOCIDADES DEL VIENTO	0.2	TIPO DE AIRE	0.0007	VELOCIDADES DEL VIENTO	0.2	TIPO DE AIRE	0.0007	VELOCIDADES DEL VIENTO	0.2	TIPO DE AIRE	0.0007
VOLUMEN ESPACIO	1080	AFORO	100	VOLUMEN ESPACIO	1080	AFORO	100	VOLUMEN ESPACIO	1080	AFORO	100
Rv	2.93	VOLUMEN ESPACIO	1080	Rv	2.93	VOLUMEN ESPACIO	1080	Rv	2.93	VOLUMEN ESPACIO	1080
As	39.20	M3/HORA (persona)	73.33333333	As	39.20	M3/HORA	73.33333333	As	39.20	M3/HORA	73.33333333
Ae	13.40	CALIDAD DEL AIRE	6.79	Ae	13.40	CALIDAD DEL AIRE	6.79	Ae	13.40	CALIDAD DEL AIRE	6.79
Cfr	0.80	personas	100	Cfr	0.80	personas	100	Cfr	0.80	personas	100
Q	1345	velocidades	0.2	Q	8478	velocidades	0.2	Q	7747	velocidades	0.2
Cambios/Hora	1.25	ángulos	10	Cambios/Hora	5.07	ángulos	45	Cambios/Hora	7.17	ángulos	90

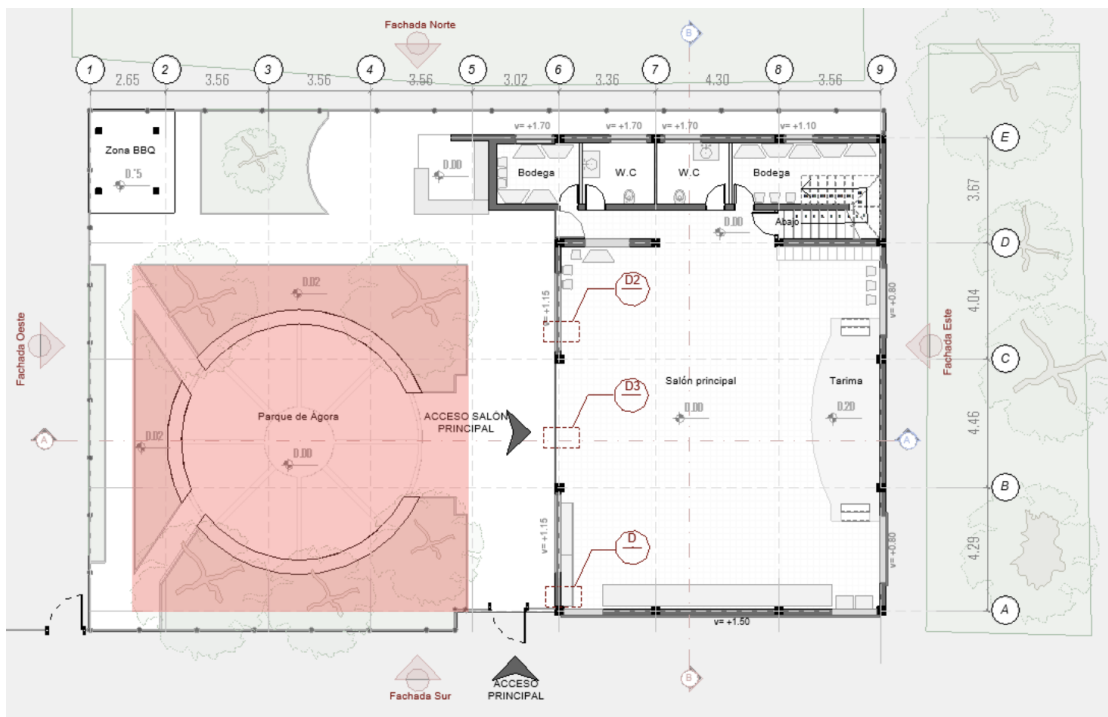
CALCULO DE Q (ACT CLASE)		CALIDAD DEL AIRE (ACT CLASE)		CALCULO DE Q (ACT CLASE)		CALIDAD DEL AIRE (ACT CLASE)		CALCULO DE Q (ACT CLASE)		CALIDAD DEL AIRE (ACT CLASE)	
ANGULO INCIDENCIA VIENTO	10	CO2 POR ACTIVIDAD	0.027	ANGULO INCIDENCIA VIENTO	45	CO2 POR ACTIVIDAD	0.027	ANGULO INCIDENCIA VIENTO	90	CO2 POR ACTIVIDAD	0.027
VELOCIDADES DEL VIENTO	0.5	TIPO DE AIRE	0.0007	VELOCIDADES DEL VIENTO	0.5	TIPO DE AIRE	0.0007	VELOCIDADES DEL VIENTO	0.5	TIPO DE AIRE	0.0007
VOLUMEN ESPACIO	1080	AFORO	100	VOLUMEN ESPACIO	1080	AFORO	100	VOLUMEN ESPACIO	1080	AFORO	100
Rv	2.93	VOLUMEN ESPACIO	1080	Rv	2.93	VOLUMEN ESPACIO	1080	Rv	2.93	VOLUMEN ESPACIO	1080
As	39.20	M3/HORA (persona)	73.33333333	As	39.20	M3/HORA	73.33333333	As	39.20	M3/HORA	73.33333333
Ae	13.40	CALIDAD DEL AIRE	6.79	Ae	13.40	CALIDAD DEL AIRE	6.79	Ae	13.40	CALIDAD DEL AIRE	6.79
Cfr	0.80	personas	100	Cfr	0.80	personas	100	Cfr	0.80	personas	100
Q	3363	velocidades	0.5	Q	13694	velocidades	0.5	Q	19366	velocidades	0.5
Cambios/Hora	3.11	ángulos	10	Cambios/Hora	12.68	ángulos	45	Cambios/Hora	17.93	ángulos	90

CALCULO DE Q (ACT CLASE)		CALIDAD DEL AIRE (ACT CLASE)		CALCULO DE Q (ACT CLASE)		CALIDAD DEL AIRE (ACT CLASE)		CALCULO DE Q (ACT CLASE)		CALIDAD DEL AIRE (ACT CLASE)	
ANGULO INCIDENCIA VIENTO	10	CO2 POR ACTIVIDAD	0.027	ANGULO INCIDENCIA VIENTO	45	CO2 POR ACTIVIDAD	0.027	ANGULO INCIDENCIA VIENTO	90	CO2 POR ACTIVIDAD	0.027
VELOCIDADES DEL VIENTO	1	TIPO DE AIRE	0.0007	VELOCIDADES DEL VIENTO	1	TIPO DE AIRE	0.0007	VELOCIDADES DEL VIENTO	1	TIPO DE AIRE	0.0007
VOLUMEN ESPACIO	1080	AFORO	100	VOLUMEN ESPACIO	1080	AFORO	100	VOLUMEN ESPACIO	1080	AFORO	100
Rv	2.93	VOLUMEN ESPACIO	1080	Rv	2.93	VOLUMEN ESPACIO	1080	Rv	2.93	VOLUMEN ESPACIO	1080
As	39.20	M3/HORA (persona)	73.33333333	As	39.20	M3/HORA	73.33333333	As	39.20	M3/HORA	73.33333333
Ae	13.40	CALIDAD DEL AIRE	6.79	Ae	13.40	CALIDAD DEL AIRE	6.79	Ae	13.40	CALIDAD DEL AIRE	6.79
Cfr	0.80	personas	100	Cfr	0.80	personas	100	Cfr	0.80	personas	100
Q	6726	velocidades	1	Q	27348	velocidades	1	Q	38733	velocidades	1
Cambios/Hora	6.23	ángulos	10	Cambios/Hora	25.36	ángulos	45	Cambios/Hora	30.96	ángulos	90

Nota: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021)

10.5 Análisis de resultados de línea base y simulación inicial: Identificación de oportunidades de intervención urbana, funcional, formal y técnica:

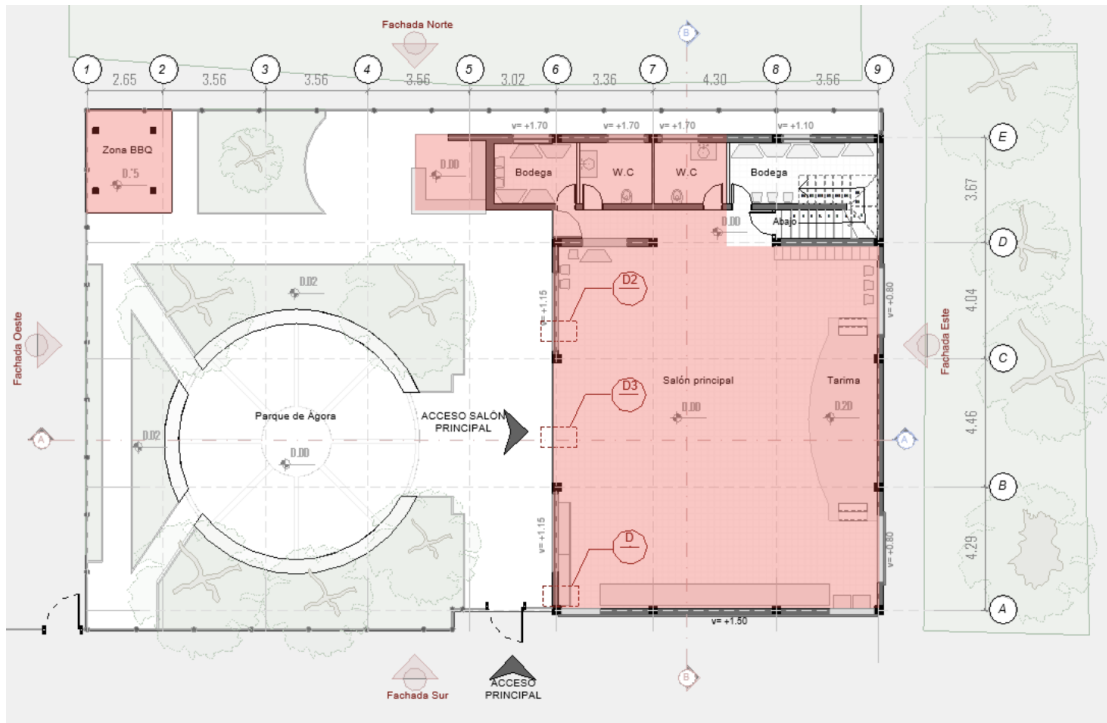
Figura 46. Oportunidades de intervención urbana:



Nota: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021)

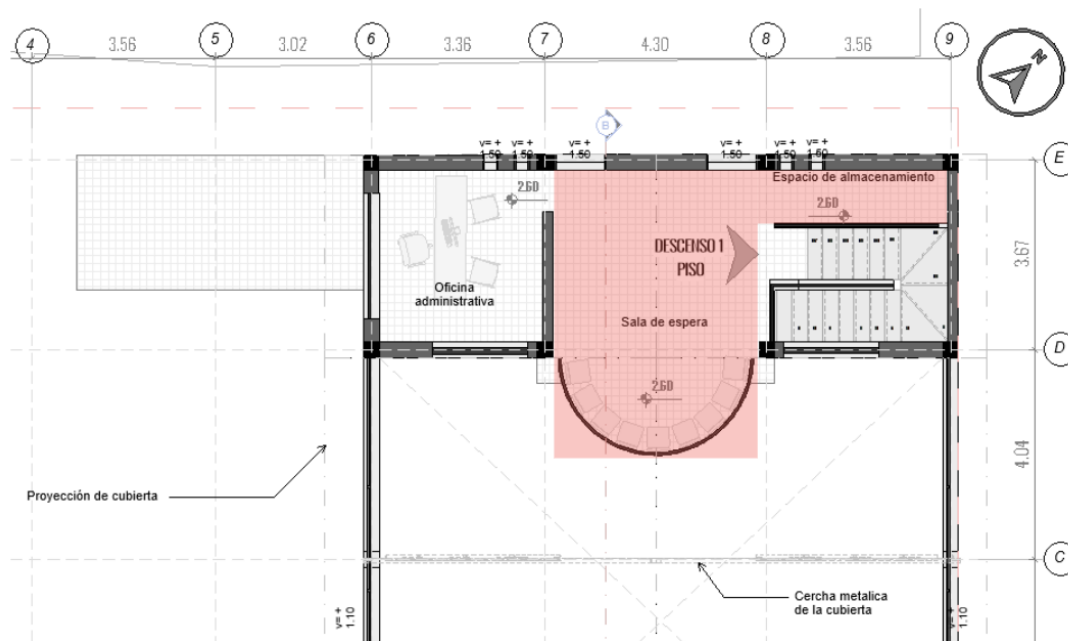
Se identificó una oportunidad de intervención en el ámbito urbano, dado que el edificio actual cuenta con un espacio exterior carente de diseño y articulación. Este aspecto evidenció la necesidad de reconsiderar la integración de la vegetación y de incorporar elementos que favorezcan la interacción y el uso social del entorno Nota: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021)..

- *Oportunidades de intervención funcional:* se identificó la oportunidad de abordar el diseño del ágora retomando los principios del ágora de Atenas como referencia histórica y conceptual, reconociendo que este espacio, en la antigüedad, articulaba diversas dimensiones de la vida colectiva. En el ágora griega coexistían funciones comerciales, mediante pórticos y galerías que resguardaban a los vendedores; políticas, con áreas destinadas a discursos y asambleas ciudadanas; judiciales, a través de tribunales al aire libre o en recintos anexos; religiosas, con templos y altares que otorgaban identidad simbólica al lugar; y socioculturales, como escenarios de encuentro cotidiano, reflexión filosófica y manifestaciones artísticas.

Figura 47. Distribución del espacio

Nota: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021)

A partir de esta comprensión, se identificó la necesidad de repensar la distribución espacial del edificio: en el primer nivel, contemplando un salón principal con mayor flexibilidad de uso, junto con la mejora de la cocina, la zona de BBQ, los baños y los pasillos para garantizar su accesibilidad.

Figura 48. Espacio Interior

Nota: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021)

Y en el segundo nivel, proponiendo una sala de espera más funcional que optimice el espacio y potencie el uso del área superior.

- *Oportunidades de intervención formal:* se identificaron oportunidades de intervención formal orientadas a mejorar las condiciones de confort en el ágora, a partir del análisis de cada una de sus fachadas:
 - *Fachada Norte:* Se evidenció la posibilidad de eliminar áreas con exceso de acristalamiento, con el fin de reducir la ganancia térmica no deseada.
 - *Fachada Sur:* Se identificaron revestimientos con deficiente ventilación y una envolvente térmica inadecuada, que requieren ser optimizados.
 - *Fachada Este:* Se observó un techo de baja altura, con limitadas condiciones de ventilación y renovación de aire, lo cual representa una oportunidad de mejora.

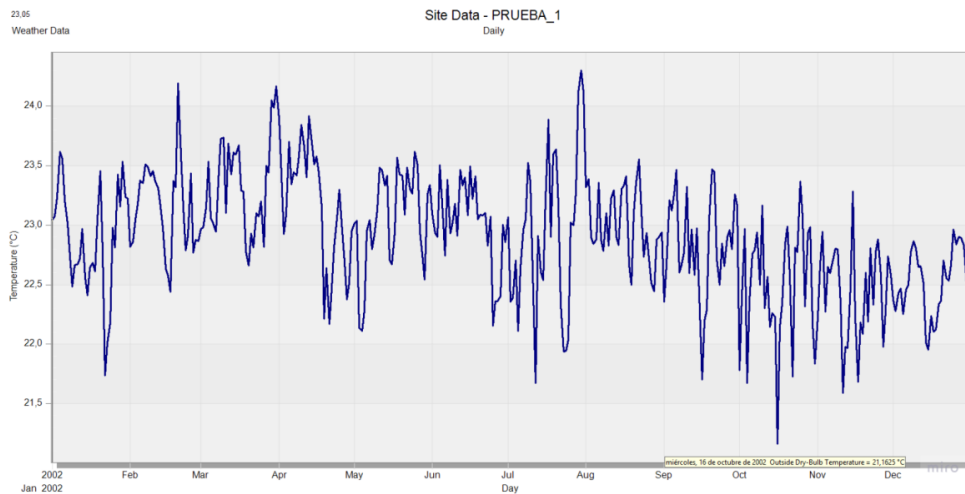
- **Fachada Oeste:** Se detectaron aberturas innecesarias en muros con alta incidencia solar, que afectan el control térmico del interior y pueden ser replanteadas para mejorar el desempeño ambiental del edificio.
- *Oportunidades de intervención Técnico:* el análisis del comportamiento térmico de los materiales permitió identificar oportunidades de mejora relacionadas con el aislamiento del edificio. Estos resultados evidencian la posibilidad de plantear una propuesta de selección o sustitución de materiales más adecuados al clima local, orientada a optimizar el confort térmico y el desempeño bioclimático de la edificación.

8.5 Análisis del comportamiento ambiental del edificio mediante simulación: para el desarrollo de este punto, se realizó la simulación en el software DesignBuilder con el propósito de analizar el comportamiento ambiental del edificio bajo diferentes condiciones climáticas. El estudio se efectuó considerando dos escenarios representativos: el día más cálido y el día más frío del año, con el fin de comparar el desempeño térmico y de ventilación del edificio en condiciones extremas.

Esta etapa permitió obtener datos precisos sobre variables ambientales, fundamentales para comprender su comportamiento bioclimático y establecer una base comparativa para su posterior optimización.

- *Escenarios representativos: el día más frío*

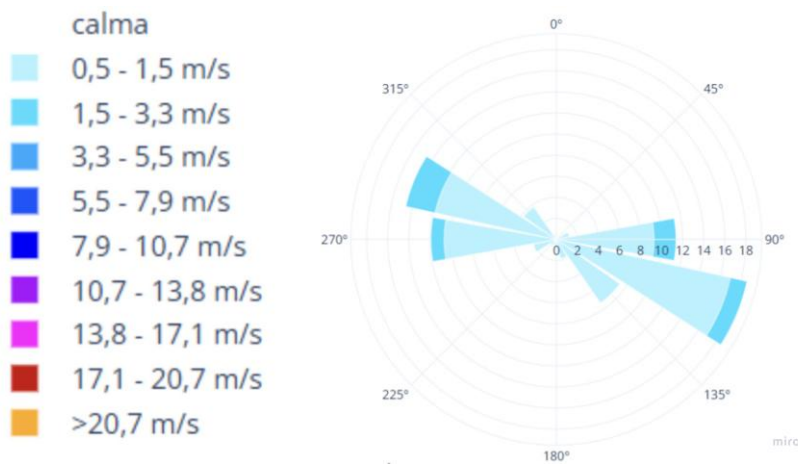
Figura 49. Datos climatológicos para la simulación el día más frío



Nota: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021)

El Por medio del programa DesignBuilder se simuló el sitio con ayuda de la base de datos del EPW que se suministró al inicio, esta simulación nos da como resultado el día más caliente del año, esto para simular las propuestas y la línea base en los peores escenarios es decir es los días más calientes del año.

Figura 50. Vientos sacados del IDEAM

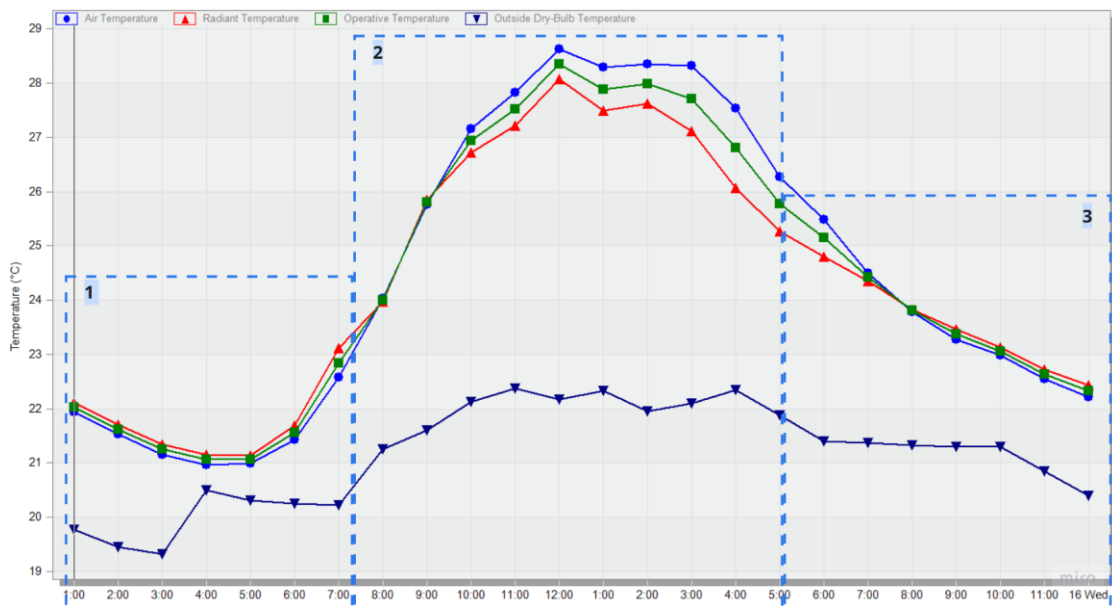


Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2020)

La velocidad del viento se tomó del IDEAM del documento de Atlas del viento de Colombia en el cual nos da las variables de la velocidad del tiempo dando como resultado que en las dos simulaciones del día más frío se correrán con unas velocidades de 0.5 y 3.3 tomando como referencia la velocidad más baja y alta.

- *Resultados de la primera simulación*

Figura 51. Resultados de la primera simulación el día más frío



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2020)

Figura 52. Resultados de la primera simulación el día más frío representados en una tabla de EXCEL

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
Air Temperature	22.0	21.5	21.2	21.1	21.1	21.4	22.5	24.0	25.8	27.0	27.8	28.5	28.2	28.2	28.2	27.5	26.5	25.5	24.5	23.8	23.2	22.8	22.5	22.2
Radiant Temperature	22.0	21.7	21.4	21.1	21.1	21.6	22.8	24.0	25.8	26.8	27.2	28.0	27.5	27.5	27.0	26.0	25.0	24.0	23.5	23.0	22.8	22.5	22.2	22.0
Operative Temperature	22.0	21.6	21.3	21.1	21.1	21.6	22.8	24.0	25.8	26.8	27.2	28.0	27.5	27.5	27.0	26.0	25.0	24.0	23.5	23.0	22.8	22.5	22.2	22.0
Outside Dry-Bulb Temperature	19.8	19.5	19.3	20.5	20.3	20.2	20.2	21.2	21.5	22.1	22.4	22.2	22.3	22.0	22.1	22.4	21.8	21.4	21.3	21.3	21.3	21.3	20.8	20.4

10.5 Explicación de los resultados de la primera simulación el día más frío: Las temperaturas interiores (aire, radiante y operativa) están alrededor de $\sim 21\text{--}22$ °C y por encima de la temperatura exterior, que está alrededor de los $\sim 19 - 20$ °C Este comportamiento es habitual cuando existe acumulación de calor interno durante la jornada nocturna. En otras palabras, si el edificio alcanzó durante el día un pico térmico elevado, es posible que no haya logrado disipar completamente ese calor durante la noche, lo que explica que al iniciar la mañana presente temperaturas interiores superiores a las del ambiente exterior.

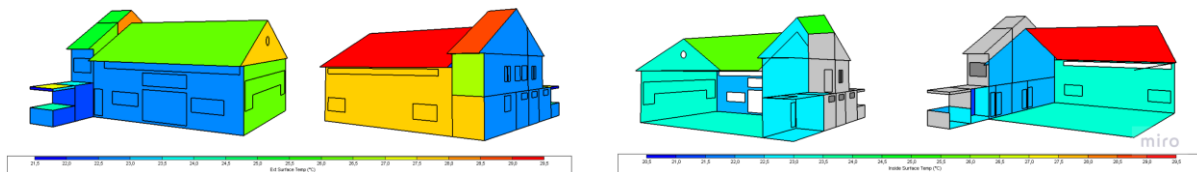
A partir de las 8:00 a. m., momento en el que el edificio inicia sus actividades, se observa un incremento tanto en la temperatura interior como en la exterior. No obstante, mientras la temperatura exterior alcanza aproximadamente los 22 °C, la temperatura interior se eleva hasta alrededor de 28 °C, generando una diferencia térmica de entre 6 y 7 °C. Esta discrepancia puede atribuirse principalmente a la intensa radiación solar incidente sobre las superficies del edificio, la cual provoca su calentamiento y, consecuentemente, la transferencia de calor hacia el interior del espacio.

Hacia las 5:00 p. m., cuando la radiación solar disminuye considerablemente, tanto la temperatura interior como la exterior presentan un descenso. La temperatura exterior desciende hasta aproximadamente 20 °C, mientras que las temperaturas interiores alcanzan valores cercanos a los 22 °C, evidenciando una diferencia de alrededor de 2 °C. Este comportamiento sugiere que el edificio responde térmicamente con la misma facilidad tanto para ganar como para perder calor. No obstante, debido a la elevada carga solar acumulada durante el día, la edificación tiende a retener parte de ese calor en su interior durante las horas nocturnas. En consecuencia, puede inferirse que existe una problemática asociada a la materialidad constructiva, ya que la

sobresaturación térmica interna indica que, en la mayor parte del día, el ambiente interior mantiene temperaturas superiores a las del entorno exterior.

- *Simulación el día más frío (temperatura en el edificio):* se realiza una simulación sobre el impacto solar en la edificación para determinar qué zonas del edificio tienen mayor incidencia solar, la simulación se hace en tres horarios específicos a las 8am - 12am - 18pm; a las 8:00 am porque es la hora donde abre el edificio, a las 12:00Pm porque es el día donde el sol está más fuerte y a las 6:00 pm porque a esa hora cierra el edificio.

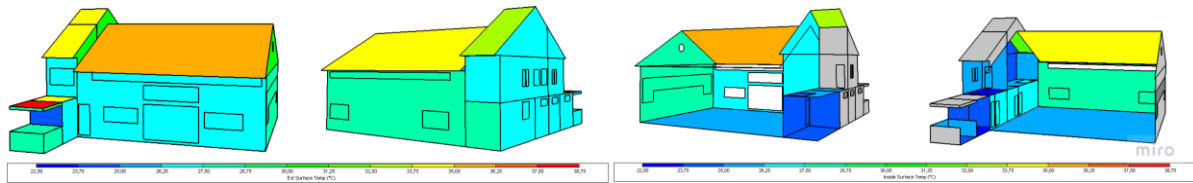
Figura 53. Simulación a la 8 am el día más frío



Nota: (DesignBuilder Software Ltd, 2021)

Se evidencia que, desde el inicio de la jornada en el Ágora, la fachada nororiental comienza a recibir las primeras incidencias de radiación solar, alcanzando temperaturas de hasta 28 °C. Asimismo, se identifica un comportamiento térmico crítico en la cubierta, la cual registra valores cercanos a los 30 °C en las primeras horas del día. En contraste, la temperatura interior aún se mantiene relativamente fresca, entre 22 °C y 25 °C; sin embargo, presenta una tendencia ascendente que la aproxima progresivamente a las temperaturas exteriores, que oscilan entre 28 °C y 30 °C.

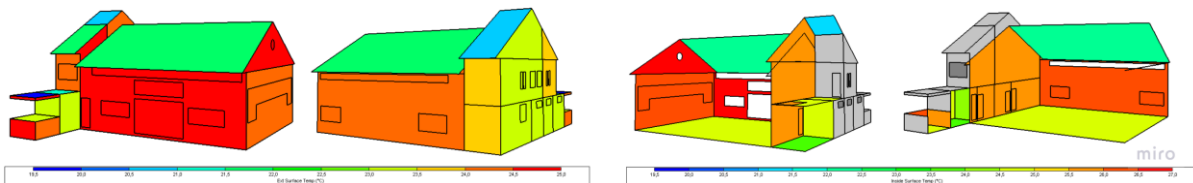
Figura 54. Simulación a la 12 am el día más frío



Nota: (DesignBuilder Software Ltd, 2021)

Durante el periodo de máxima incidencia solar en el exterior, el Ágora presenta un rango térmico notable entre sus fachadas. La fachada suroccidental se identifica como la más fría, con temperaturas cercanas a los 26 °C, mientras que otras zonas alcanzan valores próximos a los 35 °C. Estas diferencias reflejan una elevada acumulación de calor en los elementos expuestos, los cuales actúan como superficies de alta temperatura. Esta condición también se manifiesta en el interior del edificio, donde las temperaturas varían dentro de rangos similares, llegando a aproximarse a los 36 °C, lo que evidencia una importante transferencia de calor hacia los espacios internos.

Figura 55. Simulación a la 6 pm el día más frío



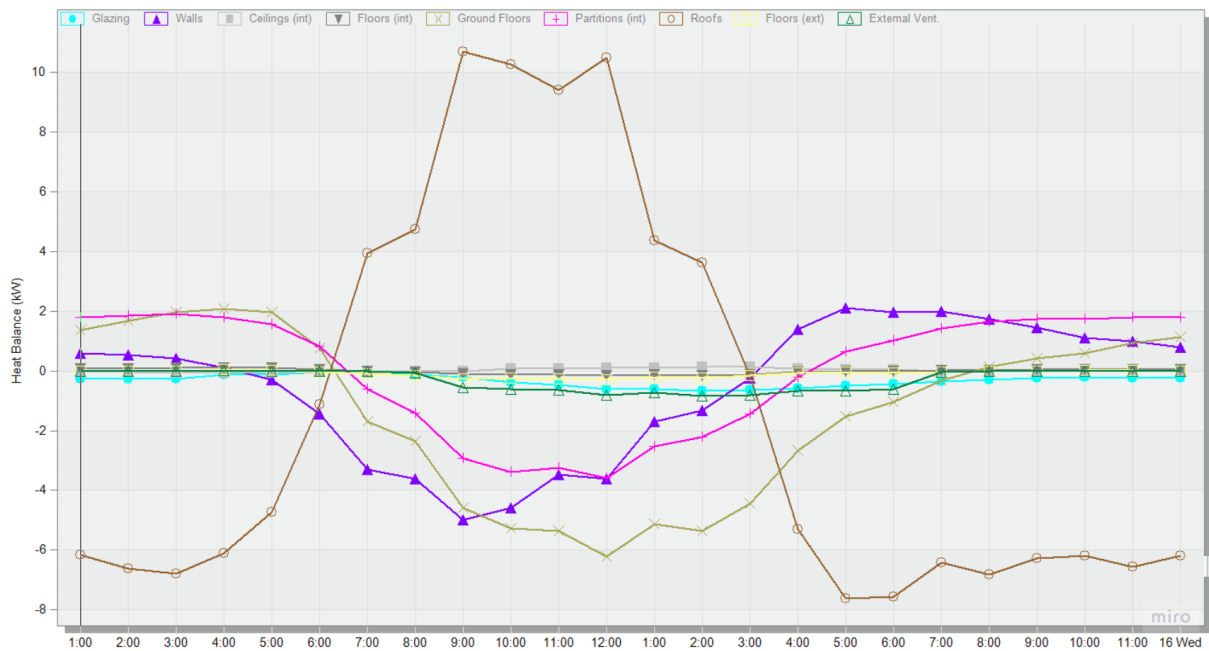
Nota: (DesignBuilder Software Ltd, 2021)

Al finalizar la jornada, aunque la incidencia solar ha disminuido considerablemente, el edificio aún presenta importantes afectaciones térmicas. Los elementos expuestos a la radiación solar conservan temperaturas entre 22 °C y 25 °C, evidenciando una lenta disipación del calor acumulado durante el día. Esta condición se ve agravada en el interior, donde las temperaturas oscilan entre 25 °C y 27 °C, lo que indica que el calor absorbido por las superficies exteriores es

rápidamente transferido hacia el espacio interno, generando un deterioro en las condiciones de confort térmico

- Simulación el día más frío (energía de lo materiales)

Figura 56. Resultados de la primera simulación de la energía de los materiales



Nota: (DesignBuilder Software Ltd, 2021)

Figura 57. Resultados de la primera simulación de la energía de los materiales representados en una tabla de EXCEL el día más frío

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
Glazing	-0.27	-0.28	-0.26	-0.13	-0.11	-0.04	-0.08	-0.13	-0.22	-0.39	-0.47	-0.61	-0.62	-0.66	-0.65	-0.57	-0.49	-0.45	-0.34	-0.29	-0.24	-0.22	-0.24	-0.24
Walls	0.6	0.52	0.41	0.11	-0.29	-1.43	-3.3	-3.6	-4.99	-4.99	-3.46	-3.62	-1.71	-1.32	-0.23	1.39	2.11	1.96	1.98	1.74	1.44	1.1	1	0.76
Ceilings (int)	-0.04	-0.05	-0.06	-0.06	-0.08	-0.08	-0.07	-0.01	-0.01	0.07	0.07	0.1	0.11	0.14	0.12	0.08	0.05	0.04	0	0	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02
Floors (int)	0.07	0.09	0.1	0.09	0.1	0.08	0	-0.05	-0.09	-0.14	-0.13	-0.16	-0.12	-0.15	-0.11	-0.04	-0.01	0	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.05
Ground Floor	1.35	1.67	1.97	2.07	1.95	0.77	-1.7	-2.36	-4.58	-3.36	-3.35	-6.22	-5.14	-3.36	-4.45	-2.69	-1.53	-1.04	-0.32	0.12	0.41	0.6	0.92	1.14
Partitions (int)	1.79	1.85	1.9	1.8	1.55	0.82	-0.61	-1.42	-2.93	-3.4	-3.25	-3.58	-2.52	-2.22	-1.43	-0.21	0.64	1.03	1.43	1.65	1.74	1.73	1.8	1.8
Roofs	-6.15	-6.61	-6.78	-6.1	-4.75	-1.14	3.93	4.75	16.7	10.25	9.39	10.48	4.38	3.61	-0.17	-5.31	-7.81	-7.97	-6.42	-6.81	-6.27	-6.2	-6.56	-6.19
Floors (ext)	-0.01	-0.01	0	0.04	0.03	-0.03	-0.09	-0.15	-0.27	-0.25	-0.27	-0.31	-0.2	-0.24	-0.16	-0.07	-0.05	-0.06	-0.04	-0.02	-0.01	0	0.01	0
External Vent.	0	0	0	0	0	0	-0.01	-0.08	-0.55	-0.62	-0.65	-0.82	-0.74	-0.85	-0.81	-0.66	-0.66	-0.62	-0.65	0	0	0	0	0

Nota: (DesignBuilder Software Ltd, 2021)

10.6 Explicación de los resultados de la primera simulación de la energía de los materiales el día más frío: el comportamiento térmico muestra un pico positivo pronunciado durante el día, alcanzando valores de aproximadamente +10 a +11 kW hacia media mañana o el mediodía, y valores fuertemente negativos durante la noche, cercanos a -6 a -8 kW. Este patrón indica que la cubierta alcanza su máxima ganancia térmica en las horas centrales del día, acumulando una cantidad significativa de calor. A partir de la 1:00 p. m., comienza un proceso de liberación progresiva de esta energía almacenada, de modo que hacia las 11:00 p. m. la cubierta ha disipado la mayor parte del calor retenido, contribuyendo a mantener elevadas las temperaturas en el espacio interior. De este comportamiento se puede inferir que la cubierta presenta una alta transmitancia térmica y un nivel insuficiente de aislamiento y reflectancia frente a la radiación solar incidente.

Se observan valores fuertemente negativos durante las horas centrales del día, del orden de -4 a -6 kW, que posteriormente se tornan positivos hacia la tarde y la noche. Este comportamiento sugiere que, durante la mañana y el mediodía, los muros actúan como un “sumidero térmico”, absorbiendo calor del ambiente interior debido a que la temperatura exterior es comparativamente más baja. En cambio, en horas nocturnas, los muros comienzan a liberar la energía acumulada, comportándose como una fuente de calor hacia el interior, fenómeno asociado a la inercia térmica del material y a las diferencias de temperatura entre el interior y el exterior.

Los valores que se mantienen cercanos a cero o con aportes mínimos indican que, en ese momento, las ventanas y la ventilación no representan la principal fuente de ganancias ni de pérdidas térmicas en la zona analizada.

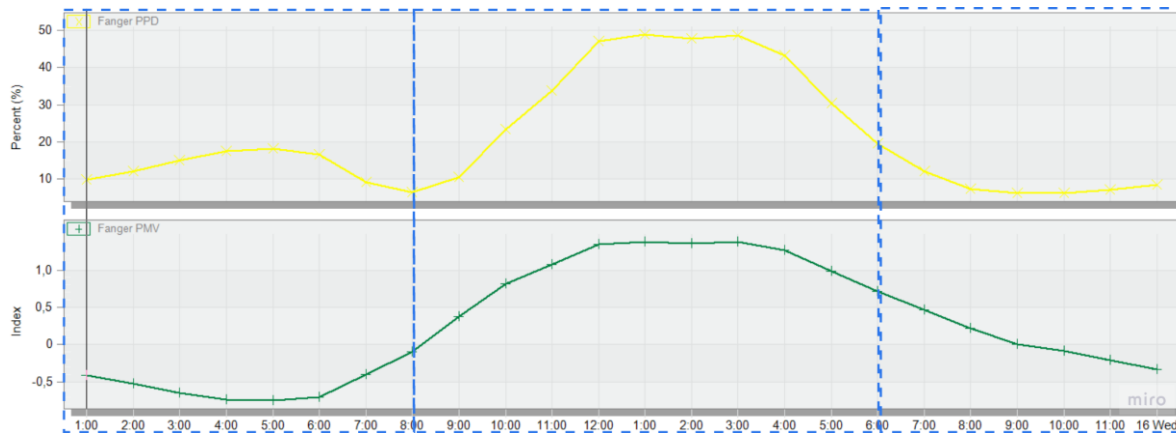
10.7 Simulación del confort térmico interior según método de Fanger en DesignBuilder el día más frío: el siguiente gráfico hace referencia a la evaluación térmica interior del edificio por medio del método de Fanger, este método consiste en dos índices principales los cuales son:

El PMV: Indica cómo se siente en promedio un grupo de personas respecto a las condiciones térmicas del lugar, este promedio se cuantifica por medio de una escala de frío a calor (-3 = muy frío, +3 = muy caliente), donde 0 representa un buen confort térmico, para la evaluación de este método se necesitan datos como temperatura del aire, temperatura radiante media, humedad relativa y velocidad del aire y datos de usuarios como lo son su nivel de actividad metabólica (met) y el aislamiento de la ropa (clo).

El PPD: Este índice hace referencia al porcentaje predicho de insatisfechos, el cual estima que el porcentaje de personas que, aun cuando el PMV esté en condiciones de confort, se sentirán incómodas (porque nunca se logra un 100% de satisfacción). y se estima que este porcentaje suele ser del 5% si el PMV está en el rango de confort, de lo contrario va aumentando dependiendo del PMV

Este método de la escala de Fanger es utilizado por normas internacionales como la ISO77300 y la ASHRAE 55 que son normativas internacionales que toma directamente el modelo de Fanger (PMV y PPD) como criterio de confort térmico en edificios.

Figura 58. Método de Fanger en DesignBuilder el día más frío



Nota: (DesignBuilder Software Ltd, 2021)

Figura 59. Método de Fanger en DesignBuilder el día más frío tabla de EXCEL

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
Fanger PPD	9.78	11.98	15.08	17.6	18.06	15.58	9.08	6.45	10.41	22.42	33.86	47.19	46.83	47.73	44.66	43.2	30.28	15.54	12.04	7.33	6.17	6.28	7.05	6.47
Fanger PMV	-0.41	-0.52	-0.65	-0.72	-0.75	-0.71	-0.4	-0.1	0.38	0.82	1.07	1.25	1.28	1.36	1.27	1.26	0.99	0.72	0.46	0.22	0	-0.09	-0.21	-0.33

Nota: (DesignBuilder Software Ltd, 2021)

Durante la madrugada y las horas previas al inicio de las actividades en el Ágora, se observa que el índice PMV (Predicted Mean Vote) varía entre 0 y 0.7, mientras que el PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) alcanza valores de hasta un 18%. Estos resultados indican que la mayoría de los ocupantes potenciales durante ese periodo se encerrarían térmicamente satisfechos, lo que evidencia la presencia de condiciones adecuadas de confort térmico.

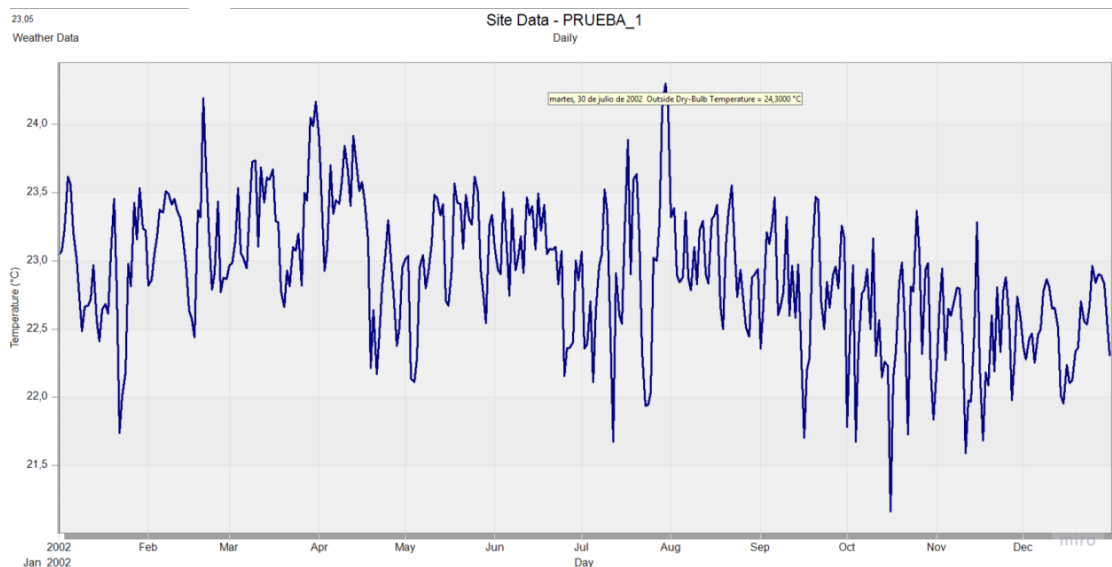
Durante el horario de uso del edificio se evidencia un incremento significativo de la temperatura interior, que alcanza valores cercanos a los 28 °C. Este aumento térmico genera una sensación de incomodidad entre los ocupantes, lo que se refleja en el incremento del índice PMV hasta 1.38. En consecuencia, el PPD se eleva hasta aproximadamente un 48%, lo que indica que casi la mitad de los usuarios perciben condiciones térmicas insatisfactorias. Este comportamiento

se asocia principalmente al aumento de la temperatura interior y a la incidencia directa de la radiación solar sobre la envolvente del edificio.

Una vez el Ágora culmina sus actividades y cesa la radiación solar, se evidencia una tendencia hacia la estabilización de las condiciones térmicas. En este periodo, el índice PMV oscila entre 0 y -0.5 , lo que indica que el edificio alcanza nuevamente un nivel adecuado de confort térmico. De manera correspondiente, el PPD disminuye significativamente, pasando del 48% de ocupantes insatisfechos a aproximadamente un 6%, reflejando una mejora sustancial en la percepción térmica de los usuarios.

- *Escenarios representativos: el día más cálido*

Figura 60. Datos climatológicos para la simulación el día más caliente

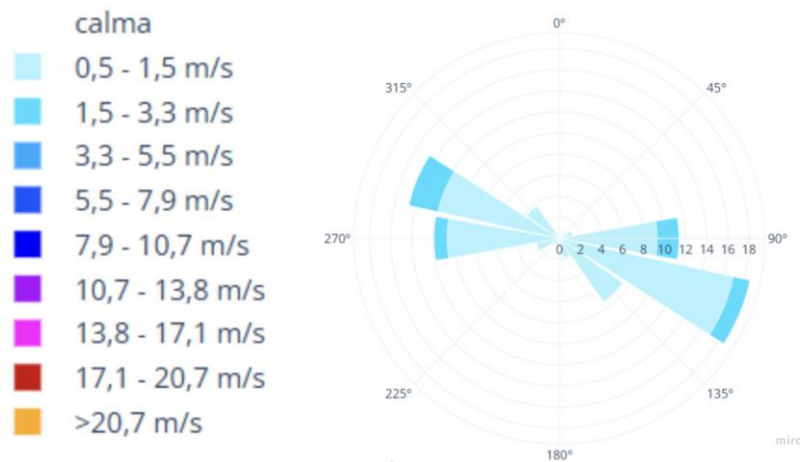


Nota: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021)

El Por medio del programa DesignBuilder se simuló el sitio con ayuda de la base de datos del EPW que se suministró al inicio, esta simulación nos da como resultado el día más caliente del

año, esto para simular las propuestas y la línea base en los peores escenarios es decir es los días más calientes del año.

Figura 61. Vientos sacados del IDEAM

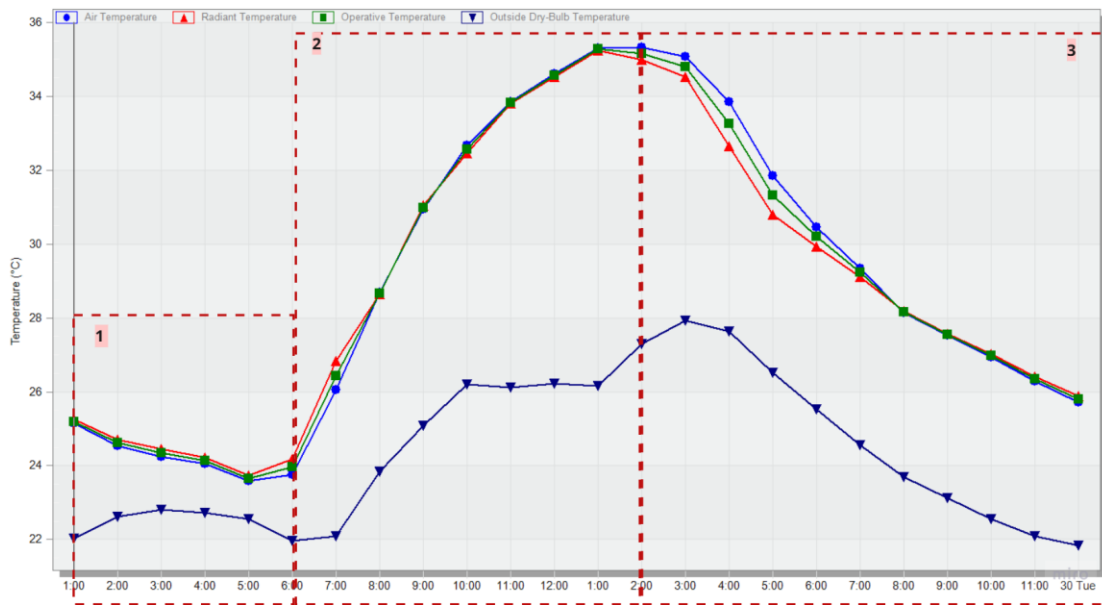


Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2020)

La velocidad del viento se tomó del IDEAM del documento de Atlas del viento de Colombia en el cual nos da las variables de la velocidad del tiempo dando como resultado que en las dos simulaciones del día más frío se correrán con unas velocidades de 0.5 y 3.3 tomando como referencia la velocidad más baja y más alta.

- *Resultados de la primera simulación*

Figura 62. Resultados de la primera simulación el día más caliente



Nota: (DesignBuilder Software Ltd, 2021)

Figura 63. Resultados de la primera simulación el día más caliente tabla de EXCEL

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
Air Temperature	25.15	24.53	24.25	24.06	23.58	23.75	26.04	28.69	30.04	32.66	33.85	34.61	35.3	35.39	35.06	33.85	31.85	30.46	29.35	28.14	27.52	26.94	26.28	25.72
Radiant Temperature	23.25	24.71	24.44	24.21	23.73	24.18	26.81	28.64	31.04	32.46	33.8	34.61	35.3	34.68	34.52	33.05	30.79	29.93	29.12	28.18	27.57	27.02	26.4	25.86
Operative Temperature	25.2	24.62	24.35	24.14	23.66	23.97	26.44	28.67	30.99	32.56	33.83	34.56	35.27	35.36	34.8	33.25	31.32	30.2	29.23	28.16	27.55	26.98	26.34	25.8
Outside Dry-Bulb Temperature	22.92	22.63	22.8	22.75	22.55	21.98	22.1	23.85	25.08	26.2	26.13	26.23	26.15	27.3	27.92	27.63	26.52	25.52	24.55	23.7	23.13	22.55	22.1	21.85

Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

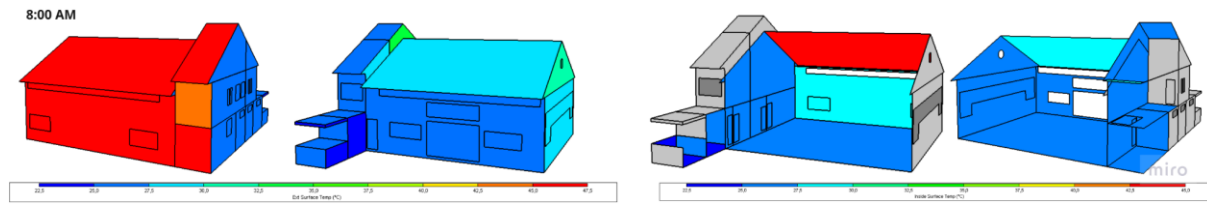
- Explicación de los resultados de la primera simulación:* durante las horas de la madrugada, antes de que el Ágora reciba incidencia solar directa, la temperatura interior se mantiene en un rango de 23 °C a 25 °C, es decir, entre 3 °C y 4 °C por encima de la temperatura exterior, que oscila entre 21 °C y 22 °C. Este comportamiento evidencia que, incluso durante el periodo más frío del día (la noche y las primeras horas de la mañana), el edificio conserva una temperatura interior más elevada que la del ambiente exterior, lo que sugiere una acumulación y retención de calor en su envolvente térmica (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022).

A partir de las 6:00 a. m., cuando inicia la incidencia de la radiación solar, se evidencia un incremento notable de la temperatura interior, alcanzando un valor máximo de aproximadamente 35 °C hacia el mediodía (alrededor de la 1:00 p. m.). Esto indica que, durante toda la mañana, la temperatura interna del edificio aumenta progresivamente hasta llegar a su punto máximo mencionado. Por su parte, la temperatura exterior también presenta un ascenso, aunque de manera más moderada, pasando de 21 °C a 26 °C entre las 6:00 a. m. y las 10:00 a. m.; posteriormente, se mantiene relativamente estable y vuelve a incrementarse hacia la 1:00 p. m., alcanzando aproximadamente los 27 °C entre las 3:00 p. m. y las 4:00 p. m.

Posterior al pico máximo de temperatura, se observa un descenso moderado tanto en el ambiente interior como en el exterior. No obstante, se mantiene una diferencia térmica aproximada de 5°C entre ambos. Hacia las 8:00 p. m., momento en que el edificio culmina sus actividades, la temperatura interior desciende hasta alrededor de 30 °C, mientras que la temperatura exterior alcanza valores cercanos a los 25 °C. Este comportamiento evidencia que, aun con la disminución de la radiación solar, el edificio conserva una cantidad significativa de calor acumulado en su interior (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022).

- *Simulación el día más caliente (temperatura en el edificio):* se realiza una simulación sobre el impacto solar en la edificación para determinar qué zonas del edificio tienen mayor incidencia solar, la simulación se hace en tres horarios específicos a las 8am - 12am - 18pm; a las 8:00 am porque es la hora donde abre el edificio, a las 12:00Pm porque es el día donde el sol está más fuerte y a las 6:00 pm porque a esa hora cierra el edificio.

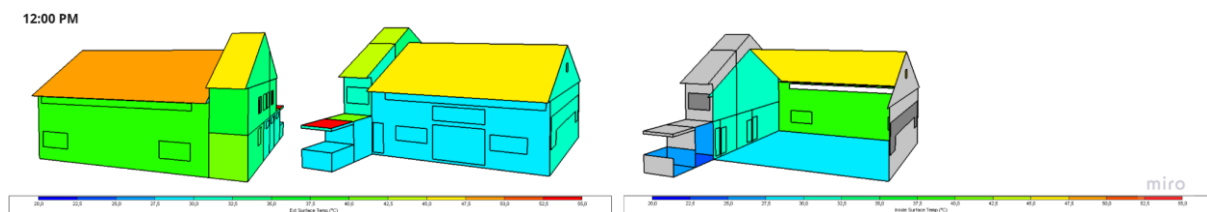
Figura 64. Simulación a la 8 am el día más caliente



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Se evidencia que, desde el inicio de la jornada en el Ágora, la fachada nororiental comienza a recibir las primeras incidencias de radiación solar, alcanzando temperaturas de hasta 47 °C. Este calentamiento inicial genera un aumento progresivo de la temperatura en todo el edificio, ya que la fachada suroccidental, a pesar de no recibir radiación solar directa en este momento, también experimenta un incremento térmico considerable, alcanzando aproximadamente 27 °C, valor similar al registrado en el interior. No obstante, la cubierta presenta un comportamiento más crítico, alcanzando temperaturas cercanas a los 45 °C y transfiriendo parte de esa energía térmica hacia el interior del edificio, la cual se disipa posteriormente a través de los elementos constructivos internos, como los muros.

Figura 65. Simulación a la 12 am el día más caliente

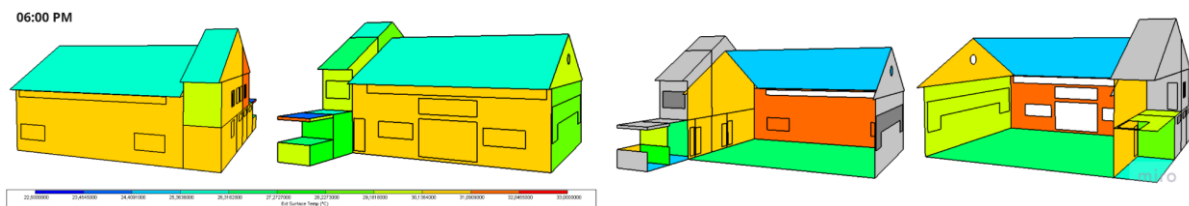


Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Durante el periodo de máxima incidencia solar, el Ágora presenta un incremento significativo de temperatura en su envolvente. En el exterior, la cubierta alcanza valores de hasta 47 °C, mientras que las fachadas registran temperaturas mínimas cercanas a los 35 °C. En el interior

se observa un comportamiento similar: la cubierta presenta la temperatura más elevada, con aproximadamente 45 °C, y el suelo actúa como elemento disipador del calor; sin embargo, este también mantiene una temperatura considerablemente alta, en torno a los 30 °C. Este comportamiento evidencia que los materiales constructivos poseen una elevada conductividad térmica, permitiendo que las temperaturas exteriores e interiores sean muy similares, lo que genera problemas significativos de confort térmico dentro del edificio.

Figura 66. Simulación a la 6 pm

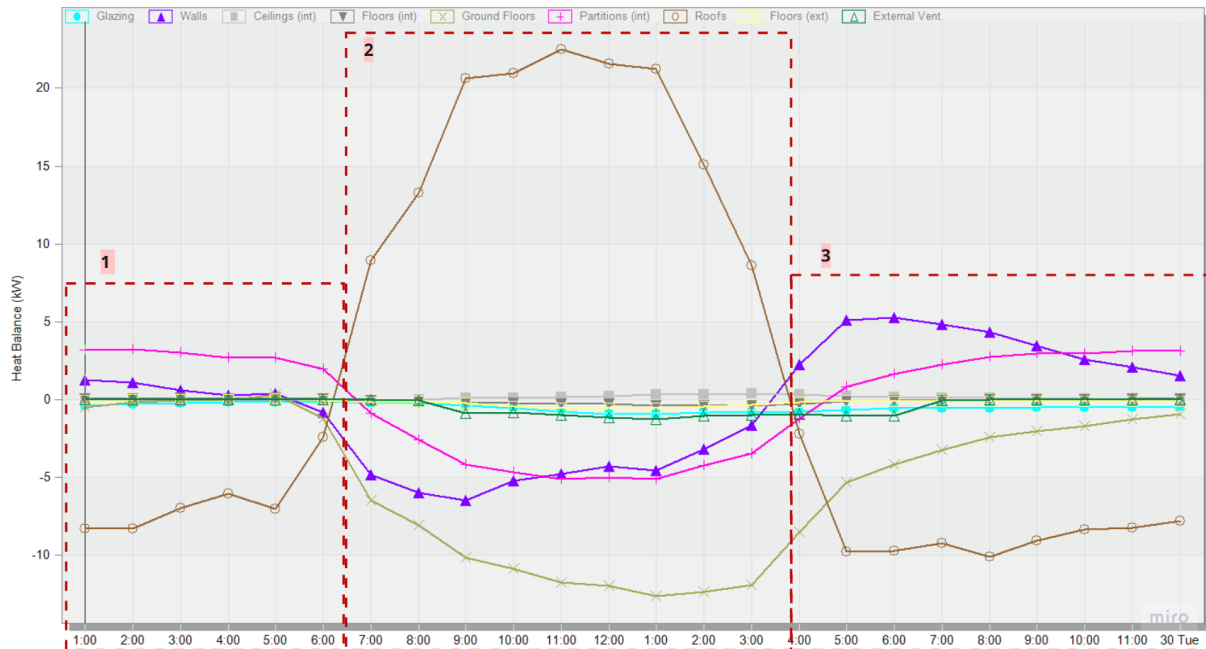


Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Al finalizar la jornada, aunque la incidencia solar ha disminuido de manera considerable, el edificio continúa presentando afectaciones térmicas significativas, especialmente en su interior. Los muros internos conservan temperaturas elevadas, cercanas a los 34 °C, debido a la acumulación de la carga térmica generada durante el día, mientras que la cubierta, al no recibir ya radiación solar directa, desciende hasta aproximadamente 25 °C. En el exterior, los muros mantienen un rango térmico cercano a los 30 °C y la cubierta oscila entre 25 °C y 26 °C, valores similares a los del interior. Este comportamiento evidencia que, incluso tras la reducción de la radiación solar, el edificio conserva un nivel térmico elevado, lo que refleja una baja capacidad de disipación del calor acumulado durante el día (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022).

- **Simulación (energía de los materiales) el día más caliente**

Figura 67. Resultados de la primera simulación el día más caliente de la energía de los materiales



Nota: (DesignBuilder Software Ltd, 2021)

Figura 68. Resultados de la primera simulación el día más caliente de la energía de lo materiales representados en una tabla de EXCEL

	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	000
Glazing	-0.4	-0.28	-0.21	-0.19	-0.19	-0.12	-0.2	-0.23	-0.36	-0.56	-0.76	-0.92	-0.95	-0.85	-0.82	-0.79	-0.67	-0.58	-0.57	-0.55	-0.5	-0.51	-0.5	-0.48
Walls	1.27	1.07	0.81	0.25	0.37	-0.83	-4.83	-5.96	-6.47	-5.23	-4.75	-4.28	-4.55	-3.19	-1.65	2.24	5.11	5.28	4.83	4.31	3.45	2.58	2.08	1.56
Ceilings (int)	-0.01	0.01	-0.04	-0.01	-0.05	-0.08	-0.08	-0.02	0.1	0.12	0.17	0.22	0.22	0.34	0.36	0.3	0.19	0.15	0.11	0.09	0.06	0.04	0.02	0
Floors (int)	0.07	0.05	0.09	0.06	0.11	0.08	-0.06	-0.12	-0.24	-0.22	-0.27	-0.3	-0.41	-0.41	-0.41	-0.25	-0.1	-0.07	-0.06	-0.02	0	0.02	0.05	0.06
Ground Floors	-0.52	-0.14	-0.07	-0.03	0.33	-1.2	-6.49	-8.08	-10.14	-10.85	-11.79	-11.96	-12.56	-12.92	-11.88	-8.53	-5.3	-4.19	-3.26	-2.42	-2.02	-1.72	-1.28	-0.95
Partitions (int)	3.2	3.23	2.99	2.71	2.7	1.96	-0.97	-2.57	-4.19	-4.67	-5.11	-5.11	-4.22	-3.46	-1.22	0.81	1.64	2.23	2.73	2.84	2.99	3.13	3.14	3.14
Roofs	-8.31	-8.3	-7	-6.05	-7.63	-2.42	6.95	13.26	20.82	20.91	22.32	21.96	21.24	15.06	8.56	-2.10	-9.76	-9.75	-9.2	-10.12	-8.03	-6.95	-6.34	-7.28
Floors (ext)	-0.05	0	0.01	0.01	0.04	-0.03	-0.15	-0.1	-0.24	-0.44	-0.54	-0.53	-0.53	-0.42	-0.34	-0.16	-0.06	-0.06	-0.1	-0.08	-0.1	-0.11	-0.11	-0.1
External Vent.	0	0	0	0	0	0	-0.01	-0.08	-0.85	-0.82	-1.01	-1.13	-1.27	-1.07	-0.97	-0.93	-1.04	-1.04	-0.07	0	0	0	0	0

Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

10.8 Explicación de los resultados de la primera simulación el día más caliente de la energía de lo materiales: durante las horas de la madrugada, antes de que el edificio reciba incidencia solar directa, los materiales de la envolvente se mantienen térmicamente estables, con excepción de la cubierta. En este periodo, la cubierta presenta una pérdida significativa de calor, convirtiéndose en el elemento más frío del Ágora, con valores cercanos a -8 kW. En contraste, otros componentes

como los muros y las ventanas o perforaciones muestran un comportamiento térmico moderado. No obstante, los muros interiores se identifican como los principales aportantes de calor entre la 1:00 a. m. y las 6:00 a. m., contribuyendo a mantener la temperatura interna por encima de la exterior.

Con el inicio de la radiación solar, el elemento más destacado en el comportamiento térmico del edificio es la cubierta, la cual incrementa de manera considerable su aporte de calor al interior del Ágora, alcanzando una diferencia de hasta 32 kW respecto a las condiciones iniciales del día. Este comportamiento permite identificarla como la principal fuente de ganancia térmica del edificio. Paralelamente, los muros interiores actúan como receptores de la energía transferida desde la cubierta, mientras que el suelo cumple una función disipadora, al absorber gran parte del calor proveniente del espacio interior.

Cuando la radiación solar disminuye y las temperaturas comienzan a descender, la cubierta deja de verse afectada por la incidencia directa del sol y pasa a responder ante las elevadas temperaturas internas, intentando absorber parte de la carga térmica acumulada durante el día. En contraste, los muros y el suelo comienzan a liberar el calor almacenado durante el periodo diurno, evidenciando el proceso de disipación térmica del edificio al final de la jornada (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022).

10.8 Simulación del confort térmico interior según método de Fanger en DesignBuilder el día más caliente: el siguiente gráfico hace referencia a la evaluación térmica interior del edificio por medio del método de Fanger, este método consiste en dos índices principales los cuales son:

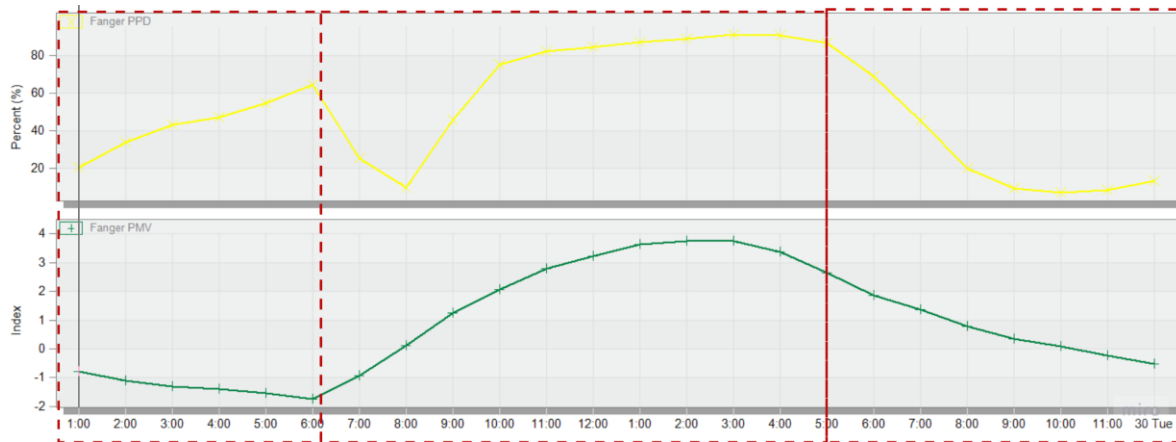
El PMV: Indica cómo se siente en promedio un grupo de personas respecto a las condiciones térmicas del lugar, este promedio se cuantifica por medio de una escala de frío a calor

(-3 = muy frío, +3 = muy caliente), donde 0 representa un buen confort térmico, para la evaluación de este método se necesitan datos como temperatura del aire, temperatura radiante media, humedad relativa y velocidad del aire y datos de usuarios como lo son su nivel de actividad metabólica (met) y el aislamiento de la ropa (clo). (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021)

El PPD: Este índice hace referencia al porcentaje predicho de insatisfechos, el cual estima que el porcentaje de personas que, aun cuando el PMV esté en condiciones de confort, se sentirán incómodas (porque nunca se logra un 100% de satisfacción). y se estima que este porcentaje suele ser del 5% si el PMV está en el rango de confort, de lo contrario va aumentando, dependiendo del PMV (Fanger, 1970).

Este método de la escala de Fanger es utilizado por normas internacionales como la ISO77300 y la ASHRAE 55 que son normativas internacionales que toma directamente el modelo de Fanger (PMV y PPD) como criterio de confort térmico en edificios.

Figura 69 Método de Fanger en DesignBuilder el día más caliente



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Figura 70. Método de Fanger en DesignBuilder el día más caliente en tabla de EXCEL

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	Tue 0:00
Fanger PPD	20.7	33.79	42.97	47.09	54.46	64.36	25.47	9.95	49.99	79.05	82.21	84.36	86.81	88.85	91.01	90.46	86.46	68.79	45.45	20.13	9.44	7.21	6.5	13.43
Fanger PMV	-0.77	-1.05	-1.25	-1.38	-1.54	-1.74	-0.69	0.33	1.25	2.08	2.8	3.23	3.65	3.75	3.76	3.57	2.84	1.87	1.06	0.79	0.34	0.05	-0.23	-0.82

Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Entre la 1:00 a. m. y las 6:00 a. m., el edificio no presenta ocupación alguna; sin embargo, durante este periodo el Ágora evidencia condiciones de frío intenso, registrando un valor de PMV de hasta -1.74 , cercano al umbral de -2 . Esto indica que, en caso de desarrollarse alguna actividad extracurricular en ese horario, al menos el 64 % de los ocupantes potenciales se encontraría insatisfechos térmicamente, de acuerdo con los valores estimados del PPD.

A partir de las 6:00 a. m. se observa un incremento progresivo en los valores del PMV, lo que indica que la temperatura interior del edificio comienza a elevarse, acercándose al rango de confort térmico. Este comportamiento se debe al inicio de la incidencia de la radiación solar sobre la envolvente del Ágora. No obstante, a medida que la radiación solar aumenta de forma continua e intensa, se genera un nuevo desequilibrio térmico en el interior. En este punto, el porcentaje de insatisfacción (PPD) disminuye inicialmente hasta valores cercanos al 9 %, reflejando un breve

periodo de confort; sin embargo, conforme el PMV asciende hasta alcanzar valores de 3.65 —casi 4—, el PPD se eleva drásticamente hasta un 90 % de insatisfacción, evidenciando una condición de estrés térmico por calor excesivo dentro del edificio.



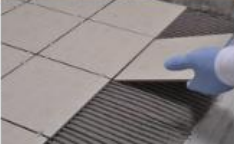
Después del pico máximo de temperatura, la radiación solar comienza a disminuir gradualmente, lo que provoca un descenso progresivo en la temperatura del edificio. En consecuencia, el valor del PMV también desciende de forma continua hasta alcanzar aproximadamente 1.87 hacia las 6:00 p. m., hora en la que el Ágora culmina sus actividades. Aun así, el edificio mantiene una condición de disconfort térmico por calor, reflejada en un PPD del 68 %, lo que indica que una parte significativa de los ocupantes seguiría insatisfecha con las condiciones térmicas interiores. Con el paso de las horas y la pérdida de carga térmica acumulada durante el día, tanto el PMV como el PPD continúan disminuyendo, llevando al edificio hacia un estado más fresco y estable durante la noche.

10.9 Fase 4:

- **Sub - fases:**
- Dimensionamientos de estrategias bioclimáticas
- Desarrollo de propuestas de intervención urbana:

La primera propuesta se centró en la selección de los materiales para el piso urbano, con el objetivo de mejorar el confort térmico en el entorno exterior del edificio.

Figura 71. Propuesta urbana de materiales para el piso urbano

Material	Imagen	Espesor (mm)	Densidad (kg/m³)	Conductividad (W/m·K)	Formas / Dimensiones	Características destacadas
Cerámica antideslizante rústica		8 - 12 -	~2,000	0.9 - 1.2	40×40 cm, 60×60 cm, 80×80 cm,	Antideslizante, durable, fácil de instalar, bajo costo, ideal para zonas de alto tráfico público
Concreto estampado / pulido		100 - 150	~2,400	0.5 - 1.8	Sin formato prefabricado; se adapta a moldes	Bajo mantenimiento, resistente al clima, permite personalización estética urbana
Porcelanato antideslizante		8 - 12 -	~2,400	~1.5	30×30 cm, 40×40 cm, 51×51 cm	Elegante, resistente, estético, buena relación costo-beneficio si se compra en volumen

Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Figura 72. Propuesta urbana de materiales para el piso urbano aplicada en el diseño



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

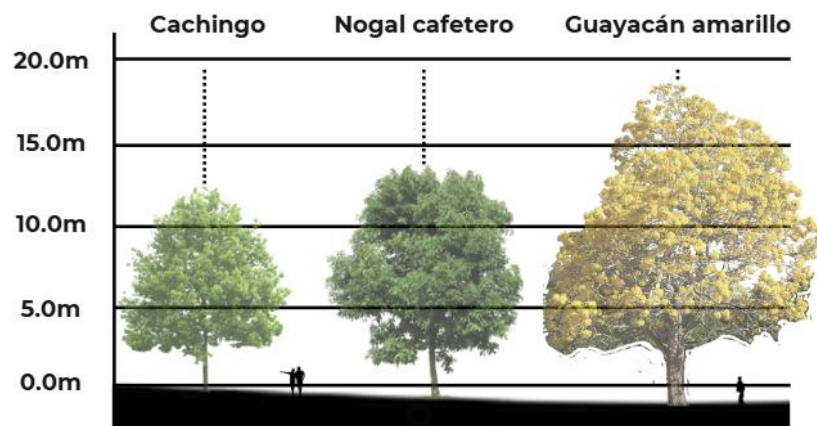
Figura 73. Propuesta urbana de vegetación

Árbol	Tamaño	Cómo ayuda al confort térmico	Conductividad térmica
Guayacán amarillo	10-15 m	Sombra en verano y radiación en invierno	Baja (-0.2 W/m-K)
Cachingo / Chiminango	8-12 m	Árbol de sombra eficiente	Muy baja (-0.13 W/m-K)
Nogal cafetero	10-12 m	Genera sombra más compacta Y alta transpiración foliar	Muy baja (-0.12 W/m-K)

Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Se realizó una propuesta de vegetación para la zona urbana con el objetivo de mejorar las condiciones de confort térmico. La selección incluyó especies como el Guayacán amarillo, el Cachingo y el Nogal cafetero, elegidas por su capacidad para generar sombra, reducir la radiación solar directa y favorecer la transpiración foliar, contribuyendo así a la regulación térmica del entorno.

Figura 74. Propuesta urbana de vegetación especies



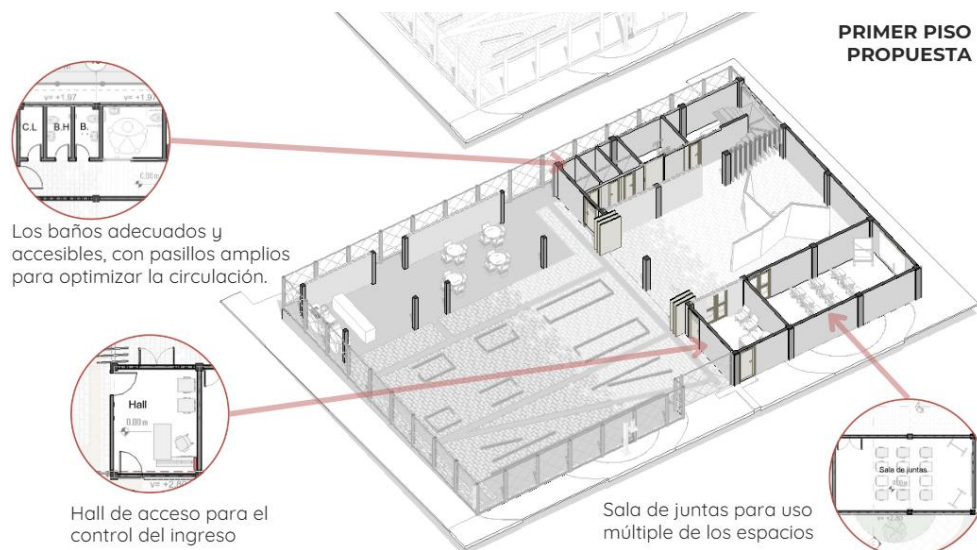
Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

8.10 Desarrollo de propuestas de intervención funcional: se propuso el rediseño del ágora retomando los principios del ágora de Atenas como referencia espacial y funcional. En el

primer nivel, se amplió el salón principal eliminando divisiones internas, incorporando paneles móviles para flexibilidad de uso y mejorando la ventilación cruzada.

Los baños se adecuaron con ventilación natural y accesibilidad universal, y los pasillos se ampliaron para optimizar la circulación.

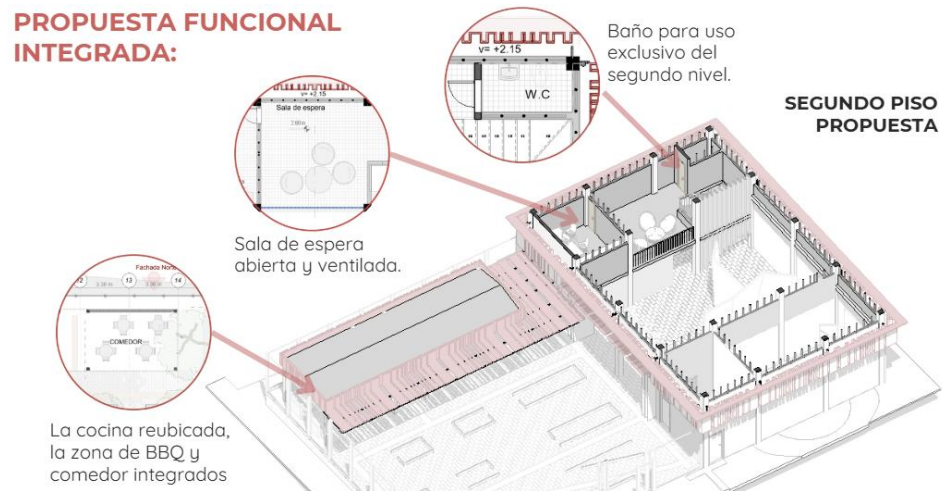
Figura 75. Propuesta Funcional Primer Piso



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

La cocina fue reubicada, mientras que la zona de BBQ se cubrió con una pérgola metálica liviana. En el segundo nivel, se diseñó una sala de espera abierta y ventilada. Además de un nuevo baño para uso exclusivo del segundo nivel.

Figura 76. Propuesta Funcional Segundo Piso

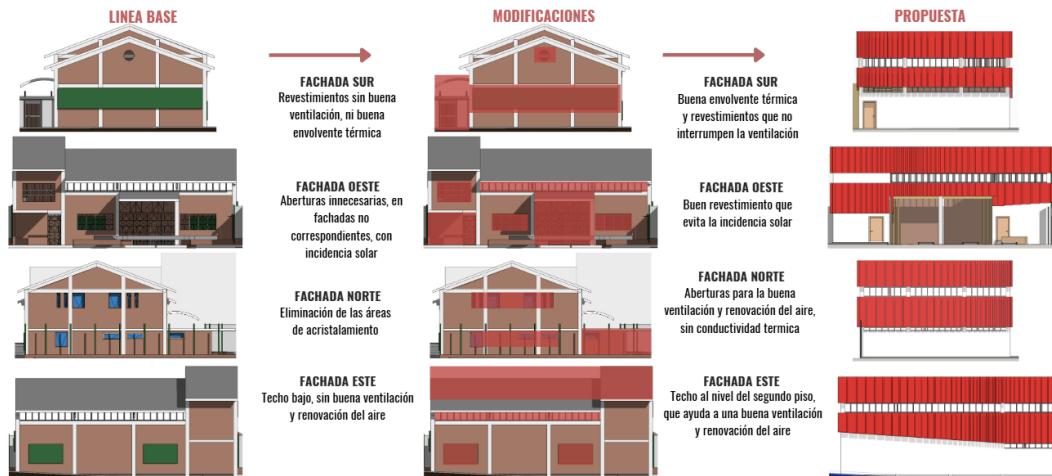


Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

La intervención buscó mejorar la funcionalidad, accesibilidad y confort térmico, fortaleciendo el carácter comunitario del edificio.

- Desarrollo de propuestas de intervención formal: en la propuesta formal se realizó un análisis integral de todas las fachadas del edificio, con el propósito de definir una decisión de diseño fundamentada en la aplicación prioritaria de estrategias bioclimáticas, entre ellas el revestimiento de muros, la cubierta elevada y la doble fachada.

Figura 77. Propuesta Formal



- Desarrollo de propuestas de intervención técnica:* se realizó un análisis de los materiales existentes en la edificación, con el fin de elaborar un cuadro comparativo de posibles materiales a implementar en conjunto con las estrategias bioclimáticas, considerando parámetros como la conductividad térmica, la transmitancia y otras propiedades relevantes para el confort térmico.

Figura 78. Propuesta técnica



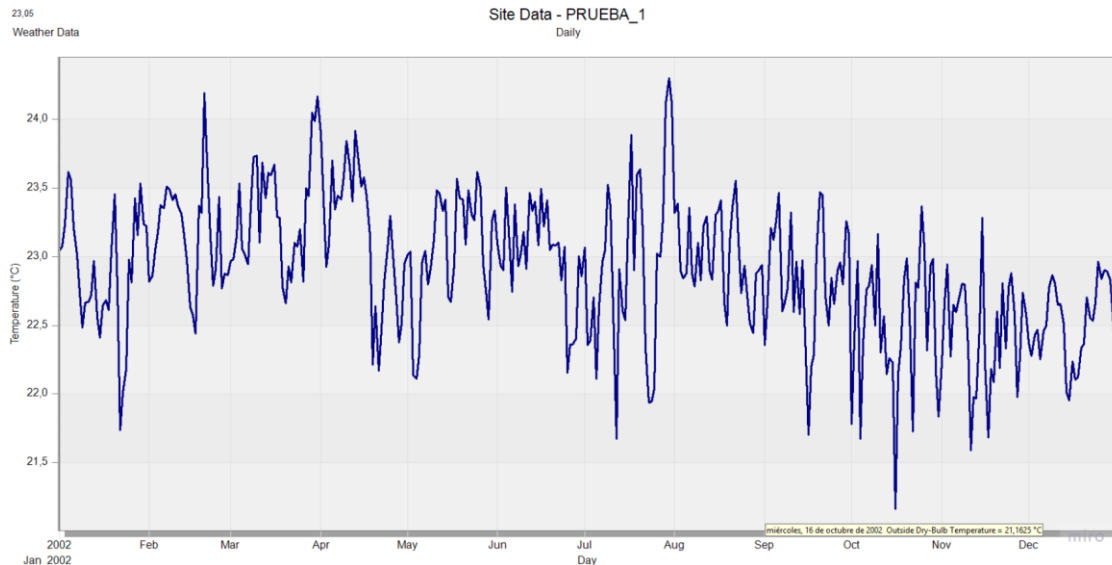
Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

- Simulación final:** Simulación de propuesta con estrategias dimensionadas:

Para esta etapa de simular la propuesta, se realizan los mismos pasos que en la simulación de línea base, es decir, se realiza la simulación en los mismos escenarios representativos.

- *Escenarios representativos: el día más frío*

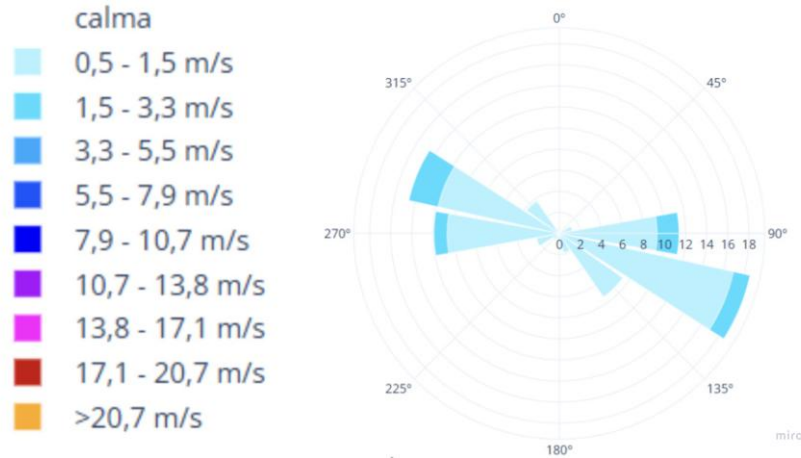
Figura 79. Datos climatológicos para la simulación propuesta el día más frío



Nota: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021)

El Por medio del programa DesignBuilder se simuló el sitio con ayuda de la base de datos del EPW que se suministró al inicio, esta simulación nos da como resultado el día más caliente del año, esto para simular las propuestas y la línea base en los peores escenarios es decir es los días más calientes del año.

Figura 80. Vientos sacados del IDEAM

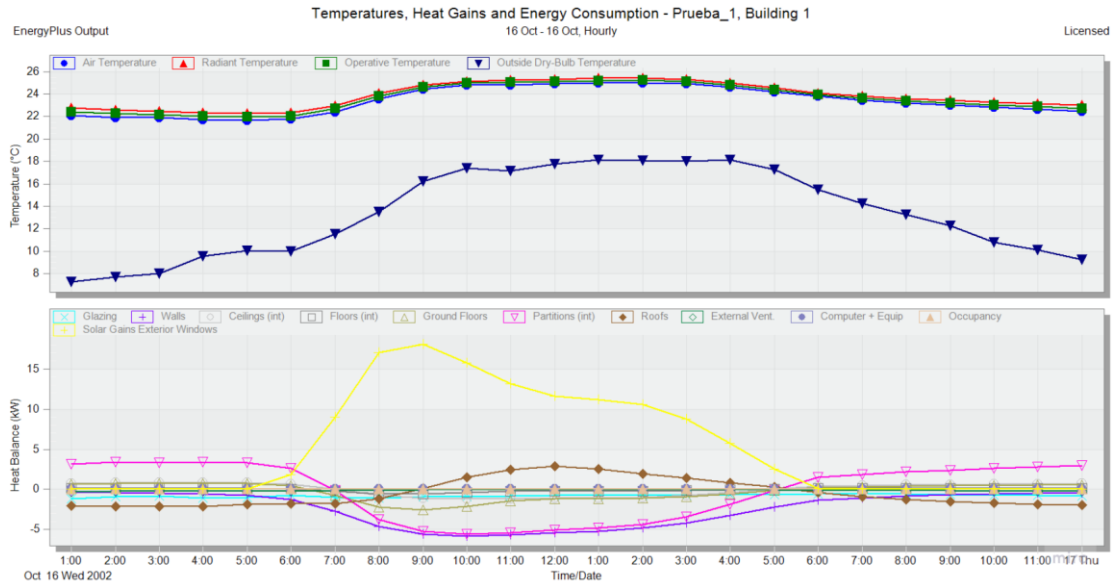


Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2020)

La velocidad del viento se tomó del IDEAM del documento de Atlas del viento de Colombia en el cual nos da las variables de la velocidad del tiempo dando como resultado que en las dos simulaciones del día más frío se correrán con unas velocidades de 0.5 y 3.3 tomando como referencia la velocidad más baja y alta.

- *Resultados de la primera simulación*

Figura 81. Resultados de la simulación propuesta el día más frío



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Figura 82. Resultados de la simulación propuesta el día más frío representados en una tabla de EXCEL

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
Air Temperature	22.06	21.94	21.88	21.7	21.64	21.78	22.4	23.56	24.45	24.83	24.82	24.9	25.01	25.01	24.91	24.64	24.2	23.81	23.48	23.23	23.02	22.81	22.63	22.46
Radiant Temperature	22.74	22.56	22.45	22.34	22.28	22.33	22.98	24.96	24.79	25.11	25.27	25.37	25.41	25.41	25.3	24.98	24.56	24.07	23.8	23.6	23.44	23.28	23.13	22.98
Operative Temperature	22.4	22.25	22.17	22.02	21.85	22.69	23.81	24.62	24.87	25.03	25.12	25.21	25.21	25.11	24.82	24.38	23.94	23.64	23.41	23.23	23.05	22.88	22.72	22.57
Outside Dry Bulb Temperature	7.28	7.68	8	9.57	10.62	10	11.5	13.5	16.25	17.38	17.13	17.79	18.15	18.05	18	18.15	17.3	15.3	14.25	13.25	12.25	11.8	10.1	8.25
Glazing	-1.18	-0.84	-0.87	-1.06	-0.89	-0.77	-0.97	-1.08	-0.85	-0.87	-0.84	-0.75	-0.72	-0.72	-0.71	-0.62	-0.64	-0.54	-0.53	-0.68	-0.63	-0.73	-0.76	-0.82
Walls	-0.4	-0.37	-0.5	-0.6	-0.75	-1.23	-2.68	-4.62	-5.55	-5.8	-5.65	-5.39	-5.19	-4.83	-4.19	-3.27	-2.25	-1.34	-1.05	-0.83	-0.68	-0.57	-0.49	-0.46
Ceilings (int)	0.73	0.78	0.77	0.79	0.83	0.83	0.76	-1.09	-1.21	-1.18	-1.1	-1.05	-0.96	-0.74	-0.4	0.01	0.36	0.46	0.53	0.58	0.63	0.67	0.7	0.7
Floors (int)	0.13	0.15	0.14	0.14	0.14	0.07	-0.22	-0.33	-0.35	-0.4	-0.24	-0.2	-0.2	-0.19	-0.15	-0.07	0.02	0.09	0.1	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13
Ground Floors	0.04	0.7	0.69	0.71	0.72	0.43	0.78	-0.23	-0.38	-0.68	-1.42	-1.2	-1.18	-1.11	-0.96	-0.68	-0.17	0.22	0.33	0.4	0.45	0.5	0.54	0.58
Partitions (int)	3.12	3.41	3.31	3.37	3.35	2.62	-0.09	-3.78	-5.27	-5.6	-5.4	-5.02	-4.81	-4.36	-3.39	-1.86	-0.09	1.49	1.89	2.19	2.4	2.6	2.8	2.94
Roofs	-0.02	-2.1	-2.15	-2.08	-1.84	-1.81	-1.79	-1.2	0.11	1.49	2.49	2.91	2.54	1.84	1.41	0.84	0.28	-0.39	-0.9	-1.23	-1.46	-1.67	-1.82	-1.94
External Vent.	-0.27	-0.35	-0.25	-0.21	-0.2	-0.2	-0.18	-0.12	-0.07	-0.05	-0.06	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.07	-0.1	-0.12	-0.14	-0.16	-0.19	-0.21	-0.22
Computer + Equip	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0
Occupancy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solar Gains Exterior Windows	0	0	0	0	0	1.88	9.91	17.07	18.05	15.73	13.18	11.58	11.14	10.53	8.74	5.74	2.51	0.1	0	0	0	0	0	0

Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

11.11 Explicación de los resultados de la primera simulación el día más frío: estabilidad térmica en la madrugada: Durante las primeras horas del día, la temperatura interior se mantuvo

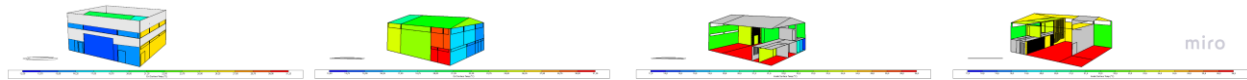
cercana a los 22 °C, lo que refleja un adecuado desempeño de la envolvente para conservar las condiciones de confort aún cuando la temperatura exterior descendía hasta valores cercanos a 7–9 °C. Esto indica que los materiales están actuando como un buen regulador térmico, evitando pérdidas excesivas de calor hacia el exterior.

Confort térmico sostenido durante el día: A lo largo de la jornada, la temperatura operativa se mantuvo en un rango confortable (22–25 °C), con incrementos graduales que acompañan la variación exterior, pero sin llegar a extremos de sobrecalentamiento. Esto sugiere que el espacio ofrece condiciones de habitabilidad estables y agradables en la mayor parte del día.

Aporte positivo de los vidrios: Los valores negativos de transmisión térmica en el acristalamiento indican que los vidrios están contribuyendo a reducir ganancias no deseadas y ayudan a mantener el confort, actuando como un filtro regulador frente al exterior.

- *Simulación propuesta el día más frío (temperatura en el edificio):* Se realiza una simulación sobre el impacto solar en la edificación para determinar qué zonas del edificio tienen mayor incidencia solar, la simulación se hace en tres horarios específicos a las 8am - 12am - 18pm; a las 8:00 am porque es la hora donde abre el edificio, a las 12:00Pm porque es el día donde el sol está más fuerte y a las 6:00 pm porque a esa hora cierra el edificio.

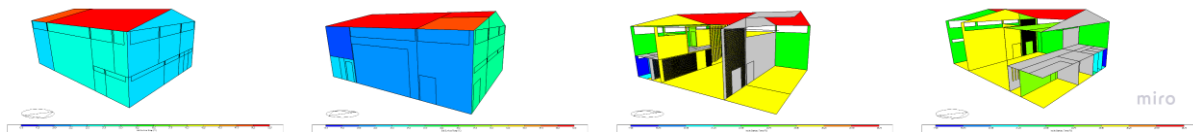
Figura 83. Simulación propuesta a la 8 am el día más frío



Nota: (DesignBuilder Software Ltd, 2021)

En el interior, las temperaturas de las superficies oscilan en un rango más estrecho (17,5 °C – 26,5 °C), lo que muestra que la envolvente ofrece cierto nivel de amortiguación térmica frente a la radiación directa. A pesar de la alta variabilidad exterior (12,5 °C a 31 °C), el interior mantiene un rango mucho más controlado (17,5 °C a 26,5 °C). Esto indica que la envolvente reduce significativamente los picos de ganancia o pérdida térmica, lo cual es favorable para el confort. Los muros perimetrales muestran temperaturas relativamente homogéneas en comparación con las superficies expuestas, lo que sugiere una masa térmica eficiente capaz de almacenar y liberar calor de forma progresiva.

Figura 84. Simulación propuesta a la 12 am el día más frío

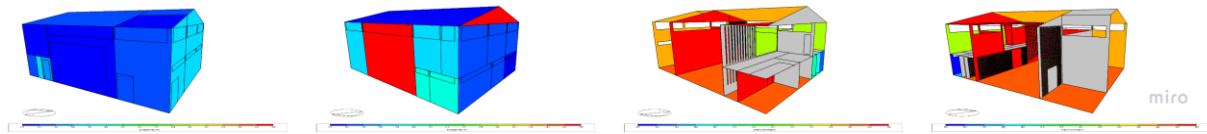


Nota: (DesignBuilder Software Ltd, 2021)

La cubierta alcanza las temperaturas más altas (rojo y naranja, hasta ~52 °C), lo que significa que el diseño actual permite que el calor se concentre principalmente en el techo, reduciendo la carga térmica directa sobre los muros. La mayoría de las fachadas mantiene temperaturas moderadas (20–30 °C, en azul y verde), lo cual indica que la orientación y la proporción de aberturas ayudan a evitar sobrecalentamientos excesivos. El edificio muestra un desempeño favorable al concentrar la mayor carga térmica en la cubierta, mantener fachadas con

temperaturas moderadas y garantizar un interior estable y en su mayoría dentro del rango de confort.

Figura 86. Simulación propuesta a la 6 pm el día más frío



Nota: (DesignBuilder Software Ltd, 2021)

Aunque existen muros interiores con mayor carga solar, una buena parte de las superficies internas se mantienen en rangos moderados (20–22 °C), lo que refleja inercia térmica favorable y control en la transmisión de calor hacia el interior. Las fachadas que reciben mayor incidencia solar pueden considerarse como oportunidades para estrategias pasivas de climatización invernal, aprovechando dichas ganancias en temporadas frías. El edificio no solo presenta zonas críticas de ganancia solar, sino también fortalezas claras, como estabilidad térmica en áreas sombreadas, capacidad de disipación, homogeneidad interior en varios sectores, y potencial de aprovechamiento de energía solar de manera pasiva.

- *Simulación propuesta del confort térmico interior según método de Fanger en DesignBuilder el día más frío:* el siguiente gráfico hace referencia a la evaluación térmica interior del edificio por medio del método de Fanger, este método consiste en dos índices principales los cuales son:

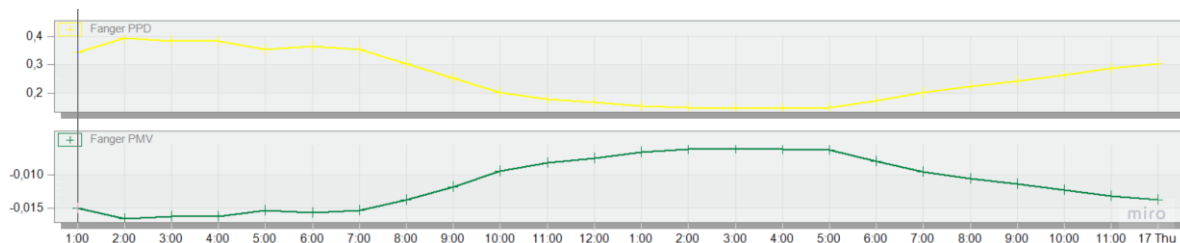
El PMV: Indica cómo se siente en promedio un grupo de personas respecto a las condiciones térmicas del lugar, este promedio se cuantifica por medio de una escala de frío a calor (-3 = muy frío, +3 = muy caliente), donde 0 representa un buen confort térmico, para la evaluación

de este método se necesitan datos como temperatura del aire, temperatura radiante media, humedad relativa y velocidad del aire y datos de usuarios como lo son su nivel de actividad metabólica (met) y el aislamiento de la ropa (clo).

El PPD: Este índice hace referencia al porcentaje predicho de insatisfechos, el cual estima que el porcentaje de personas que, aun cuando el PMV esté en condiciones de confort, se sentirán incómodas (porque nunca se logra un 100% de satisfacción). y se estima que este porcentaje suele ser del 5% si el PMV está en el rango de confort, de lo contrario va aumentando dependiendo del PMV

Este método de la escala de Fanger es utilizado por normas internacionales como la ISO77300 y la ASHRAE 55 que son normativas internacionales que toma directamente el modelo de Fanger (PMV y PPD) como criterio de confort térmico en edificios.

Figura 85. Método de Fanger en DesignBuilder el día más frío



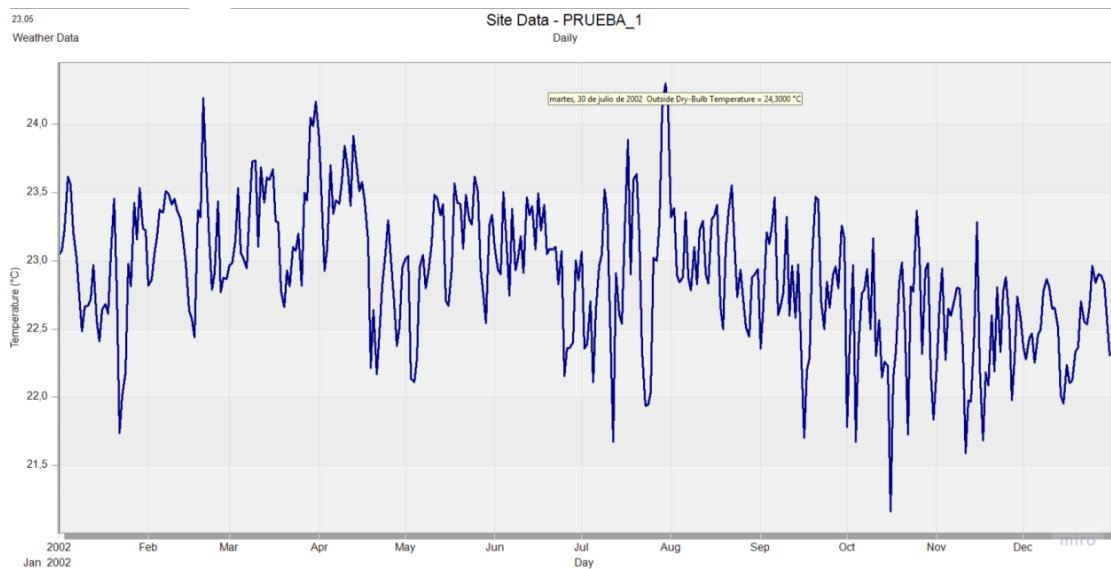
Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Excelente confort térmico: Los valores de PMV cercanos a 0 y un PPD menor al 1% demuestran que el espacio simulado ofrece condiciones óptimas de confort térmico durante todo el día, sin riesgos de incomodidad significativa para los usuarios. Estabilidad térmica durante el horario laboral: El confort es más estable y favorable entre las 9:00 y 17:00, que suele coincidir con la franja principal de ocupación, lo que valida la adecuación del diseño para el uso del edificio.

Mínimas variaciones diarias: Aunque existen pequeñas oscilaciones entre la madrugada y la tarde-noche, estas no representan una pérdida de confort, ya que los valores siguen en rangos insignificantes de insatisfacción. Diseño pasivo y eficiencia: El buen desempeño térmico sin grandes fluctuaciones sugiere que la envolvente y estrategias pasivas implementadas en el edificio contribuyen a un control térmico eficiente. Validación normativa: Según ISO 7730 y ASHRAE 55, los límites aceptables para confort son PPD < 10% y PMV entre -0,5 y +0,5. Los resultados de la simulación están muy por debajo de estos umbrales, lo cual garantiza que el edificio cumple y supera las exigencias internacionales de confort.

- *Escenarios representativos: el día más cálido*

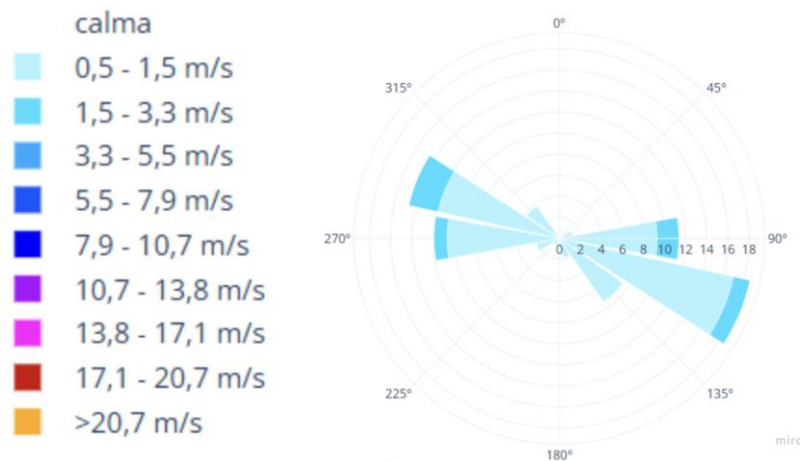
Figura 86. Datos climatológicos para la simulación propuesta el día más caliente



Nota: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021)

El Por medio del programa DesignBuilder se simuló el sitio con ayuda de la base de datos del EPW que se suministró al inicio, esta simulación nos da como resultado el día más caliente del año, esto para simular las propuestas y la línea base en los peores escenarios es decir es los días más calientes del año.

Figura 87. Vientos sacados del IDEAM



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2020)

La velocidad del viento se tomó del IDEAM del documento de Atlas del viento de Colombia en el cual nos da las variables de la velocidad del tiempo dando como resultado que en las dos simulaciones del día más frío se correrán con unas velocidades de 0.5 y 3.3 tomando como referencia la velocidad más baja y más alta.

- *Resultados de la simulación propuesta*

Figura 88. Resultados de la simulación propuesta el día más caliente

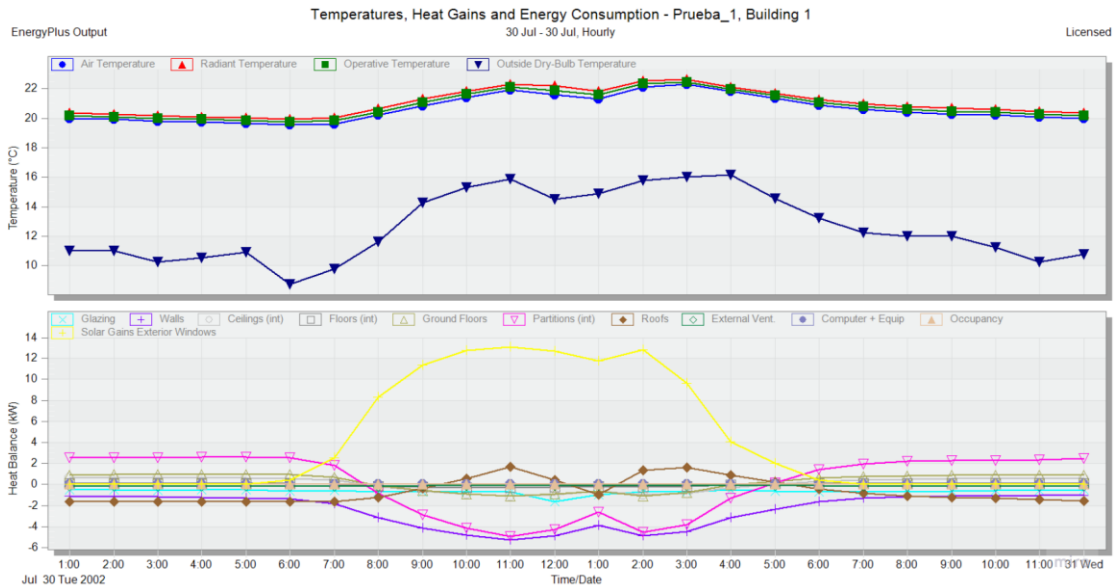


Figura 89. Resultados de la simulación propuesta el día más caliente tabla de EXCEL

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	
Air Temperature	19.99	19.91	19.81	19.73	19.67	19.54	19.62	20.21	20.82	21.42	21.93	21.58	21.32	22.29	22.3	21.83	21.35	20.87	20.58	20.39	20.27	20.21	20.1	20.1	20
Radiant Temperature	20.34	20.26	20.18	20.09	20.01	19.95	20.04	20.64	21.28	21.83	22.32	22.2	21.81	22.55	22.62	22.09	21.68	21.26	20.98	20.8	20.67	20.57	20.47	20.36	20.36
Operative Temperature	20.36	20.28	20	19.91	19.84	19.74	19.83	20.42	21.05	21.62	22.13	21.86	21.57	22.32	22.46	21.96	21.52	21.07	20.78	20.59	20.47	20.36	20.26	20.16	20.16
Outside Dry-Bulb Temperature	11	11	10.25	10.52	10.83	8.75	9.8	11.6	14.25	15.3	15.85	14.5	14.9	15.8	16	16.15	14.58	13.25	12.25	12	12	12	11.25	10.25	10.75
Glazing	-0.5	-0.49	-0.54	-0.51	-0.48	-0.65	-0.97	-0.67	-0.71	-0.86	-0.7	-1.05	-0.97	-0.68	-0.69	-0.52	-0.63	-0.68	-0.7	-0.69	-0.64	-0.54	-0.56	-0.51	-0.51
Walls	-1.09	-1.14	-1.18	-1.22	-1.28	-1.39	-1.8	-3.12	-4.17	-4.82	-5.25	-4.87	-3.9	-4.86	-4.48	-3.12	-2.36	-1.65	-1.23	-1.17	-1.1	-1.07	-1.05	-1.03	-1.03
Ceilings (int)	0.8	0.8	0.8	0.81	0.81	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Floors (int)	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.11	0.04	-0.14	-0.23	-0.28	-0.3	-0.23	-0.16	-0.27	-0.19	-0.02	0.04	0.09	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Ground Floors	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.94	0.99	0.11	-0.56	-0.88	-1.09	-0.9	-0.64	-1.07	-0.75	-0.02	0.31	0.62	0.76	0.83	0.86	0.86	0.89	0.89	0.92
Partitions (int)	2.53	2.54	2.56	2.62	2.62	2.51	1.8	-0.82	-2.89	-4.15	-4.95	-4.29	-2.61	-4.56	-3.84	-1.28	0.13	1.41	1.97	2.19	2.28	2.31	2.38	2.49	2.49
Roofs	-1.82	-1.81	-1.8	-1.81	-1.8	-1.81	-1.8	-1.23	-0.36	0.57	0.89	0.41	-0.96	1.39	1.61	0.91	0.22	-0.42	-0.85	-1.1	-1.21	-1.31	-1.42	-1.57	-1.57
External Vent.	-0.16	-0.16	-0.17	-0.17	-0.15	-0.2	-0.18	-0.14	-0.09	-0.07	-0.07	-0.1	-0.1	-0.09	-0.08	-0.07	-0.1	-0.12	-0.14	-0.14	-0.14	-0.16	-0.18	-0.16	-0.16
Computer + Equip	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0
Occupancy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solar Gains Exterior Windows	0	0	0	0	0	0.4	2.66	8.32	11.38	12.75	13.05	12.69	11.74	12.8	9.65	4.08	2.04	0.44	0	0	0	0	0	0	0

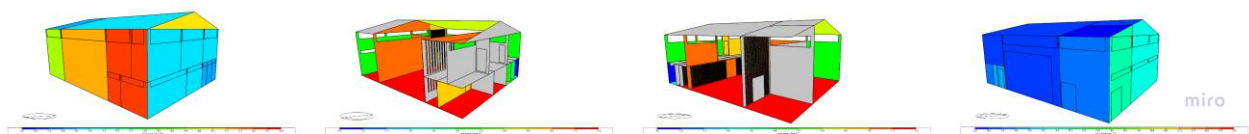
Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

11.12 Explicación de los resultados de la simulación propuesta: estabilidad térmica interior en la madrugada: Las temperaturas interiores (aire, radiante y operativa) se mantienen cercanas a los 20 °C durante la noche y primeras horas del día, lo que indica un buen comportamiento de la envolvente para conservar confort sin fluctuaciones bruscas. Incremento moderado de la temperatura durante el día: Aunque la temperatura exterior alcanza valores elevados, la temperatura operativa interior aumenta de manera controlada y sin sobrepasar niveles críticos. Desacople térmico entre el exterior y el interior: A pesar de que la temperatura exterior muestra variaciones marcadas a lo largo del día (más de 6 °C de oscilación), el ambiente interior solo fluctúa alrededor de 2 °C. Esto refleja un efecto de “amortiguación térmica” que reduce la transmisión

directa de las variaciones exteriores al espacio habitable. Aprovechamiento de la inercia térmica en sentido positivo: A diferencia del escenario base, donde la inercia térmica generaba sobrecalentamiento nocturno, en la propuesta esta característica funciona como un “regulador”, almacenando calor en las horas de mayor radiación y liberándolo de forma gradual en la tarde-noche. esto prolonga las condiciones de confort. Balance entre radiación y masa térmica de la envolvente: Los datos de Glazing muestran un control adecuado de la radiación directa, lo que combinado con la masa térmica de muros y cubierta crea un balance: el vidrio no introduce excesos de calor y los muros regulan la liberación interna.

- Simulación propuesta el día más caliente (temperatura en el edificio): Sé realiza una simulación sobre el impacto solar en la edificación para determinar qué zonas del edificio tienen mayor incidencia solar, la simulación se hace en tres horarios específicos a las 8am - 12am - 18pm; a las 8:00 am porque es la hora donde abre el edificio, a las 12:00Pm porque es el día donde el sol está más fuerte y a las 6:00 pm porque a esa hora cierra el edificio.

Figura 90. Simulación propuesta a la 8 am el día más caliente

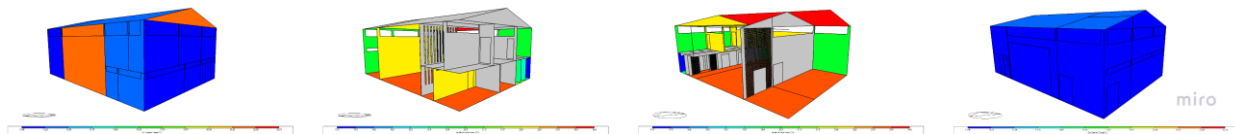


Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Las temperaturas superficiales exteriores oscilan mayoritariamente entre los 13,5 °C y 19,5 °C, según la escala cromática presentada. Este rango moderado indica una exposición reducida al sobrecalentamiento solar. La simulación demuestra que las superficies externas expuestas al oeste y al norte alcanzan temperaturas superiores a 22 °C, mientras que las internas,

especialmente los muros interiores y pisos, mantienen rangos más estables entre 17 °C y 21 °C. Esto refleja un buen desempeño térmico pasivo en los cerramientos, donde la envolvente actúa como moderador térmico y reduce la transferencia de calor hacia el interior.

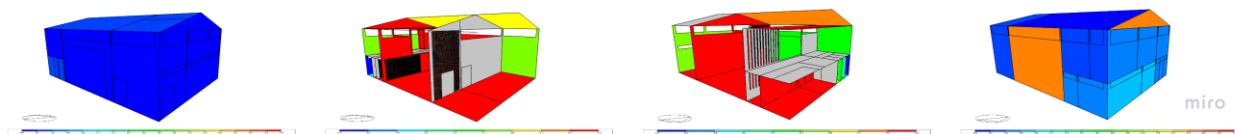
Figura 91. Simulación propuesta a la 12 am el día más caliente



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Las vistas exteriores muestran que gran parte del edificio se mantiene en un rango de baja temperatura superficial externa (entre 10 y 17 °C), lo cual indica una buena aislación térmica. Algunas fachadas y techos presentan temperaturas externas elevadas (hasta 23.75 °C, en color naranja/rojo), especialmente aquellas orientadas a poniente u occidente. Esto indica una importante incidencia solar directa, lo cual es favorable para la ganancia térmica en climas fríos, pero puede representar un riesgo de sobrecalentamiento en meses cálido. Las temperaturas interiores se distribuyen en un rango más elevado, alcanzando hasta 24 °C, lo cual evidencia una mayor capacidad de retención térmica.

Figura 92. Simulación propuesta a la 6 pm



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

El edificio tiene un buen nivel de aislamiento térmico exterior o una inercia térmica adecuada, lo que evita que el calor solar penetre fácilmente. Esto se traduce en menores cargas

térmicas internas. A pesar de las variaciones de la radiación solar exterior, el edificio logra mantener temperaturas interiores relativamente homogéneas, lo cual refleja un diseño pasivo efectivo y un buen comportamiento térmico. El diseño del edificio está optimizado para el aprovechamiento solar pasivo y control térmico, con un equilibrio entre protección solar, masa térmica y distribución interior eficiente.

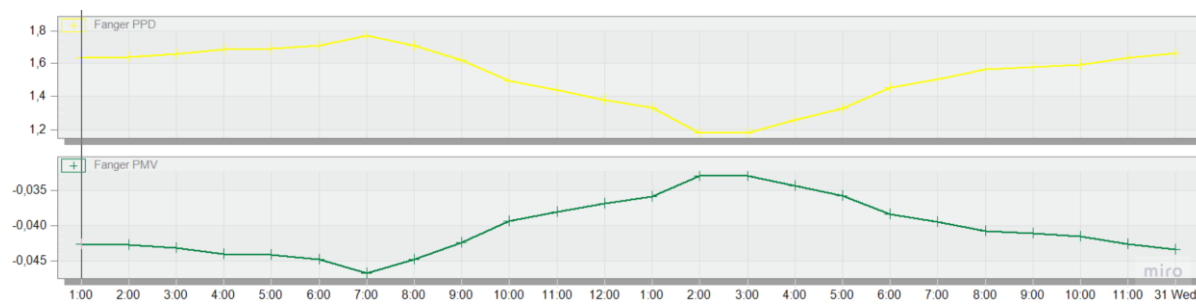
- *Simulación propuesta del confort térmico interior según método de Fanger en DesignBuilder el día más caliente:* el siguiente gráfico hace referencia a la evaluación térmica interior del edificio por medio del método de Fanger, este método consiste en dos índices principales los cuales son:

El PMV: Indica cómo se siente en promedio un grupo de personas respecto a las condiciones térmicas del lugar, este promedio se cuantifica por medio de una escala de frío a calor (-3 = muy frío, +3 = muy caliente), donde 0 representa un buen confort térmico, para la evaluación de este método se necesitan datos como temperatura del aire, temperatura radiante media, humedad relativa y velocidad del aire y datos de usuarios como lo son su nivel de actividad metabólica (met) y el aislamiento de la ropa (clo). (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021)

El PPD: Este índice hace referencia al porcentaje predicho de insatisfechos, el cual estima que el porcentaje de personas que, aun cuando el PMV esté en condiciones de confort, se sentirán incómodas (porque nunca se logra un 100% de satisfacción). y se estima que este porcentaje suele ser del 5% si el PMV está en el rango de confort, de lo contrario va aumentando, dependiendo del PMV (Fanger, 1970).

Este método de la escala de Fanger es utilizado por normas internacionales como la ISO77300 y la ASHRAE 55 que son normativas internacionales que toma directamente el modelo de Fanger (PMV y PPD) como criterio de confort térmico en edificios.

Figura 93. Método de Fanger en DesignBuilder el día más caliente



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

El PMV se mantiene muy cercano a 0 durante todo el periodo, con ligeras variaciones entre -0.045 y -0.035. Esto significa que las condiciones interiores están muy próximas al punto de confort neutral, lo cual evidencia un buen control térmico del espacio. El PPD se mantiene en valores muy bajos (1.2 – 1.8%), muy por debajo del 10% recomendado por la ISO 7730 y ASHRAE 55, lo que implica que prácticamente toda la ocupación del espacio estaría satisfecha térmicamente. A pesar de que el ambiente exterior presenta variaciones importantes a lo largo del día, el sistema mantiene el PMV dentro de una franja muy reducida, lo que refleja una alta capacidad de regulación térmica. El gráfico refleja que el espacio mantiene un confort térmico altamente satisfactorio, con valores de PMV y PPD que se encuentran muy por debajo de los límites normativos internacionales. Esto permite concluir que el diseño analizado no solo cumple, sino que supera los estándares mínimos de confort, garantizando estabilidad y bienestar térmico a lo largo del día.

10.13 Aplicación de estrategias bioclimáticas mediante prueba y error: Aplicación de estrategias bioclimáticas mediante proceso de prueba y error.

El desarrollo del proyecto se estructuró en dos líneas de intervención principales: la primera, orientada al análisis y mejora de los componentes arquitectónicos —urbanos, funcionales, formales y técnicos—; y la segunda, centrada en la simulación del comportamiento térmico del edificio, con el fin de evaluar y optimizar su nivel de confort.

Durante las diferentes etapas académicas del proceso, el trabajo se enfocó inicialmente en la intervención a nivel arquitectónico, consolidando progresivamente una propuesta integral que buscara mejorar las condiciones de confort térmico del edificio existente. Una vez definida esta propuesta, se procedió a realizar la simulación energética correspondiente, con el objetivo de comprobar el desempeño térmico obtenido.

En este sentido, el proceso metodológico adoptado se basó en un modelo de prueba y error, donde cada intervención o simulación permitió ajustar y perfeccionar la propuesta. Este proceso puede variar según cada caso de estudio, ya que el número de iteraciones depende de la complejidad del edificio y de la cantidad de estrategias que se desee evaluar.

Para el caso específico del presente proyecto, se llevaron a cabo dos propuestas arquitectónicas de intervención (Propuesta y Propuesta final) y tres simulaciones térmicas: una correspondiente al estado actual del edificio (línea base), otra vinculada a la propuesta de mejora, y una tercera que representa la propuesta final optimizada. Esta secuencia permitió analizar comparativamente los resultados obtenidos y sustentar las decisiones finales de diseño, las cuales servirán de base para las conclusiones del trabajo.

11. Análisis comparativo de resultados

11.1 Comparación de resultados térmicos entre simulación base y propuesta preliminar:

Comparación:

- En la línea base, el Ágora El Rocío presenta temperaturas interiores significativamente superiores al ambiente exterior, con picos de hasta 35 °C durante el día más cálido, mientras la temperatura exterior apenas alcanza 27 °C, manteniendo una diferencia de +8 °C
- En la propuesta, la temperatura interior se mantiene dentro de un rango de confort de 22–25 °C, incluso cuando el exterior desciende hasta 7 °C en el día más frío o aumenta más de 6 °C en el más cálido.
- Reducción de hasta 10–13 °C en el pico máximo interior y eliminación total del sobrecalentamiento diurno.
- La propuesta logra una estabilidad térmica notable, manteniendo confort tanto en condiciones extremas de calor como de frío.
- En la línea base, durante la madrugada las temperaturas interiores eran de 21–22 °C, ligeramente por encima de los 19–20 °C exteriores, pero con tendencia a incrementarse hasta 28 °C durante el día, lo que evidenciaba acumulación térmica excesiva y sobrecalentamiento.
- En la propuesta, las temperaturas interiores permanecen estables entre 22–25 °C, mientras el exterior oscila entre 7–18 °C, con diferencias máximas de 3–4 °C, sin picos de calor y con confort constante.
- Diferencia térmica reducida: de 8 °C (en la base) a solo 3–4 °C (en la propuesta).

- El sistema de envolvente mejorado logra aislar eficazmente el espacio interior, evitando tanto pérdidas térmicas como sobrecalentamientos.
- En la línea base, el edificio alcanzó una temperatura interior máxima de 35 °C, mientras el exterior apenas llegó a 27 °C, con un diferencial de +8 °C, generando un estrés térmico severo simulacion linea base
- En la propuesta, la temperatura operativa máxima no supera los 25 °C, manteniéndose 2–3 °C por debajo del ambiente exterior, lo que demuestra un efecto amortiguador y desacople térmico efectivo
- Mejora cuantitativa: reducción de 10 °C en la temperatura máxima interior y cambio de tendencia (el interior ahora es más fresco que el exterior).
- Interpretación: el diseño pasivo consigue revertir completamente el comportamiento térmico, pasando de un edificio sobrecalentado a uno con enfriamiento natural controlado.

Figura 94. Cuadro comparativo de la simulación de línea Base y La Propuesta

Parámetro	Línea base	Propuesta actualizada	Mejora
T. máx. interior (día cálido)	35 °C	25 °C	↓ 10 °C
T. mín. exterior (día frío)	19 °C	7 °C	—
T. interior día frío	21–28 °C	22–25 °C	Mayor estabilidad
PMV máx.	+3.65	0 ± 0.05	↓ 3.6
PPD máx.	90 %	< 2 %	↓ 88 %
Cumplimiento ASHRAE 55 / ISO 7730	No cumple	Cumple y supera	✓
Papel de la inercia térmica	Sobrecarga interna	Regulación pasiva	Mejora significativa
Ganancia principal	Cubierta (+11 kW)	Vidrios controlados (sin sobrecarga)	Disminución del pico térmico
Desempeño general	Inestable, sobrecalentado	Estable, confortable	Optimización integral

Nota: Elaboración propia

El análisis comparativo evidencia que la propuesta actualizada del Ágora El Rocío representa una optimización térmica radical respecto a la simulación de línea base. La temperatura interior máxima se reduce en ≈ 10 °C, el índice de confort PMV pasa de +3.65 a 0, y el PPD se reduce del 90 % a menos del 2 %, situando al edificio dentro del nivel óptimo de confort definido por ASHRAE 55 e ISO 7730.

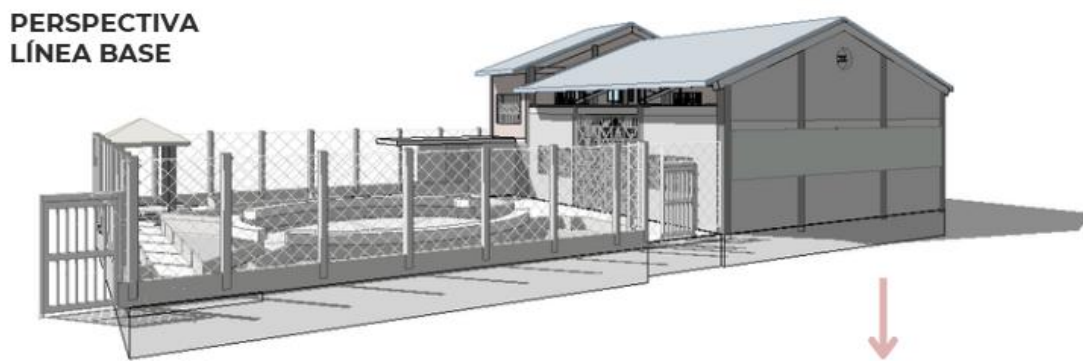
Las estrategias pasivas aplicadas —mejoramiento de la envolvente, control solar en acristalamientos, incremento de masa térmica útil y ventilación regulada— han transformado el comportamiento térmico del edificio, eliminando el sobrecalentamiento y garantizando confort continuo y eficiencia energética. En conclusión, el edificio pasa de un modelo sobrecalentado e ineficiente a un sistema bioclimático estable, resiliente y normativamente validado para las condiciones tropicales de Bucaramanga.

11.2 Ajuste y desarrollo de la propuesta final con estrategias bioclimáticas validadas:

Luego de analizar los resultados obtenidos en la simulación anterior, se procedió a desarrollar la propuesta final del proyecto. En esta etapa, la intervención sobre los componentes arquitectónicos se concentró únicamente en aquellos aspectos que se identificaron como necesarios de optimizar, enfocándose específicamente en los componentes formales y técnicos del edificio.

- *Propuesta final formal:*

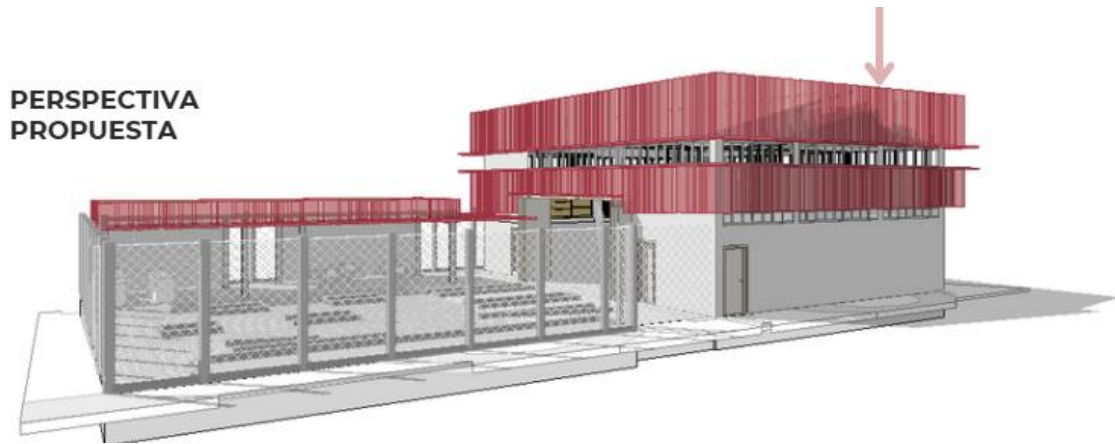
Figura 95. Perspectiva línea Base



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Para el desarrollo de la propuesta formal, se priorizó la implementación de las estrategias bioclimáticas previamente definidas, garantizando que las decisiones estéticas y compositivas no comprometieran su efectividad. A partir de este criterio, se diseñó una fachada con movimiento y coherencia visual, capaz de aportar identidad al edificio mientras mantiene un comportamiento térmico y ambiental adecuado.

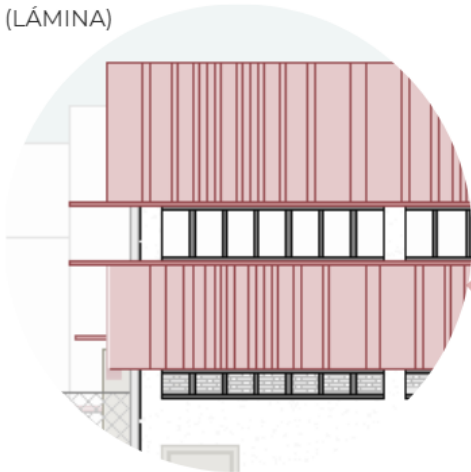
Figura 96. Perspectiva Propuesta final formal



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

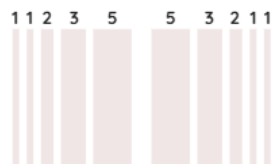
Figura 97. Propuesta final fachada

REVESTIMIENTO DE LA FACHADA (LÁMINA)



SECUENCIA DE FIBONACCI

Para el diseño del revestimiento en la fachada del edificio, se aplicó la secuencia de Fibonacci como criterio compositivo, con el objetivo de generar un ritmo visual armónico y equilibrado.



La modulación de las láminas se organizó siguiendo la progresión numérica característica de dicha secuencia, disponiéndose a intervalos de 10, 10, 20, 30 y 50 centímetros, tras lo cual el patrón se repite de manera continua.

Esta disposición no solo aporta una lectura estética ordenada y dinámica a la fachada, sino que también refuerza la coherencia geométrica del conjunto arquitectónico.

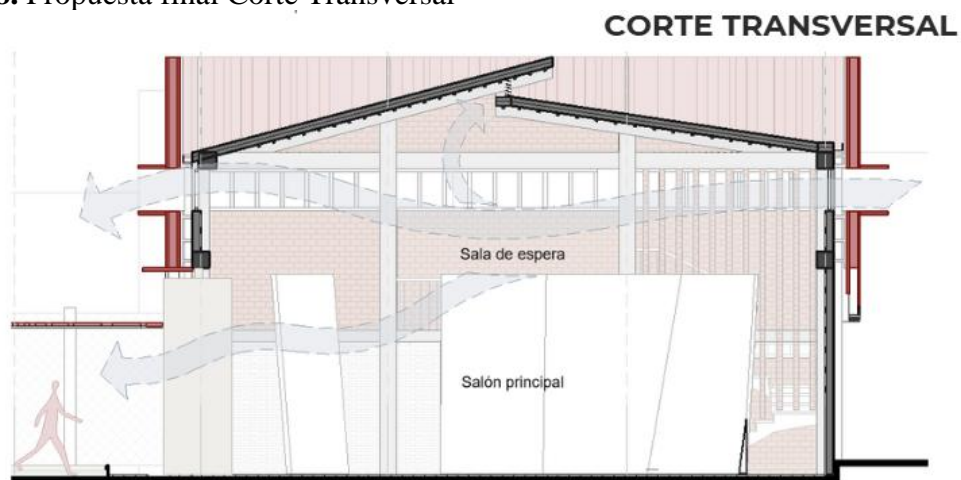
FACHADA SUR PROPUESTA



- *Propuesta formal estrategias bioclimáticas:*

- En los muros exteriores, se integró una envolvente térmica pasiva mediante revestimientos ventilados, mejorando la inercia térmica y reduciendo el intercambio de calor con el exterior.
- Se integraron láminas que al separarse de la pared generan cámaras de aire, que crean barreras térmicas entre la lámina y el muro, donde aumentan el aire efectivo y sombrean los elementos opacos.

Figura 98. Propuesta final Corte Transversal

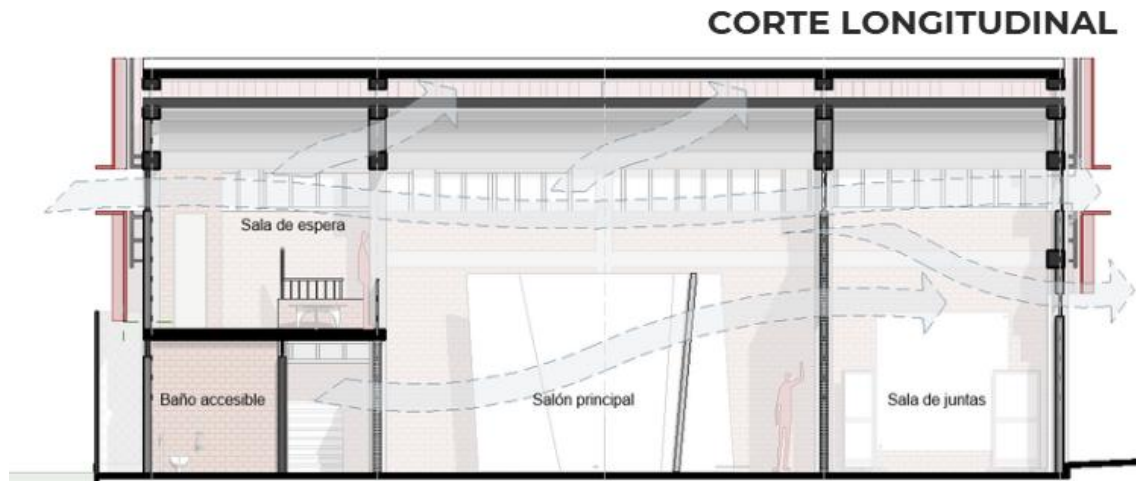


Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Se elimina el acristalamiento, por aberturas en los muros y se incorporaron elementos de sombreado exterior como aleros, además de la reducción de áreas vidriadas no esenciales para minimizar la ganancia solar directa.

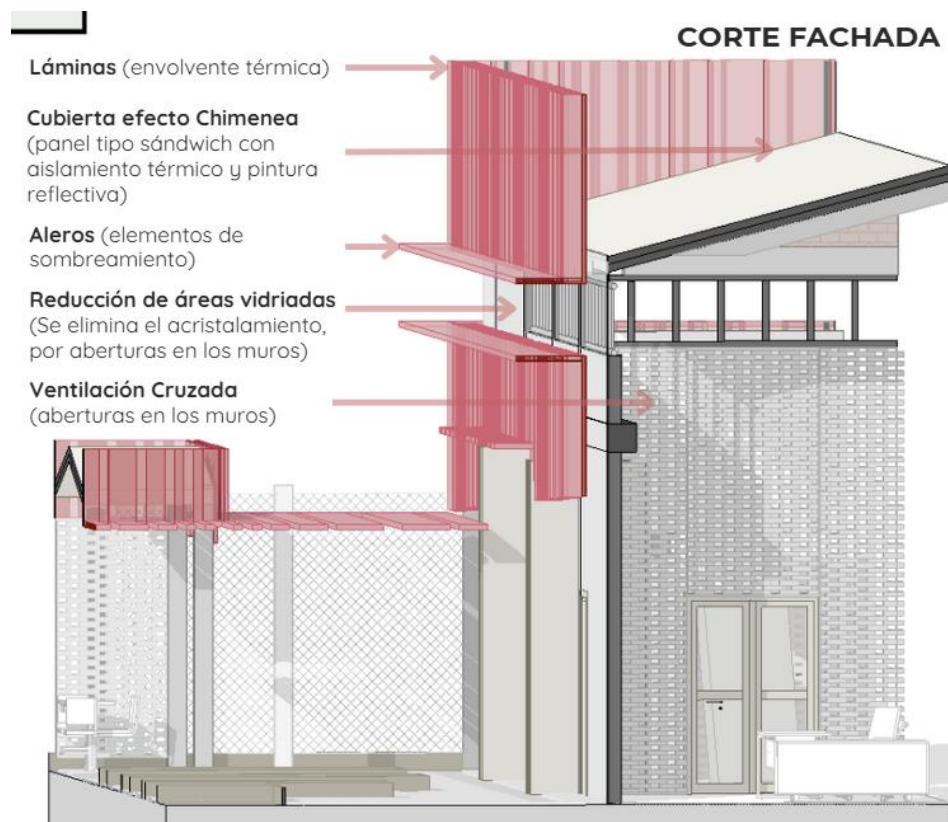
Finalmente, en la cubierta, se reemplazó el material existente por un panel tipo sándwich con aislamiento térmico, complementado con la aplicación de pinturas reflectivas que disminuyen la absorción solar y contribuyen a la estabilidad térmica interior.

Figura 99. Propuesta final Corte Longitudinal



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Figura 100. Propuesta final Corte Fachada



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

• Propuesta final técnica:

Después del análisis de la simulación, se realiza una nueva propuesta de materiales, y se analiza su conductividad térmica.

Figura 101. Propuesta final materiales



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

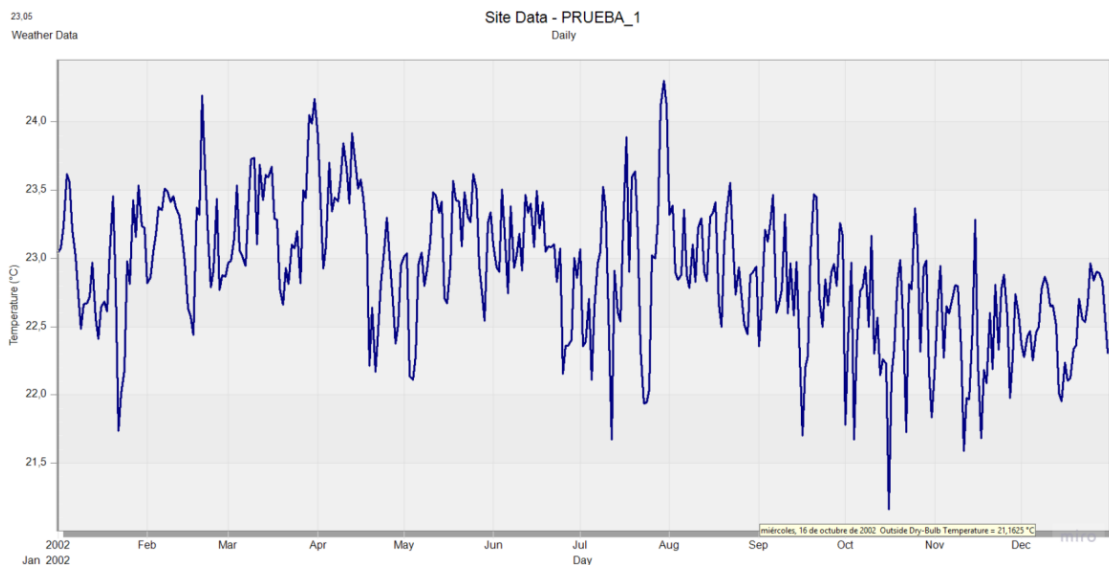
Figura 102. Propuesta final análisis de materiales

PLACA	CUBIERTA	MURO
<p>RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL</p> <ul style="list-style-type: none"> SELLADORA d: 0.002 λ: 0.40 PORCELANATO ANTIDESLIZANTE d: 0.01 λ: 1.75 MORTERO DE PEGA d: 0.01 λ: 0.8 MORTERO DE NIVELACIÓN d: 0.05 λ: 0.55 LOSA DE CONCRETO d: 0.1 λ: 2.50 RELLENO COMPACTADO d: 0.1 λ: 2.00 <p>CÁLCULO RESISTENCIAS DE MATERIALES</p> <ul style="list-style-type: none"> SELLADORA 0.002/0.40: 0.005 m² °C/W PORCELANATO ANTIDESLIZANTE 0.01/1.75: 0.005 m² °C/W MORTERO DE PEGA 0.01/0.8: 0.01 m² °C/W MORTERO DE NIVELACIÓN 0.05/0.55: 0.09 m² °C/W LOSA DE CONCRETO 0.1/2.50: 0.04 m² °C/W RELLENO COMPACTADO 0.1/2.00: 0.05 m² °C/W <p>CÁLCULO RESISTENCIA TÉRMICA °C/W</p> <ul style="list-style-type: none"> ΣR + Rsi + Rse RESISTENCIA TOTAL 0,2 + 0,17 + 0,05 = 0,42 0,4 = 2,3 RESISTENCIA TÉRMICA <p>FLUJO DE CALOR</p> <ul style="list-style-type: none"> Q: μ * ΔT = Flujo de energía Q: 2,3 * 3,5 = 8,0 W/m² <p>FLUJO DE ENERGÍA</p> <ul style="list-style-type: none"> μ: 2,3 W/m²°C coeficiente de transmisión de calor de aire q: 8,0 W/m²°C transferencia de calor a través de un muro en estado estacionario 	<p>RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL</p> <ul style="list-style-type: none"> CHAPA METÁLICA PRELACADA d: 0.0006 λ: 250 POLIURETANO (PUR) d: 0.03 λ: 0.040 CHAPA METÁLICA PRELACADA d: 0.0006 λ: 250 PINTURA REFLECTIVA d: 0.002 λ: 0.40 <p>CÁLCULO RESISTENCIAS DE MATERIALES</p> <ul style="list-style-type: none"> CHAPA METÁLICA PRELACADA 0.0006/250: 2,6 m² °C/W POLIURETANO (PUR) 0.03/0.040: 0,75 m² °C/W CHAPA METÁLICA PERFILADA TIPO "TEJA" 0.0006/250: 2,6 m² °C/W PINTURA REFLECTIVA 0.002/0.40: 0,005 m² °C/W <p>CÁLCULO RESISTENCIA TÉRMICA</p> <ul style="list-style-type: none"> ΣR + Rsi + Rse RESISTENCIA TOTAL 5,9 + 0,17 + 0,05 = 6,1 0,16 RESISTENCIA TÉRMICA <p>FLUJO DE CALOR</p> <ul style="list-style-type: none"> Q: μ * ΔT = Flujo de energía Q: 0,16 * 3,5 = 0,56 W/m² <p>FLUJO DE ENERGÍA</p> <ul style="list-style-type: none"> μ: 0,16 W/m²°C coeficiente de transmisión de calor de aire q: 0,56 W/m²°C transferencia de calor a través de un muro en estado estacionario 	<p>RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL</p> <ul style="list-style-type: none"> Ladrillo tolete macizo d: 0.06 λ: 7.5 Mortero de pega d: 0.015 λ: 0.55 Placas de XPS d: 0.1 λ: 0.035 mortero y malla fibra de vidrio d: 0.01 λ: 1.3 mortero armado d: 0.015 λ: 0.55 estuco d: 0.015 λ: 0.67 Pintura reflectiva d: 0.002 λ: 0.40 <p>CÁLCULO RESISTENCIAS DE MATERIALES</p> <ul style="list-style-type: none"> Ladrillo tolete macizo 0.06/7.5: 0,008 m² °C/W Mortero de pega 0.015/0.55: 0,02 m² °C/W Placas de XPS 0.1/0.035: 2,8 m² °C/W mortero y malla fibra de vidrio 0.01/1.3: 0,007 m² °C/W mortero armado 0.015/0.55: 0,02 m² °C/W estuco 0.002/0.40: 0,005 m² °C/W <p>CÁLCULO RESISTENCIA TÉRMICA</p> <ul style="list-style-type: none"> ΣR + Rsi + Rse RESISTENCIA TOTAL 2,8 + 0,17 + 0,06 = 3,03 3,0 = 0,33 RESISTENCIA TÉRMICA <p>FLUJO DE CALOR</p> <ul style="list-style-type: none"> Q: μ * ΔT = Flujo de energía Q: 0,33 * 3,5 = 1,15 W/m² <p>FLUJO DE ENERGÍA</p> <ul style="list-style-type: none"> μ: 0,33 W/m²°C coeficiente de transmisión de calor de aire q: 1,15 W/m²°C transferencia de calor a través de un muro en estado estacionario

Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

- Simulación final y presentación de resultados: después de hacer los cambios en las intervenciones formales y técnicas, realizamos nuestra última simulación, la Propuesta Final, y al igual que las anteriores simulaciones, se realiza en 2 escenarios representativos.
- *Escenarios representativos: el día más frío*

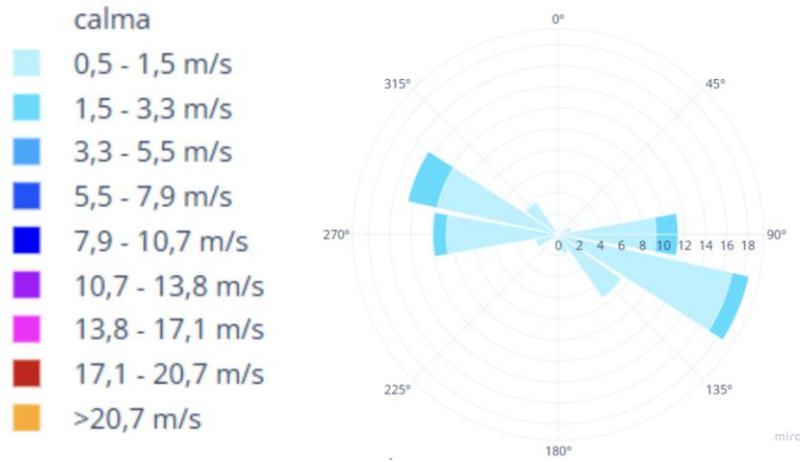
Figura 103. Datos climatológicos para la simulación final el día más frío



Nota: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021)

El Por medio del programa DesignBuilder se simuló el sitio con ayuda de la base de datos del EPW que se suministró al inicio, esta simulación nos da como resultado el día más caliente del año, esto para simular las propuestas y la línea base en los peores escenarios es decir es los días más calientes del año.

Figura 104. Vientos sacados del IDEAM



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2020)

La velocidad del viento se tomó del IDEAM del documento de Atlas del viento de Colombia en el cual nos da las variables de la velocidad del tiempo dando como resultado que en las dos simulaciones del día más frío se correrán con unas velocidades de 0.5 y 3.3 tomando como referencia la velocidad más baja y alta.

- **Resultados de la simulación final**

Figura 105. Resultados de la simulación final el día más frío

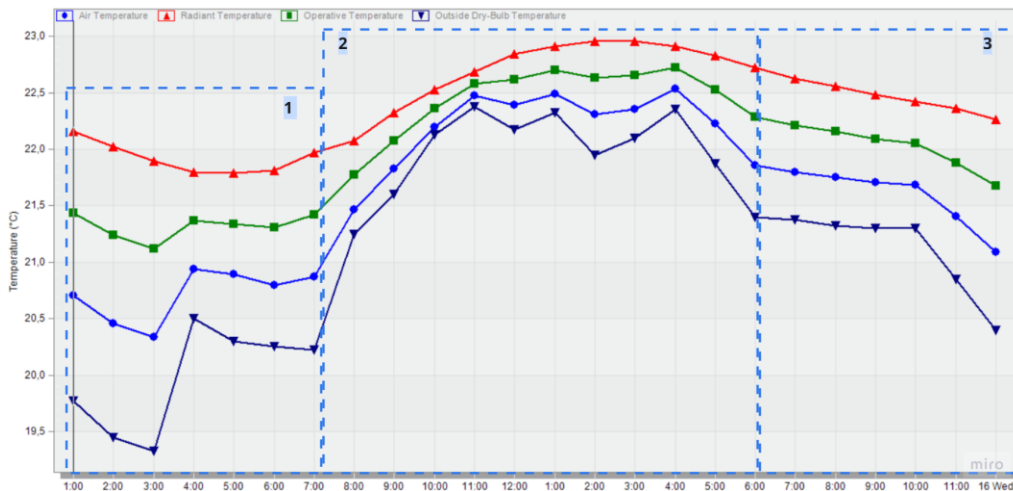


Figura 106. Resultados de la simulación final el día más frío representados en una tabla de EXCEL

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	
Air Temperature	20.7	20.45	20.34	20.94	20.88	20.79	20.87	21.47	21.83	22.2	22.48	22.39	22.49	22.31	22.35	22.53	22.23	21.85	21.8	21.75	21.7	21.64	21.41	21.28	21.08
Radiant Temperature	22.36	22.03	21.9	21.8	21.79	21.82	21.97	22.07	22.32	22.53	22.68	22.84	22.81	22.86	22.96	22.91	22.83	22.75	22.63	22.56	22.48	22.42	22.36	22.27	22.26
Operative Temperature	21.43	21.24	21.12	21.37	21.34	21.3	21.42	21.77	22.07	22.36	22.68	22.62	22.7	22.63	22.65	22.72	22.53	22.29	22.21	22.15	22.09	22.05	21.88	21.68	21.68
Outside Dry-Bulb Temperature	19.77	19.45	19.33	20.5	20.3	20.25	20.23	21.25	21.6	22.13	22.36	22.17	22.33	21.95	22.1	22.35	21.88	21.4	21.36	21.33	21.3	21.3	20.85	20.4	20.4

Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

11.3 Explicación de los resultados de la simulación final el día más frío: En las horas de la madrugada, momentos previos al inicio de las actividades en el Ágora, se observa que el edificio mantiene un buen nivel de confort térmico. La temperatura interior, así como la de sus materiales, se conservan en un rango estable entre 20 °C y 22 °C, superando apenas en 2 °C la temperatura exterior, que oscila entre 19 °C y 20 °C. Esta ligera diferencia evidencia un comportamiento térmico adecuado, ya que tanto el interior como el exterior del edificio se mantienen dentro de un rango considerado confortable para los ocupantes, sin presencia de sobrecalentamiento ni de pérdidas térmicas significativas.

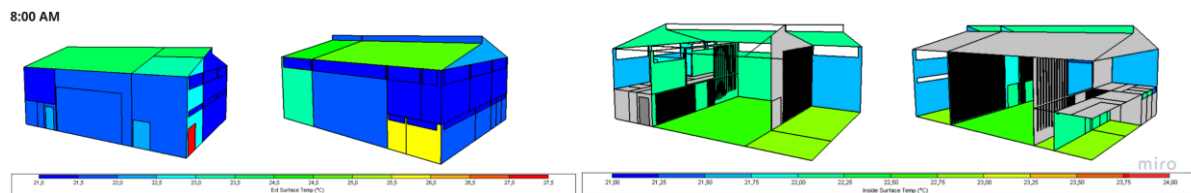
Una vez el Ágora inicia sus actividades, tras aproximadamente dos horas de exposición a la radiación solar, hacia las 8:00 a. m. se comienza a evidenciar una ligera variación tanto en la temperatura interior como en la exterior del edificio. Este cambio térmico, aunque influenciado por la radiación solar y por las actividades internas, no resulta significativo, ya que la temperatura interior y exterior pasan de oscilar entre 21 °C y 21.5 °C a valores comprendidos entre 22 °C y 22.9 °C. Este rango puede considerarse adecuado y confortable, incluso en el momento de mayor radiación, lo que indica que el edificio mantiene un buen desempeño térmico inicial antes de alcanzar los periodos críticos de sobrecalentamiento.

Una vez superado el periodo crítico de sobrecalentamiento, la temperatura exterior comienza a descender progresivamente hasta alcanzar valores cercanos a los 20 °C. Sin embargo, la temperatura interior del edificio se mantiene alrededor de los 22 °C, disminuyendo solo de forma

gradual. Este comportamiento se debe a la dificultad de los materiales del Ágora para disipar la energía térmica acumulada durante el periodo diurno, lo que evidencia su alta inercia térmica y baja capacidad de enfriamiento. En consecuencia, durante las horas nocturnas los materiales no logran variar significativamente su temperatura, manteniéndose en un rango entre 21.5 °C y 22 °C, lo que demuestra que el edificio retiene parte del calor absorbido durante el día.

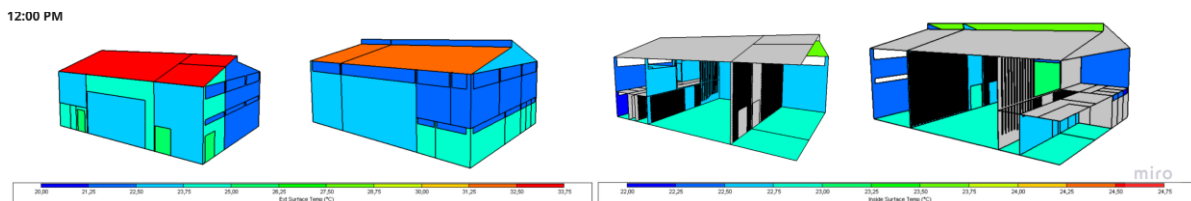
- **Simulación final el día más frío (temperatura en el edificio):** se realiza una simulación sobre el impacto solar en la edificación para determinar qué zonas del edificio tienen mayor incidencia solar, la simulación se hace en tres horarios específicos a las 8am - 12am - 18pm; a las 8:00 am porque es la hora donde abre el edificio, a las 12:00Pm porque es el día donde el sol está más fuerte y a las 6:00 pm porque a esa hora cierra el edificio.

Figura 107. Simulación final a la 8 am el día más frío



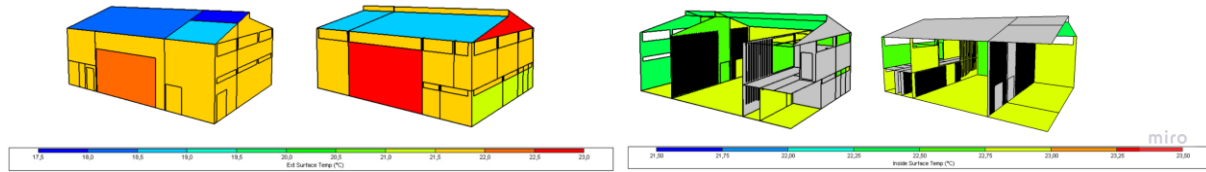
Nota: (DesignBuilder Software Ltd, 2021)

Figura 108. Simulación final a la 12 am el día más frío



Nota: (DesignBuilder Software Ltd, 2021)

Figura 109. Simulación final a la 6 pm el día más frío



Nota: (DesignBuilder Software Ltd, 2021)

- **Simulación final el día más frío (energía de lo materiales)**

Figura 110. Resultados de la simulación final de la energía de los materiales

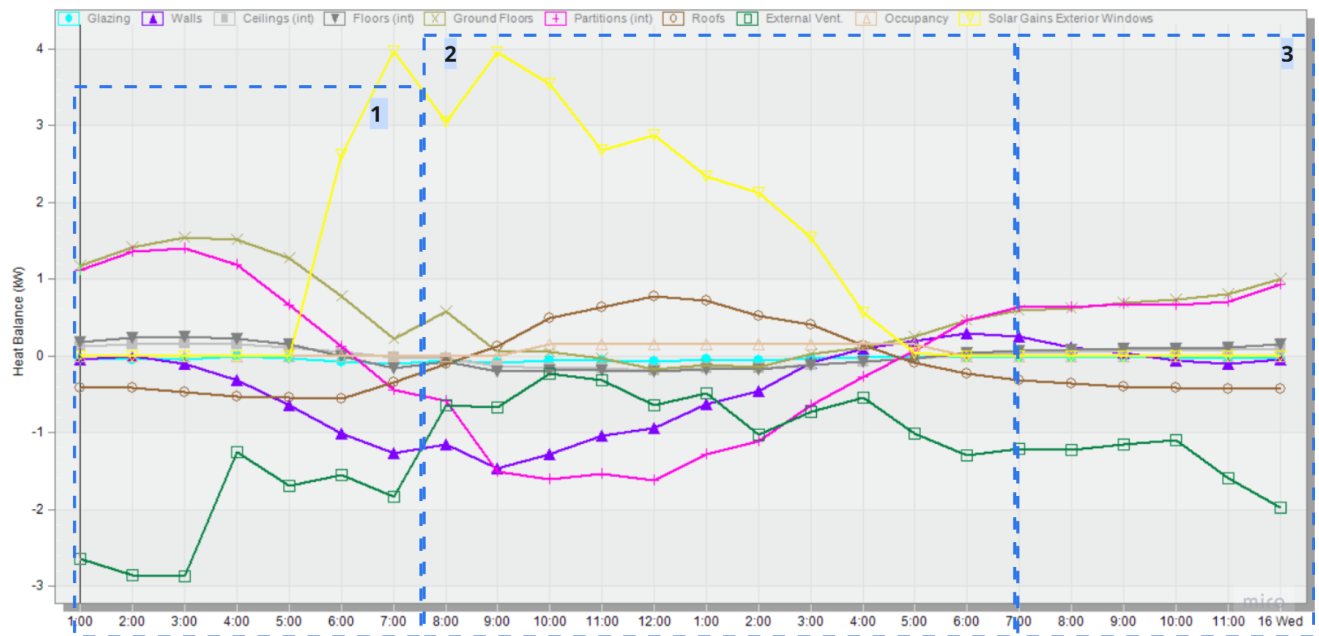


Figura 111. Resultados de la simulación final de la energía de los materiales representados en una tabla de EXCEL el día más frío

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	
Blazing	-0,05	-0,05	-0,05	-0,01	-0,03	-0,07	-0,1	-0,06	-0,09	-0,07	-0,06	-0,07	-0,05	-0,06	-0,04	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,03	-0,03	-0,03
Walls	0,64	0,91	0,1	-0,32	-0,64	-1,01	-1,27	-1,16	-1,46	-1,26	-1,04	-0,66	-0,63	-0,46	0,1	0,1	0,19	0,29	0,25	0,12	0,04	-0,06	-0,11	-0,05	
Ceilings (int)	0,12	0,15	0,17	0,16	0,11	0,05	-0,02	-0,03	-0,14	-0,16	-0,16	-0,19	-0,17	-0,16	-0,12	-0,07	-0,03	0,01	0,04	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,1
Floors (int)	0,19	0,23	0,25	0,23	0,15	-0,01	-0,17	-0,07	-0,2	-0,18	-0,21	-0,18	-0,17	-0,12	-0,07	-0,03	0,03	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,11	0,15	0,15
Ground Floors	1,18	1,41	1,54	1,52	1,28	0,77	0,22	0,98	0,05	0,05	-0,04	-0,18	-0,11	-0,14	0,02	0,12	0,25	0,47	0,59	0,62	0,69	0,79	0,8	1	1
Partitions (int)	1,12	1,36	1,4	1,19	0,66	0,12	-0,44	-0,59	-1,52	-1,61	-1,63	-1,62	-1,28	-1,11	-0,65	-0,28	0,07	0,46	0,54	0,63	0,68	0,67	0,71	0,94	0,94
Roofs	-0,42	-0,42	-0,47	-0,53	-0,54	-0,56	-0,35	-0,1	0,13	0,5	0,63	0,77	0,72	0,53	0,4	0,14	-0,09	-0,23	-0,31	-0,36	-0,4	-0,41	-0,43	-0,43	-0,43
External Vent	2,94	2,98	2,98	-1,25	-1,99	-1,55	-1,84	-0,64	-0,67	0,23	0,22	-0,64	-0,46	-1,03	-0,79	-0,54	1,01	1,3	1,21	1,23	-1,16	-1,1	-1,06	-1,06	
Occupancy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0	0	0	0	0	0	0
Solar Gains	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0	0	0	0	0	0	0
Exterior Windows	0	0	0	0	0	2,62	3,07	3,05	3,95	3,54	2,68	2,88	2,94	2,12	1,54	0,57	0,04	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

11.4 Explicación de los resultados de la primera simulación de la energía de los materiales el día más frío: en las primeras horas del día, desde la madrugada hasta antes del inicio de las actividades en el Ágora, el principal elemento que contribuye al enfriamiento del edificio es la ventilación, ya que las bajas temperaturas exteriores favorecen la disipación de la energía térmica acumulada durante el día anterior. En este periodo, la ventilación e infiltración actúan extrayendo calor del interior hacia el exterior más frío, registrando valores negativos entre -2 y -3 kW, los cuales son significativos y evidencian una tasa de intercambio de aire considerable. Por otro lado, el suelo se comporta como el elemento más caliente del conjunto, presentando una alta inercia térmica al ser el último en liberar el calor almacenado, con valores que descienden progresivamente desde 1.54 kW hasta oscilar entre 0.18 kW y 0.73 kW. Este comportamiento confirma que el suelo retiene la energía térmica con mayor persistencia antes de alcanzar su equilibrio térmico con el entorno.

Durante el segundo periodo del día, la ganancia solar a través de las ventanas alcanza un valor aproximado de 3.06 kW, evidenciando el aumento de la radiación incidente sobre las superficies acristaladas. Por su parte, los muros internos, luego de haber disipado el calor acumulado durante la noche, muestran una ligera variación térmica, pasando de 1.12 kW a 1.63 kW. Este comportamiento indica que, aunque los muros continúan participando en el intercambio térmico del espacio, su aporte energético no presenta fluctuaciones significativas, manteniendo una relativa estabilidad térmica en comparación con otros elementos constructivos.

Cuando la radiación solar desaparece, se evidencia una drástica variación en el comportamiento térmico de las ventanas, que pasan de registrar valores cercanos a -3 kW a aproximarse a 0 kW. Este cambio refleja que, en ausencia de radiación solar, las ventanas dejan de actuar como zonas de pérdida de energía, estabilizando su intercambio térmico con el entorno. En consecuencia, su influencia sobre la temperatura interior del edificio se reduce considerablemente, indicando un comportamiento pasivo en las horas nocturnas.

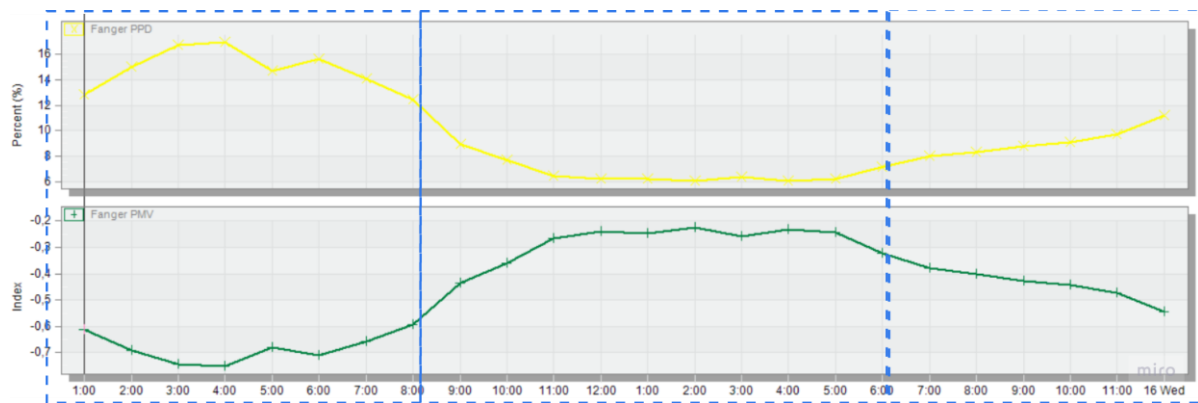
- *Simulación final del confort térmico interior según método de Fanger en DesignBuilder el día más frío*: el siguiente gráfico hace referencia a la evaluación térmica interior del edificio por medio del método de Fanger, este método consiste en dos índices principales los cuales son:

El PMV: Indica cómo se siente en promedio un grupo de personas respecto a las condiciones térmicas del lugar, este promedio se cuantifica por medio de una escala de frío a calor (-3 = muy frío, $+3$ = muy caliente), donde 0 representa un buen confort térmico, para la evaluación de este método se necesitan datos como temperatura del aire, temperatura radiante media, humedad relativa y velocidad del aire y datos de usuarios como lo son su nivel de actividad metabólica (met) y el aislamiento de la ropa (clo).

El PPD: Este índice hace referencia al porcentaje predicho de insatisfechos, el cual estima que el porcentaje de personas que, aun cuando el PMV esté en condiciones de confort, se sentirán incómodas (porque nunca se logra un 100% de satisfacción). y se estima que este porcentaje suele ser del 5% si el PMV está en el rango de confort, de lo contrario va aumentando dependiendo del PMV

Este método de la escala de Fanger es utilizado por normas internacionales como la ISO77300 y la ASHRAE 55 que son normativas internacionales que toma directamente el modelo de Fanger (PMV y PPD) como criterio de confort térmico en edificios.

Figura 112. Método de Fanger en DesignBuilder el día más frío



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Figura 113. Método de Fanger en DesignBuilder el día más frío tabla de EXCEL

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
Fanger PPD	9.78	11.98	15.08	17.6	18.06	15.58	9.08	6.45	10.41	23.42	33.86	47.19	48.61	47.73	48.66	43.2	30.28	19.54	12.04	7.33	6.17	6.28	7.05	8.47
Fanger PMV	-0.41	-0.52	-0.65	-0.73	-0.75	-0.71	-0.4	-0.1	0.38	0.82	1.07	1.05	1.38	1.36	1.37	1.26	0.99	0.72	0.46	0.22	0	-0.09	-0.21	-0.38

Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

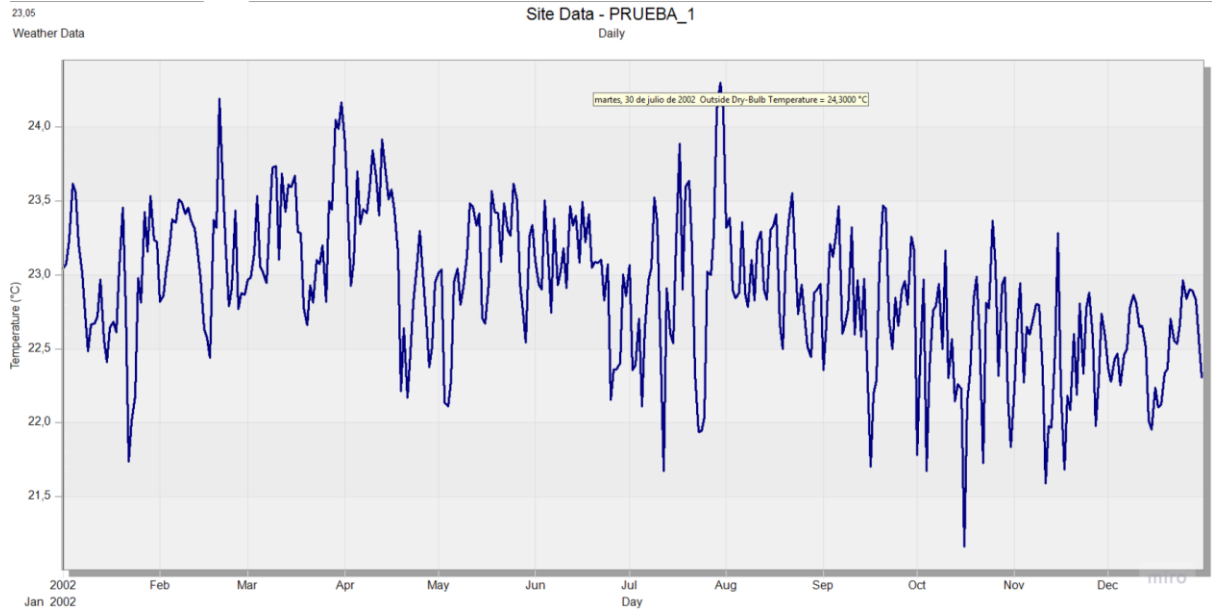
Durante la madrugada y las horas previas al inicio de las actividades en el Ágora El Rocío, el índice PPD se mantiene en un rango entre 9 % y 17 %, superando ligeramente los valores recomendados por la normativa para considerarse dentro de un confort térmico óptimo. Por su parte, el índice PMV varía entre 0 y -0.75, lo que indica que el ambiente interior del edificio se conserva en condiciones de confort térmico leve, aunque presenta una ligera desviación hacia la sensación de frío. En conjunto, estos resultados reflejan que, durante este periodo, el edificio ofrece condiciones térmicas aceptables, pero con una tendencia incipiente al enfriamiento.

Durante las horas de mayor incidencia solar y sobrecalentamiento, el índice PMV alcanza un valor máximo de 1.38, lo que evidencia la presencia de condiciones térmicas cálidas y un incremento significativo de la temperatura interior. En consecuencia, el índice PPD se eleva hasta un 47 %, indicando un nivel de insatisfacción térmica entre los ocupantes. Estos resultados permiten inferir que el edificio presenta problemas moderados de sobrecalentamiento, donde una parte considerable de la población no se encuentra dentro del rango de confort térmico establecido por la normativa.

Una vez finaliza la radiación solar directa y ha pasado el pico de sobrecalentamiento, el edificio logra restablecer gradualmente sus condiciones térmicas. En este periodo, el índice PPD desciende hasta aproximadamente un 6 %, mientras que el índice PMV retorna a valores cercanos a 0, lo que indica una recuperación del confort térmico conforme a los parámetros establecidos por la normativa. En otras palabras, aunque durante las horas de mayor radiación el edificio experimenta un ligero desbordamiento térmico, posteriormente logra estabilizarse dentro de un rango de confort aceptable para los ocupantes.

- *Escenarios representativos: el día más cálido*

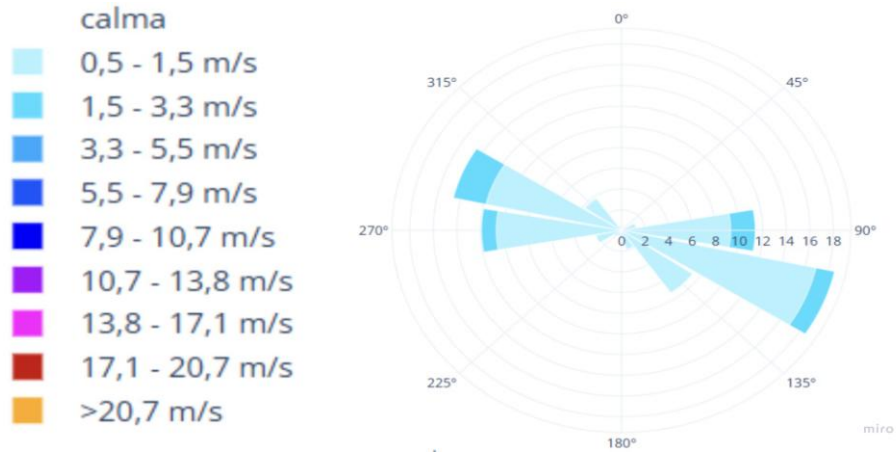
Figura 114. Datos climatológicos para la simulación final el día más caliente



Nota: (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021)

El Por medio del programa DesignBuilder se simuló el sitio con ayuda de la base de datos del EPW que se suministró al inicio, esta simulación nos da como resultado el día más caliente del año, esto para simular las propuestas y la línea base en los peores escenarios es decir es los días más calientes del año.

Figura 115. Vientos sacados del IDEAM

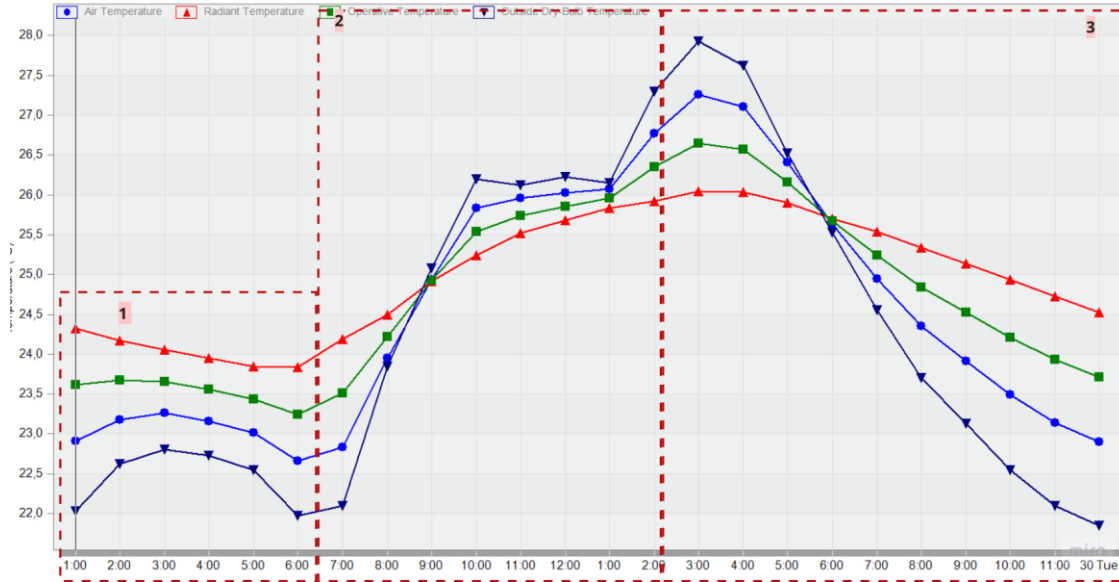


Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2020)

La velocidad del viento se tomó del IDEAM del documento de Atlas del viento de Colombia en el cual nos da las variables de la velocidad del tiempo dando como resultado que en las dos simulaciones del día más frío se correrán con unas velocidades de 0.5 y 3.3 tomando como referencia la velocidad más baja y más alta.

- *Resultados de la primera simulación*

Figura 116. Resultados de la simulación final el día más caliente



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Figura 117. Resultados de la simulación final el día más caliente tabla de EXCEL

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
Air Temperature	22.9	23.18	23.26	23.16	23.01	22.86	22.83	23.95	24.93	25.83	25.96	26.63	26.68	26.77	27.26	27.31	26.41	25.63	24.95	24.35	23.91	23.49	23.13	22.8
Radiant Temperature	24.33	24.17	24.05	23.95	23.85	23.83	24.19	24.49	24.91	25.24	25.52	25.68	25.83	25.92	26.04	26.04	25.9	25.7	25.53	25.34	25.13	24.94	24.73	24.52
Operative Temperature	23.62	23.67	23.66	23.56	23.43	23.25	23.31	24.22	24.92	25.33	25.74	25.85	25.96	26.35	26.65	26.57	26.16	25.61	25.24	24.84	24.52	24.21	23.88	23.71
Outside Dry-Bulb Temperature	22.02	22.63	22.8	22.73	22.55	21.98	22.1	23.85	25.08	26.2	26.13	26.23	26.15	27.3	27.82	27.63	26.52	25.52	24.55	23.7	23.13	22.55	22.1	21.85

Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

11.5 Explicación de los resultados de la simulación final: durante el día más cálido registrado, se observa que en horas de la madrugada la temperatura interior del edificio desciende de 23,5 °C a 23 °C. En contraste, la temperatura exterior presenta un incremento repentino alrededor de las 3:00 a.m., pasando de 22 °C a 22,5 °C. No obstante, antes de las 8:00 a.m., momento en que el edificio inicia sus actividades, la temperatura exterior retorna a 22 °C. En

consecuencia, la diferencia térmica entre el interior y el exterior del edificio es de aproximadamente 1 °C.

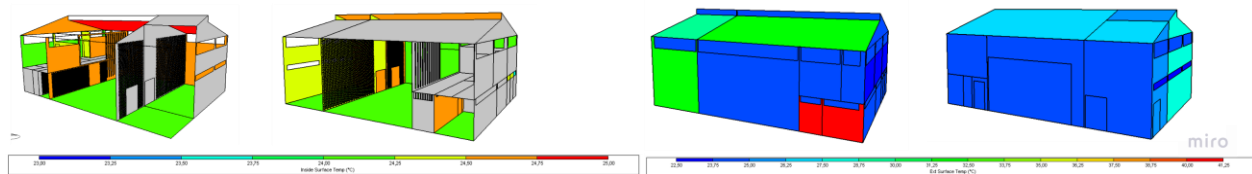
Al momento en que el Ágora inicia sus actividades, tanto la temperatura interior del edificio como la exterior evidencian un incremento acelerado, comprendido entre las 7:00 a.m. y las 10:00 a.m. Durante este intervalo, la temperatura del aire exterior aumenta hasta alcanzar los 26 °C, mientras que la temperatura interior del edificio se eleva hasta los 25 °C a las 10:00 a.m. A partir de esa hora, ambas temperaturas se mantienen relativamente estables hasta la 1:00 p.m., momento en que se observa un nuevo ascenso. En este segundo aumento, la temperatura exterior alcanza aproximadamente los 28 °C y la temperatura interior llega a su valor máximo de 26,5 °C. Este comportamiento puede explicarse por las propiedades térmicas de los materiales del edificio, los cuales alcanzan una temperatura máxima de 26 °C y se mantienen por debajo de la temperatura exterior. Dichas características proporcionan una elevada resistencia térmica, lo que permite que el ambiente interior sea hasta 3 °C más fresco que el exterior. En consecuencia, se evidencia una mejora en el desempeño térmico del edificio, al lograr una eficaz atenuación del calor durante el día más caluroso.

Posterior al pico máximo de temperatura, las condiciones térmicas comienzan a descender alrededor de las 4:00 p.m. La temperatura exterior disminuye de manera progresiva hasta alcanzar los 22 °C durante aproximadamente nueve horas del periodo nocturno. De forma similar, la temperatura interior del edificio desciende hasta los 24 °C durante la noche. En cuanto a los materiales constructivos, estos reducen su temperatura únicamente hasta los 24,5 °C, debido a la considerable carga térmica acumulada durante las horas más calurosas del mediodía. A pesar de esta acumulación, las variaciones térmicas en los materiales no son significativas, oscilando entre los 24 °C y 24,5 °C. Este comportamiento evidencia un adecuado desempeño en términos de

transmitancia térmica, ya que durante el día los materiales contribuyen a aislar el calor y a evitar el sobrecalentamiento del espacio interior, mientras que en la noche facilitan la liberación gradual de la carga térmica acumulada.

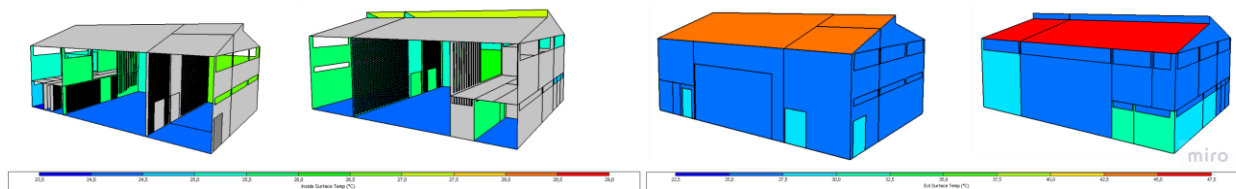
- *Simulación final el día más caliente (temperatura en el edificio):* se realiza una simulación sobre el impacto solar en la edificación para determinar qué zonas del edificio tienen mayor incidencia solar, la simulación se hace en tres horarios específicos a las 8am - 12am - 18pm; a las 8:00 am porque es la hora donde abre el edificio, a las 12:00Pm porque es el día donde el sol está más fuerte y a las 6:00 pm porque a esa hora cierra el edificio.

Figura 118. Simulación final a la 8 am el día más caliente



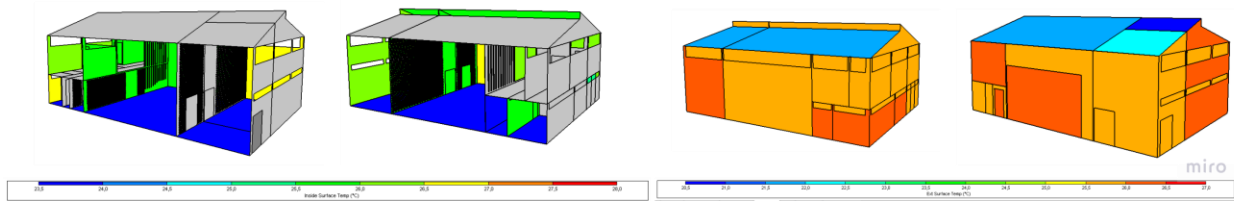
Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Figura 119. Simulación final a la 12 am el día más caliente



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

Figura 120. Simulación final a la 6 pm



Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

- Simulación final (energía de los materiales) el día más caliente

Figura 121. Resultados de la simulación final el día más caliente de la energía de los materiales

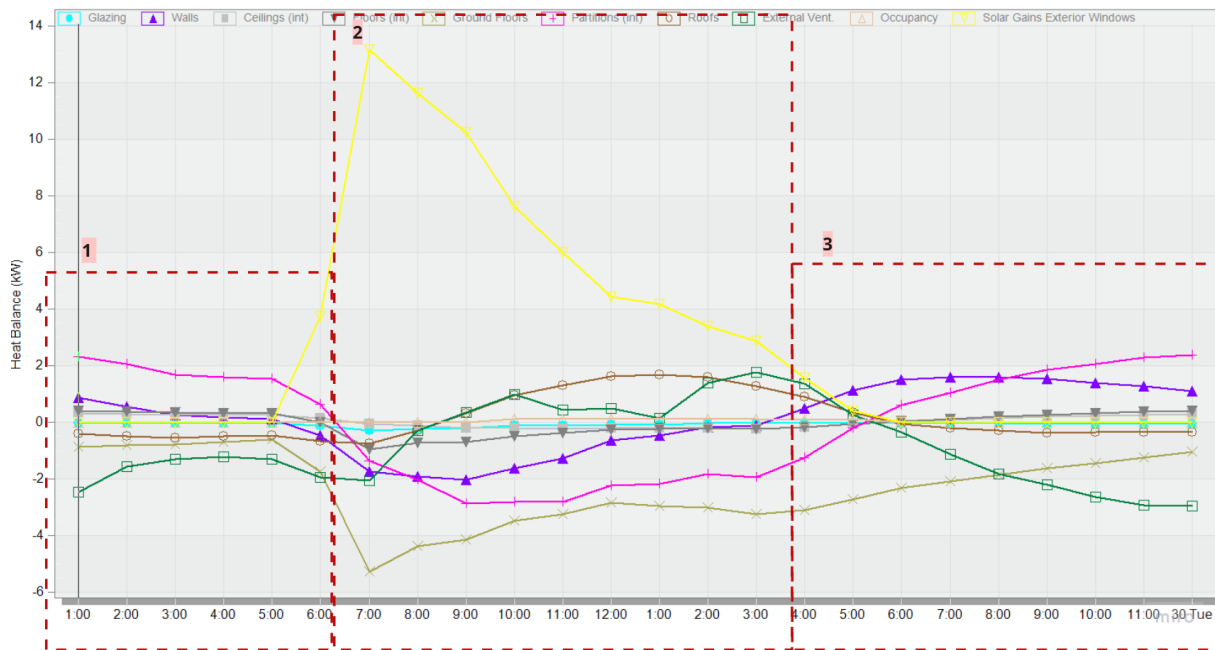


Figura 122. Resultados de la simulación final el día más caliente de la energía de lo materiales representados en una tabla de EXCEL

	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	000
Blazing	-0.04	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.12	-0.3	-0.23	-0.2	-0.12	-0.12	-0.08	-0.08	-0.03	-0.03	-0.02	-0.01	-0.03	-0.04	-0.04	-0.06	-0.06	-0.06	
Walls	0.67	0.56	0.27	0.17	0.11	-0.48	-1.74	-1.92	-2.04	-1.63	-1.26	-0.65	-0.47	-0.17	-0.1	0.49	1.13	1.5	1.58	1.6	1.52	1.38	1.26	1.09
Ceilings (int)	0.21	0.29	0.27	0.25	0.25	0.16	-0.07	-0.12	-0.2	-0.21	-0.23	-0.19	-0.21	-0.19	-0.24	-0.19	-0.06	0.05	0.1	0.15	0.2	0.24	0.27	0.3
Floors (int)	0.41	0.36	0.33	0.32	0.32	0	-0.94	-0.73	-0.7	-0.5	-0.38	-0.25	-0.23	-0.21	-0.24	-0.17	-0.06	0.04	0.11	0.19	0.26	0.32	0.37	0.4
Ground Floors	-0.67	-0.8	-0.78	-0.7	-0.61	-1.73	-3.36	-4.36	-4.14	-3.48	-3.23	-2.65	-2.56	-2.01	-1.26	-1.1	-2.72	-2.32	-2.08	-1.84	-1.63	-1.45	-1.24	-1.03
Partitions (int)	2.52	2.04	1.69	1.58	1.53	0.63	-1.35	-2.03	-2.88	-2.81	-2.81	-2.23	-2.16	-1.82	-1.95	-1.24	-0.2	0.81	1.05	1.5	1.85	2.07	2.28	2.37
Roofs	-0.4	-0.5	-0.54	-0.48	-0.46	-0.67	-0.75	-0.29	0.33	0.66	1.32	1.62	1.68	1.59	1.27	0.89	0.36	-0.05	-0.21	-0.3	-0.37	-0.36	-0.34	-0.36
External Vent.	-2.47	-1.55	-1.3	-1.23	-1.31	-1.93	-2.07	-0.3	0.36	0.98	0.42	0.5	0.16	1.39	1.78	1.38	0.28	-0.33	-1.13	-1.83	-2.21	-2.65	-3.01	-2.96
Occupancy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.12	0.11	0.12	0.11	0.11	0.1	0.1	0.11	0	0	0	0	0	0	0
Solar Gains																								
Exterior Windows	0	0	0	0	0	3.72	13.34	11.63	10.23	7.61	5.98	4.44	4.17	3.38	2.87	1.56	0.4	0.01	0	0	0	0	0	0

Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

11.6 Explicación de los resultados de la simulación final el día más caliente de la energía de los materiales: en las primeras horas de la madrugada los materiales mantienen un comportamiento estable, los cuales cambian a las 5:00am donde los primeros rayos solares aparecen, por consecuencia a esto hace que las ganancias solares por medio de las ventanas se presente un crecimiento exorbitante pasando de 0kW a 13kW siendo este el comportamiento mas brusco de la grafica, y se presenta debido a las propiedades de la ventana, al ser un elemento delgado y transparente la conductividad térmica suele ser elevada puesto que no hay ningún elemento que retenga un poco la radicon solar.

Durante el pico de sobrecalentamiento, los muros internos liberan el frío acumulado durante la madrugada con el fin de disipar la temperatura interior. Un comportamiento similar se observa en el suelo, aunque con valores de flujo térmico más elevados, alcanzando aproximadamente los -6 kW, mientras que los muros internos registran valores cercanos a -3 kW. En contraste, los muros externos presentan un comportamiento opuesto, acumulando calor hasta alcanzar los 2 kW. Este fenómeno se explica porque dichos elementos están expuestos directamente a la radiación solar, absorbiendo la carga térmica para evitar su transmisión hacia el interior del edificio y, por tanto, contribuyendo a mitigar el sobrecalentamiento del Ágora.

Otro elemento fundamental para el confort térmico del edificio es la cubierta, que, junto con los muros internos, cumple la función de recolectar, almacenar y disipar la carga térmica generada por la radiación solar durante las horas de mayor incidencia. Una vez desaparece la

radiación solar, los materiales liberan gradualmente el calor acumulado, estabilizando nuevamente su flujo térmico hacia un valor cercano a 0 kW.

- Simulación final del confort térmico interior según método de Fanger en DesignBuilder el día más caliente: el siguiente gráfico hace referencia a la evaluación térmica interior del edificio por medio del método de Fanger, este método consiste en dos índices principales los cuales son:

El PMV: Indica cómo se siente en promedio un grupo de personas respecto a las condiciones térmicas del lugar, este promedio se cuantifica por medio de una escala de frío a calor (-3 = muy frío, +3 = muy caliente), donde 0 representa un buen confort térmico, para la evaluación de este método se necesitan datos como temperatura del aire, temperatura radiante media, humedad relativa y velocidad del aire y datos de usuarios como lo son su nivel de actividad metabólica (met) y el aislamiento de la ropa (clo). (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021)

El PPD: Este índice hace referencia al porcentaje predicho de insatisfechos, el cual estima que el porcentaje de personas que, aun cuando el PMV esté en condiciones de confort, se sentirán incómodas (porque nunca se logra un 100% de satisfacción). y se estima que este porcentaje suele ser del 5% si el PMV está en el rango de confort, de lo contrario va aumentando, dependiendo del PMV (Fanger, 1970).

Este método de la escala de Fanger es utilizado por normas internacionales como la ISO77300 y la ASHRAE 55 que son normativas internacionales que toma directamente el modelo de Fanger (PMV y PPD) como criterio de confort térmico en edificios.

Figura 123. Método de Fanger en DesignBuilder el día más caliente

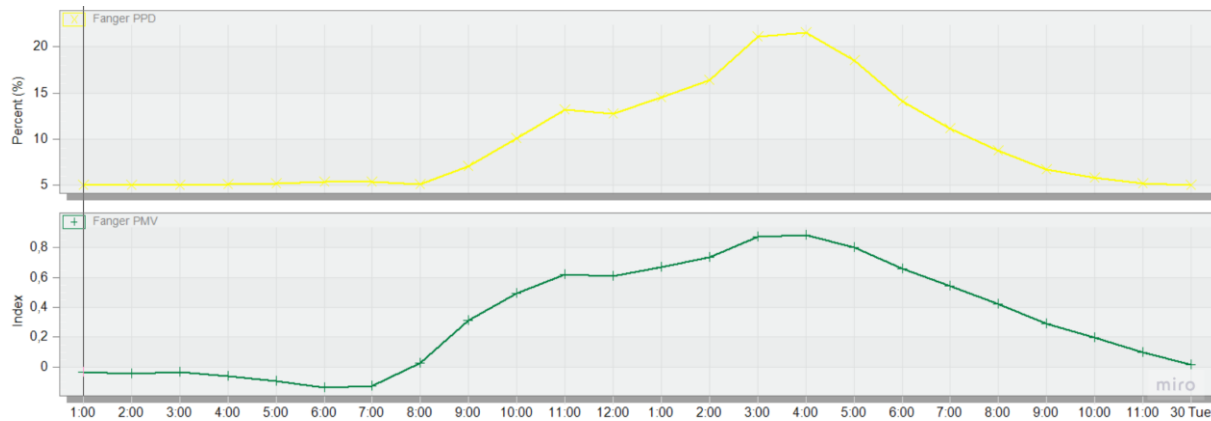


Figura 124. Método de Fanger en DesignBuilder el día más caliente en tabla de EXCEL

	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	24:00
Fanger PPD	20.7	33.79	42.97	47.09	54.46	64.36	25.47	9.95	45.99	75.05	82.21	84.26	86.81	88.65	91.01	90.46	86.46	68.75	45.45	20.15	9.44	7.21	8.5	13.43
Fanger PMV	-0.77	-1.09	-1.29	-1.38	-1.44	-1.74	-0.98	0.13	1.25	2.08	2.8	3.23	3.65	3.75	3.76	3.37	2.64	1.87	1.38	0.79	0.34	0.09	-0.23	-0.82

Nota: (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022)

El edificio presenta un adecuado nivel de confort térmico durante las horas de la madrugada, periodo en el cual el Porcentaje de Personas Disconformes (PPD) se mantiene alrededor del 5 %, y el Valor Medio Predicho (PMV) oscila entre 0 y 0,5, conforme a lo establecido por la normativa ASHRAE 55 correspondiente. Sin embargo, hacia las 7:00 a.m. se observa una variación en estos indicadores: el PPD aumenta hasta un 20 % y el PMV se eleva a 0,8, reflejando una ligera tendencia hacia el disconfort térmico.

A pesar de estas variaciones, se considera que el Ágora mantiene condiciones aceptables de confort térmico, dado que los cambios registrados no representan desviaciones significativas respecto a los límites normativos. Posteriormente, una vez finaliza el periodo de máxima radiación solar y calentamiento, el PMV retorna a valores cercanos a 0 y el PPD se estabiliza nuevamente alrededor del 5 %, cumpliendo así con los criterios de confort térmico.

- Fase 5:
- Sub - fases:

- Conclusiones
- Comparación entre estado inicial y estado mejorado:

Figura 125. Cuadro comparativo estado inicial y propuesta final:

Parámetro	Línea base	Propuesta	Mejora
Temperatura máxima interior (día cálido)	35 °C	26.5 °C	↓ 8.5 °C
Diferencia interior-exterior (día cálido)	+5-7 °C	-3 °C	Inversión térmica positiva
PMV máximo	+3.65	+1.38	↓ 2.27
PD máximo	90 %	47 %	↓ 43 %
Diferencia térmica día frío	2 °C	1-2 °C	Estabilidad similar, mayor equilibrio
Principales focos térmicos	Cubierta (hasta +11 kW)	Ventanas (hasta +13 kW)	Mejora en cubierta y muros
Ventilación nocturna	Nula	Activa (-2 a -3 kW)	Mejora disipada

Nota: Elaboración propia

La propuesta arquitectónica y constructiva del Ágora El Rocío logra reducir sustancialmente el sobrecalentamiento interior, mejorar el confort térmico de los ocupantes y optimizar la respuesta pasiva del edificio frente al clima cálido-húmedo de Bucaramanga. Las estrategias aplicadas —aislamiento en cubierta, mejor reflectancia de materiales, y aprovechamiento de la ventilación natural— disminuyen en más de 8 °C la temperatura interior máxima y reducen a la mitad el nivel de desconfort térmico.

- *Validación del cumplimiento de objetivos del proyecto:*
- *Conclusiones del estado actual del edificio y de la propuesta final:*

- En la simulación de la línea base, las temperaturas interiores alcanzan valores máximos de hasta 35 °C durante el día más cálido, registrando una diferencia promedio entre 5 °C y 7 °C por encima de la temperatura exterior.
- Por su parte, en la simulación de la propuesta, la temperatura interior máxima se mantiene en aproximadamente 26,5 °C, siendo alrededor de 3 °C más baja que la del ambiente exterior.
- Mejora cuantitativa: Se evidencia una reducción aproximada de 8,5 °C en la temperatura máxima interior, acompañada de una inversión térmica positiva, pasando de un comportamiento más cálido a uno más fresco que el entorno.
- Interpretación: Estos resultados demuestran que la propuesta mejora significativamente el desempeño térmico del edificio, al disminuir de forma efectiva el sobrecalentamiento interno y favorecer condiciones de confort térmico más estables.
- En la simulación de la línea base, durante las horas de la madrugada las temperaturas interiores oscilan entre 21 °C y 22 °C, mientras que las exteriores se sitúan entre 19 °C y 20 °C, manteniendo una diferencia térmica promedio de aproximadamente 2 °C.
- En la simulación de la propuesta, dicha diferencia se conserva dentro del rango de 1 °C a 2 °C, aunque con una mayor estabilidad térmica y sin indicios de sobrecalentamiento durante el día.
- Conclusión: Bajo condiciones de temperatura más bajas, ambos modelos mantienen un nivel adecuado de confort térmico; sin embargo, la propuesta presenta un comportamiento más controlado en la disipación del calor y una menor acumulación térmica nocturna, lo que contribuye a un desempeño térmico más equilibrado.

- En la simulación de la línea base, la cubierta se identificó como el principal punto de ganancia térmica, alcanzando picos de entre +10 kW y +11 kW, mientras que durante la noche presentó pérdidas de hasta -8 kW. Estos resultados evidencian una alta transmitancia térmica y una baja reflectancia en los materiales de la cubierta.
- En la simulación de la propuesta, la ganancia térmica a través de las ventanas se convierte en el factor predominante, con valores máximos cercanos a 13 kW, mientras que la cubierta y los muros registran flujos térmicos más moderados y estables.
- Cambio relevante: El flujo térmico máximo se trasladó de la cubierta hacia las superficies acristaladas, lo que demuestra que las mejoras en aislamiento y reflectancia aplicadas a techos y muros fueron efectivas en la reducción de las ganancias térmicas por conducción.

En la simulación de la línea base, los materiales de la envolvente evidenciaron una acumulación excesiva de calor, lo que ocasionó que el interior del edificio se mantuviera más cálido incluso durante las horas nocturnas.

En la simulación de la propuesta, los materiales presentan una retención térmica más controlada, con temperaturas interiores nocturnas estables entre 24 °C y 24,5 °C, y una disipación progresiva del calor sin picos térmicos abruptos.

Se observa una optimización de la inercia térmica del sistema constructivo, la cual contribuye a reducir la sobresaturación de calor y a estabilizar el microclima interior, favoreciendo así un comportamiento térmico más eficiente y confortable.

- *Conclusiones del estado actual del edificio y de la propuesta final en cuanto al marco legal:* en la simulación de la línea base, el índice PMV (Predicted Mean Vote) alcanzó valores de hasta +3,65, lo que indica un estrés térmico severo por calor. De manera

correlativa, el PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) llegó a un máximo del 90 %, registrándose apenas un 6 % de confort térmico hacia las últimas horas de la tarde.

En la simulación de la propuesta, el PMV máximo se redujo a +1,38, mientras que el PPD alcanzó un valor máximo del 47 % durante el momento más cálido del día. Durante la madrugada y la noche, el PMV se mantuvo en un rango entre 0 y -0,75, con PPD entre 5 % y 9 %, valores que cumplen con los criterios de confort establecidos por la norma ASHRAE 55.

Mejora cuantitativa: Se evidencia una reducción del PMV máximo en aproximadamente 2,3 unidades y una disminución del PPD máximo en un 43 %, lo que representa una mejora sustancial en las condiciones de confort térmico.

En la simulación de la línea base, el índice PMV (Predicted Mean Vote) alcanzó valores de hasta +3,65, lo que indica un estrés térmico severo por calor. De manera correlativa, el PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) llegó a un máximo del 90 %, registrándose apenas un 6 % de confort térmico hacia las últimas horas de la tarde.

En la simulación de la propuesta, el PMV máximo se redujo a +1,38, mientras que el PPD alcanzó un valor máximo del 47 % durante el momento más cálido del día. Durante la madrugada y la noche, el PMV se mantuvo en un rango entre 0 y -0,75, con PPD entre 5 % y 9 %, valores que cumplen con los criterios de confort establecidos por la norma ASHRAE 55.

Mejora cuantitativa: Se evidencia una reducción del PMV máximo en aproximadamente 2,3 unidades y una disminución del PPD máximo en un 43 %, lo que representa una mejora sustancial en las condiciones de confort térmico.

- Elaboración de planos finales del proyecto: el desarrollo de esta subfase se encuentra incluido en los anexos del proyecto, donde se presentan los planos arquitectónicos definitivos —plantas, cortes, fachadas y detalles constructivos— con la integración de las estrategias bioclimáticas aplicadas y la representación técnica final del diseño.
- Construcción de maqueta del proyecto: la respuesta a esta subfase se encuentra igualmente en los anexos, donde se incorpora la maqueta física del proyecto, la cual materializa las decisiones bioclimáticas adoptadas en cuanto a orientación, volúmenes, sombreados y ventilación, permitiendo una comprensión global del resultado final del diseño.
- Redacción de conclusiones generales del proyecto: el desarrollo correspondiente a esta subfase se encuentra al final del presente documento, donde se incluyen las conclusiones generales del proyecto. En dicho apartado se presentan los aprendizajes, aciertos, desafíos, impactos de las estrategias bioclimáticas aplicadas y las recomendaciones para futuros desarrollos, consolidando el cierre reflexivo y crítico del proceso.

12. Conclusiones

El desarrollo del proyecto de grado permitió alcanzar satisfactoriamente los objetivos propuestos, confirmando la viabilidad de aplicar estrategias bioclimáticas pasivas en edificaciones públicas del municipio de Bucaramanga. A lo largo del proceso, se cumplió con cada una de las etapas metodológicas planteadas, consolidando una metodología adaptada al contexto local y validando su efectividad a través de resultados cuantificables.

En primer lugar, se conceptualizaron y estudiaron estrategias bioclimáticas pasivas mediante la revisión de fuentes teóricas, tesis, artículos y metodologías latinoamericanas. Este proceso permitió comprender los principios bioclimáticos fundamentales y construir una base teórica sólida que sirvió como guía para la toma de decisiones proyectuales relacionadas con el confort térmico y la eficiencia energética.

Posteriormente, se analizaron las condiciones físicas y climáticas del entorno del Ágora del barrio El Rocío, considerando factores como radiación solar, temperatura, humedad, orientación y topografía. Este análisis permitió comprender el comportamiento ambiental del sitio y las necesidades del usuario, estableciendo una base de diseño coherente con el contexto local y las expectativas funcionales del proyecto.

A partir de ello, se procedió al modelado y simulación del edificio existente en Design Builder, evaluando su comportamiento térmico actual y diagnosticando las problemáticas principales en términos de confort térmico y desempeño ambiental. Los resultados de esta fase proporcionaron los parámetros iniciales que sirvieron de punto de comparación para las propuestas de intervención.

Con base en este diagnóstico, se formularon y aplicaron estrategias bioclimáticas pasivas adaptadas a las condiciones del entorno, las cuales fueron simuladas y ajustadas para optimizar el confort térmico. Estas intervenciones incluyeron mejoras en la envolvente, control solar y selección de materiales, consolidando una solución arquitectónica integral y contextualizada.

Los resultados finales de la simulación demostraron una optimización significativa del confort térmico interior, reduciendo casi a la mitad el nivel de insatisfacción térmica y manteniendo las condiciones del edificio dentro de los límites normativos de habitabilidad y bienestar térmico. Este resultado valida la efectividad de las estrategias aplicadas y confirma la pertinencia del enfoque metodológico implementado.

Finalmente, se evaluaron y sintetizaron las diferentes alternativas de intervención, evidenciando cuantitativamente las mejoras alcanzadas y reflexionando sobre los logros y aprendizajes del proceso. Este cierre metodológico permitió consolidar una herramienta técnica y proyectual aplicable a otros espacios comunitarios del municipio.

En términos generales, el proyecto demostró la viabilidad de adaptar metodologías bioclimáticas extranjeras al contexto local de Bucaramanga, integrando el análisis climático, las condiciones del sitio y las necesidades de los usuarios en un proceso de diseño replicable. El Ágora del barrio El Rocío sirvió como caso de estudio para validar la metodología propuesta, permitiendo articular los aspectos urbanos, formales, técnicos y materiales con una perspectiva ambiental consciente.

De esta manera, la metodología desarrollada ofrece una herramienta práctica, técnica y cuantificable que permite mejorar el confort térmico en edificaciones existentes y orientar el diseño de futuras infraestructuras públicas más sostenibles.

En conclusión, este proyecto reafirma la importancia de una arquitectura sensible al clima y al contexto, capaz de promover el bienestar de los usuarios, optimizar el desempeño energético y contribuir a la sostenibilidad urbana. La metodología bioclimática creada representa un aporte significativo al campo del diseño ambiental en Latinoamérica, consolidando una visión proyectual que combina conocimiento técnico, responsabilidad ambiental y pertinencia social.

13. Referencias

Acosta, L. (2010). *Confort térmico en viviendas altoandinas: Un enfoque integral*. Perú: Congreso de la República del Perú.

Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, p. 295–310.

Alcaldía de Bucaramanga. (2014). *Plan de Ordenamiento Territorial 2014-2027: Documento técnico de soporte*. Bucaramanga, Santander: Alcaldía de Bucaramanga.

Alcaldía de Bucaramanga. (2015). *Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Bucaramanga*. Bucaramanga: Alcaldía de Bucaramanga.

Alcaldía de Bucaramanga. (2019). *Informe de gestión 2016-2019: Del salón comunal al Ágora*. Bucaramanga, Colombia.: Alcaldía de Bucaramanga.

Alcaldía de Bucaramanga. (2022). *Caracterización urbana y selección de casos de estudio: Ágora El Rocío*. Bucaramanga, Santander: Alcaldía de Bucaramanga.

Alcaldía de Bucaramanga, Secretaría de Planeación y Obras Públicas. (2022). *Informe técnico de caracterización y distribución espacial del Ágora El Rocío*. Bucaramanga, Santander: Alcaldía de Bucaramanga.

Al-Homoud, M. (11 de Junio de 2005). *Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials*. Obtenido de Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.06.026>

Álvarez, S., & Martín, F. (2017). Metodología para evaluar la eficiencia energética de las estrategias bioclimáticas en las viviendas vernáculas del Valle del Jerte (Cáceres). *Informes de la Construcción*, p. 69(547).

Álvarez, S., & Martín, F. (2017). Metodología para evaluar la eficiencia energética de las estrategias bioclimáticas en las viviendas vernáculas del Valle del Jerte (Cáceres). *Informes de la Construcción*, p. 69(547).

- Amaral, A., Rodrigues, E., & Gaspar, Á. (2015). A parametric study on window-to-floor ratio of double window glazing and its shadowing using dynamic simulation. arXiv. *Heat gain and loss in buildings*, P. 12-45.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2021). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2021: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. S,d: ASHRAE.
- ASHRAE. (2020). *ASHRAE Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. S,d: American Society of Heating.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2012). *Guía para la elaboración de líneas base en proyectos de desarrollo*. Bogotá,DC: BID.
- Bribián, I., & Capilla, A. (2010). Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. *Building and Environment*, p. 2-45.
- Calabrese, E. (2015). *Parametric design for environmental performance*. S,d: Routledge.
- Ccama, M., & Quispe, R. (2022). *Evaluación del confort térmico en una escuela tipo Sierra en el departamento del Cusco: Propuesta de mejoras bioclimáticas para ambientes sostenibles*. Perú: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Çengel, Y., & Ghajar, A. (2011). *Transferencia de calor y masa*. España: McGraw-Hill.
- Ching, F. (2015). *Introducción a la arquitectura*. S,d: Gustavo Gili.
- Chumbiray, I. (2021). *Análisis del confort térmico en escuela modelo de la sierra peruana y evaluación de mejoramiento térmico mediante el uso de principios bioclimáticos*. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL. (12 de Junio de 2016).

Monitoreando la eficiencia energética en América Latina. Obtenido de Monitoreando la eficiencia energética en América Latina: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40505-monitoreando-la-eficiencia-energetica-america-latina>

Comité Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC. (2017). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)*. Bogotá,DC: ICONTEC.

Crawley, D., Hand, J., & Kummert, M. (2008). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*, p. 661–673.

Crawley, D., Lawrie, L., & Winkelmann, F. (2001). EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and Buildings*, p. 319–331.

Creswell, J., & Creswell, J. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. S,d: Sage Publications.

Delgado, M., Palma , N., & Suárez , D. (2022). *Análisis del confort humano (confort térmico, lumínico y acústico) en viviendas de interés social: Caso de estudio: Virgen de Guadalupe, Picoazá*. Ecuador: Repositorio Institucional San Gregorio.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE. (2019). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2018: Resultados y proyecciones poblacionales*. Bogotá, DC: DANE.

Department of Energy. (2022). *EnergyPlus Engineering Reference: The Reference to EnergyPlus Calculations*. S,d: U.S. Department of Energy.

DesignBuilder Software Ltd. (2021). *DesignBuilder v6.1 user manual: Modelling, simulation and analysis of building energy performance*. S,d: DesignBuilder Software Ltd.

- Elsharkawy, H., Zahiri, S., & Ozarisoy, B. (2018). Improving the building performance and thermal comfort of an office building to reduce overheating risk. *In Proceedings of the BSO 2018: 4th Building Simulation and Optimization Conferenc* (págs. UK (pp. 438-444).). Inglaterra: Conference, Cambridge,.
- Emmanuel, R. (2005). *An urban approach to climate-sensitive design: Strategies for the tropics*. London: Taylor & Francis.
- European Commission, Joint Research Centre. (2021). *Photovoltaic Geographical Information System*. S,d: PVGIS.
- Fanger, P. (1970). *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. S,d: McGraw-Hill.
- Fuentes, V. (2002). *Metodología de diseño bioclimático: el análisis climático*. México, DC: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Gálvez, J., & Solari, G. (2016). Arquitectura bioclimática en viviendas sociales: Lecciones del programa Pro.Cre.Ar en Argentina. *Revista Iberoamericana de Arquitectura y Urbanismo*, p. 45-60.
- Gamboa, B. (5 de Agosto de 2025). *Arquitectura sostenible: técnicas para un entorno más verde*. Obtenido de *Arquitectura sostenible: técnicas para un entorno más verde*: <https://ideatsg.com/arquitectura/arquitectura-sostenible-tecnicas-entorno-verde/>
- Garzón, B. (2004). *Arquitectura bioclimática*. S,d: Nobuko.
- Givoni, B. (1976). *Man, climate and architecture*. New York: Applied Science Publishers.
- González, A., & Fernández, M. (2015). *Arquitectura bioclimática: Diseño sostenible en función del clima*. S,d: Editorial Reverté.

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2020). *Datos climáticos históricos y generación de años tipo*. Bogotá, DC: IDEAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2022). *Datos climáticos promedio de Colombia: Precipitaciones y patrones estacionales*. Bogotá,DC: IDEAM.
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. (2025). *Riesgos ergonómicos: Iluminación*. S,d: INSST.
- International Organization for Standardization. (2005). *ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfor*. S,d: ISO.
- Köppen, W. (1936). Das geographische System der Klimate. *Handbuch der Klimatologie*, p. 1–44.
- López, D., & Varela, L. (2017). Diseño bioclimático en viviendas para climas áridos de la Patagonia: Estrategias pasivas para confort térmico. *Revista de Arquitectura y Urbanismo*, p. 45–58.
- Manzano, F., Montoya, F., & Sabio, A. (2015). Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 736–755.
- Martín, F. (2019). Los diagramas bioclimáticos. *Revista Hábitat Sustentable*. *Scielo*, p. 10-20.
- McMichael, C., & Schneider, H. (2015). Urban Microclimates and Their Relationship with Social Isolation:. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, p 1201-1222.
- Ministerio de Salud Pública de Salta. (30 de Julio de 2025). *El ruido a largo plazo provoca trastornos auditivos y otros efectos en la salud*. Obtenido de El ruido a largo plazo provoca trastornos auditivos y otros efectos en la salud: <https://www.salta.gob.ar/prensa/noticias/el-ruido-a-largo-plazo-provoca-trastornos-auditivos-y-otros-efectos-en-la-salud-101358>

- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2015). *Resolución 549 de 2015*. Bogotá,DC: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia.
- Nguyen, A., & Reiter, S. (2015). *Bioclimatism in architecture: an evolutionary perspective*. S,d: University of Liege.
- Olgay, V. (1963). *Design with climate: Bioclimatic approach to architectural regionalism*. New York: Princeton University Press.
- Organización Mundial de la Salud OMS. (2018). *El impacto del estrés térmico en la salud: Orientaciones para la protección de la salud humana frente al calor extremo*. Ginebra: OMS.
- Ortega, M., Fernández, A., & Garzón, B. (2021). Comportamiento térmico de una vivienda PRO.CRE.AR. de tierra en Tucumán. *Arquitecto*,, p. 43–52.
- Peel, M., & Finlayson, B. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, p. 1633-1644.
- Qu, K, K., Chen, X., & Wang, Y. (4 de Agosto de 2021). *Comprehensive energy, economic and thermal comfort assessments for the passive energy retrofit of historical buildings – A case study of a late nineteenth-century Victorian house renovation in the UK*. Obtenido de Comprehensive energy, economic and thermal comfort assessments for the passive energy retrofit of historical buildings – A case study of a late nineteenth-century Victorian house renovation in the UK: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110367>
- Romero, J. (2018). *Análisis energético de un edificio de oficinas con muro cortina mediante DesignBuilder*. Madrid: Análisis energético de un edificio de oficinas con muro cortina mediante DesignBuilder.

- Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. Ginebra: McGraw-Hill Education.
- Santos, M., & Oliveira, L. (2020). Urban heat islands and thermal comfort in Amazonian cities: Sustainable design strategies for public spaces. *Sustainability*, 12(14), 5678.
- Secretaría de Medio Ambiente. (2018). *Informe de biodiversidad urbana y fauna en el municipio de Bucaramanga*. Bucaramanga: Alcaldía de Bucaramanga.
- Segovia, O. (2025). *Propuesta de diseño de un modelo de vivienda unifamiliar bioclimática en adobe para la comunidad de Pampachiri, Apurímac*. Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Szokolay, S. (1986). *Introduction to architectural science: The basis of sustainable design*. Elsevier. S,d: S,d.
- Vásquez, G. (2017). *Análisis climatológico del sector Virgen de Guadalupe, Portoviejo, utilizando el software Meteonorm 8*. Ecuador: Universidad San Gregorio de Portoviejo.
- Wargocki, P., & Wyon, D. (2013). Providing better thermal and air quality conditions in school classrooms would improve the performance of children. *Building and Environment*, p. 581–589.
- Yin, R. (2018). *Case study research and applications: Design and methods*. S,d: Sage Publications.