ADAPTACIÓN DE LA ARQUITECTURA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

PROYECCIÓN DE DATOS Y SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE DOS ESCENARIOS

ESTUDIANTES

Daniel Buitrago Carazo	A71181
Andrés Chacón Redondo	A71748
Luis Miguel Chaves Chaves	A81755
Ana Cristina Lezama Solano	A73552
Rebeca Pérez Castañeda	A03171
Luis Quirós Núñez	A94985

Seminario de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Arquitectura

Universidad de Costa Rica | Facultad de Ingeniería | Escuela de Arquitectura

DIC 2018

ADAPTACIÓN DE LA ARQUITECTURA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

PROYECCIÓN DE DATOS Y SIMULACIÓN ENERGÉTICA DE DOS ESCENARIOS

ESTUDIANTES

Daniel Buitrago Carazo	A71181
Andrés Chacón Redondo	A71748
Luis Miguel Chaves Chaves	A81755
Ana Cristina Lezama Solano	A73552
Rebeca Pérez Castañeda	A03171
Luis Quirós Núñez	A94985

Seminario de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Arquitectura

Universidad de Costa Rica | Facultad de Ingeniería | Escuela de Arquitectura

2018

COMITÉ EVALUADOR

EUGENIA SOLÍS UMAÑA — DIRECTORA

Licenciada en Arquitectura, Universidad de Costa Rica. Magister en Arquitectura Tropical, Universidad de Costa Rica. Pasante en la Escuela Técnica Superior de Edificación, Universidad Politécnica de Madrid. Docente y coordinadora del taller de grado Arquitectura Tropical, coordinadora de Maestría en Arquitectura Tropical, y directora del Laboratorio de Arquitectura Tropical, Universidad de Costa Rica. Miembro de la Comisión Institucional de Carbono Neutralidad.

ANDREA SANCHO SALAS — COLABORADORA

Licenciada en Arquitectura, Universidad de Costa Rica. Proyecto final de graduación *RE+ADAPTAR: Uso de simulación digital para reacondicionar bioclimáticamente edificios existentes*. Egresada de la Maestría en Arquitectura Tropical, Universidad de Costa Rica. Estudios de Posgrado en Iluminación, Universidad Véritas. Pasante académica en la Maestría de Innovación Tecnológica en Edificación, Universidad Politécnica de Madrid. Investigadora y coordinadora del Laboratorio de Arquitectura Tropical, docente del taller de grado Arquitectura Tropical, y docente del curso Diseño Climatológico, Universidad de Costa Rica.

LUIS VARGAS MONTOYA — COLABORADOR

Licenciado en Economía y Administración de Empresas, Universidad de Costa Rica. Candidato a doctor en Economía, Universidad de Zaragoza, España. Coordinador del Departamento de Análisis Económico y Mercados de Telecomunicaciones, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones (MICITT). Investigador del Instituto de Investigaciones en Ciencias Económicas, Universidad de Costa Rica. Investigador del Centro Internacional de Política Económica para el Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional.

LECTORES INVITADOS

HUGO HIDALGO LEÓN — LECTOR

Licenciado en Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. Doctor en Ingeniería Civil y Ambiental (Recursos Hídricos), Universidad de California, EEUU. Docente asociado de la Escuela de Física, director de la Maestría Académica en Hidrología, y miembro de la Comisión de Posgrado en Ciencias de la Atmósfera, Universidad de Costa Rica. Director del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI). Investigador en proyectos de variabilidad y Cambio Climático, y sus impactos en la hidrología regional centroamericana, CIGEFI. Ganador del premio nacional Clodomiro Picado Twight 2018, por sus aportes en investigación sobre variabilidad y Cambio Climático.

SEBASTIÁN OROZCO MUÑOZ — LECTOR

Licenciado en Arquitectura y Urbanismo, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Master en Medio Ambiente y Arquitectura Bioclimática, Universidad Politécnica de Madrid. Parte del equipo de organización en la competencia internacional Solar Decathlon Europe 2010, sobre el desarrollo de nuevas tecnologías constructivas para la arquitectura de cero consumo y balance energético positivo. Docente e investigador en la escuela de Arquitectura y Urbanismo, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Docente en la Maestría de Arquitectura Tropical, Universidad de Costa Rica. Director de la firma de consultoría en diseño bioclimático y construcción sostenible Entorno & Clima.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos agradecer a todas aquellas personas que, de diferentes maneras, nos brindaron su apoyo a lo largo de la carrera y en el desarrollo de este trabajo de investigación. Especial gratitud a nuestros familiares, profesores, compañeros y amigos, personas que a través del tiempo nos ayudaron e impulsaron para concluir este objetivo.

Agradecemos de manera particular a la Magister en Arquitectura Eugenia Solís Umaña, directora de la investigación, por su continua ayuda y apoyo, y por habernos hecho partícipes de este proyecto. A los lectores, Licenciada en Arquitectura Andrea Sancho Salas y al Licenciado en Economía Luis Vargas Montoya por su guía, consejo, tiempo y paciencia.

De igual forma hacemos extensivo el agradecimiento al lector invitado Máster Arquitecto Sebastián Orozco Muñoz quien también nos brindó valiosos aportes y recomendaciones. Así como al Doctor Hugo Hidalgo León, director del CIGEFI, lector invitado, de quien aprendimos mucho sobre cambio climático, y por facilitarnos los datos proyectados para la elaboración de archivos climáticos. Asimismo, nuestra gratitud al personal del Instituto Meteorológico Nacional por facilitarnos los datos climáticos históricos de varias estaciones del país, y a las instituciones involucradas, por permitirnos el acceso a sus instalaciones y la colaboración con la información necesaria para el desarrollo de la investigación.

Finalmente, queremos agradecer de forma sincera a todas las personas que nos dieron ánimo y creyeron en cada uno de nosotros y en este proyecto. Sin sus palabras, consejos y buenos deseos hubiese sido imposible llegar a la meta.

RESUMEN EJECUTIVO

El cambio climático es un fenómeno real, con evidencias comprobables y representa el desafío más grande al que nos enfrentamos a escala global. Ante esta problemática, la arquitectura debe de adaptarse en procura de asegurar la sensación de confort higrotérmico dentro de la envolvente de los edificios, en el contexto de un planeta cada vez más cálido. Si el clima cambia, la arquitectura debe hacerlo también.

La presente investigación tiene como objetivo lograr el confort higrotérmico de los usuarios ante el cambio climático en Costa Rica, adaptando edificaciones seleccionadas en dos escenarios, por medio de la proyección de datos y uso de software de simulación. Tiene como antecedente la investigación de Sancho A. (2013), y está basada en la metodología de diseño basado en el desempeño.

El cambio climático afectará todo el territorio nacional. Sin embargo, para definir la zona de estudio con mayor vulnerabilidad, se realiza un análisis a partir de tres ámbitos de información: ecológico, demográfico y económico regional. Posteriormente, se realiza un levantamiento de posibles edificios a intervenir, y se discriminan a partir de criterios como ubicación, carácter y proyección de vida útil, entre otros.

Se desarrolla un análisis bioclimático por escalas: a escala macro, se analizan datos climáticos anuales y geográficos para cada región, con el fin de determinar los rangos de confort para cada caso. A escala meso, se elabora un análisis del edificio y su entorno inmediato y se genera un archivo climático con datos horarios del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), para realizar una primera simulación. En la escala micro, se realiza una comparación de la temperatura interior con la exterior, para evaluar el desempeño de la envolvente por medio de mediciones prolongadas.

Se realiza la selección de dos casos a simular, mediante un análisis comparativo entre el comportamiento actual y el escenario del 2080. Seguidamente, se genera el archivo climático con datos horarios para el año 2080, a partir de datos observados del IMN y datos proyectados del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) de la Universidad de Costa Rica, facilitados por el Dr. Hugo Hidalgo. De cada edificio escogido, se realiza un modelo 3D en el software de simulación DesignBuilder®, se calibran y se definen las zonas térmicas.

Se desarrollan dos propuestas de adaptación para cada edificio, una moderada y un rediseño total, y se evalúa su comportamiento en el software de simulación. Posteriormente se definen las variables que modifican el comportamiento térmico en cada caso, y se proponen recomendaciones expresadas a través de pautas y estrategias de diseño a implementar con sus resultados.

Se busca abordar el tema del cambio climático desde un enfoque interdisciplinar, donde la arquitectura cruce los límites tradicionales y se apoye en otras disciplinas académicas. Para adaptar edificios y analizar su comportamiento futuro, el arquitecto debe incursionar en la previsión de escenarios de cambio climático y, mediante el uso de datos observados y proyectados, simular el comportamiento de las edificaciones a partir de información científica real y confiable.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1. Definición de la investigación	1
1.1 Introducción	3
1.2 Justificación	5
1.3 Objetivos	9
1.4 Marco teórico	11
1.4.1 Cambio climático	11
1.4.2 Clima de Costa Rica	15
1.4.3 Zonas de Vida en Costa Rica	17
1.4.4 Confort higrotérmico	19
1.4.5 Herramientas para evaluar el confort	21
1.4.6 Arquitectura bioclimática	23
1.4.7 Estrategias generales de arquitectura bioclimática	24
1.4.8 Eficiencia energética	26
1.4.9 Software de simulación	27
1.5 Marco metodológico	31
1.6 Delimitación de la zona de estudio	37
1.7 Selección de los casos de estudio	47
CAPÍTULO 2. Análisis bioclimático por escalas	53
2.1 Análisis macro escala	55
2.1.1 Santa Ana	55
2.1.2 Ciudad Colón	59
2.1.3 Atenas	63
2.1.4 Orotina	67
2.1.5 Esparza	71
2.1.6 Puntarenas	75
2.2 Análisis meso escala	79
2.2.1 Escuela Municipal de Artes Integradas (EMAI), Santa Ana	79
2.2.2 Área de Salud Mora-Palmichal (ASMP), Ciudad Colón	87

2.2.3 Escuela Central de Atenas (ECA) 95
2.2.4 Palacio Municipal de Orotina (PMO) 103
2.2.5 Palacio Municipal de Esparza (PME) 111
2.2.6 Ministerio de Salud de Chacarita (MSC), Puntarenas 119
2.3 Análisis micro escala 127
2.3.1 Escuela Municipal de Artes Integradas (EMAI), Santa Ana 127
2.3.2 Área de Salud Mora-Palmichal (ASMP), Ciudad Colón 141
2.3.3 Escuela Central de Atenas (ECA) 155
2.3.4 Palacio Municipal de Orotina (PMO) 169
2.3.5 Palacio Municipal de Esparza (PME) 185
2.3.6 Ministerio de Salud de Chacarita (MSC), Puntarenas 201
2.4 Selección de los casos a simular 215

CAPÍTULO 3. Simulaciones y resultados 231
3.1 Generación del archivo climático 2080 233
3.1.1 Santa Ana 2080 236
3.1.2 Puntarenas 2080 238
3.2 Modelado y calibración 241
3.2.1 Escuela Municipal de Artes Integradas (EMAI), Santa Ana 241
3.2.2 Ministerio de Salud de Chacarita (MSC), Puntarenas 245
3.3 Propuesta de adaptación 2080 249
3.3.1 Escuela Municipal de Artes Integradas (EMAI), Santa Ana 249
3.3.2 Ministerio de Salud de Chacarita (MSC), Puntarenas 253
3.4 Propuesta de rediseño 2080 257
3.4.1 Escuela Municipal de Artes Integradas (EMAI), Santa Ana 257
3.4.2 Ministerio de Salud de Chacarita (MSC), Puntarenas 261
3.5 Conclusiones y recomendaciones 265

Bibliografía 267

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. Definición de la investigación

Figura 1. Principales países emisores de GEI para el 2012, según datos de CAIT Climate Data Explorer. Elaboración propia con base en gráfico de World Resources Institute. 12

Figura 2. Imagen satelital de la NASA, tomada de NASA/GSFC/LaRC/JPL, MISR Team. (2011). Recuperado de http://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details. php?id=-PIA15016. 13

Figura 3. Temperaturas observadas y proyectadas para el período entre 1979 y 2099, según el modelo cesm1_cam5(1), para las ciudades indicadas. Elaboración propia con base en datos de Hidalgo, H.G., Alfaro E.J. y Quesada-Montano, B. (2016). 14

Figura 4. Zonas de Vida de Holdridge. Elaboración propia con base en pirámide de Holdridge, L.R. (2000). 17

Figura 5. Mapa de Zonas de Vida para el 2010. Elaboración propia con base en mapas de Jiménez, M. (2009). 18

Figura 6. Factores de MET y CLO según actividad metabólica y arropamiento. Elaboración propia con base en norma ISO-7730 (2005). 21

Figura 7. Escala de sensación térmica de siete niveles. Elaboración propia con base en norma ISO-7730 (2005). 22

Figura 8. Orientación según trayectoria solar y vientos. Elaboración propia. 24

Figura 9. Configuración espacial de la envolvente inferior (arriba), del espacio habitable y la envolvente superior (abajo). Elaboración propia. 25

Figura 10. Jerarquía de estrategias para el diseño de edificaciones con energía neta cero. Elaboración propia con base en DeKay, M., Brown, G. (2014). 27

Figura 11. Software de simulación Ecotect (arriba). Tomado de Autodesk Sustainability Workshop (2012). Recuperado de http://www.youtube.com/watch?- v=pkcWGmznjQc 28

Figura 12. Software de simulación Design Builder (abajo). Tomado de House example 1, Design Builder (2015). 28

Figura 13. Mapa de Zonas de Vida proyectadas para el 2020, según escenario de emisiones A2. Elaboración propia con base en mapas de Jiménez, M. (2009). 38

Figura 14. Mapa de Zonas de Vida proyectadas para el 2020, según escenario de emisiones B2. Elaboración propia con base en mapas de Jiménez, M. (2009). 39
Figura 15. Mapa de Zonas de Vida proyectadas para el 2080, según escenario de emisiones A2. Elaboración propia con base en mapas de Jiménez, M. (2009). 40
Figura 16. Mapa de Zonas de Vida proyectadas para el 2080, según escenario de emisiones B2. Elaboración propia con base en mapas de Jiménez, M. (2009). 41
Figura 17. Mapa de delimitación del área de estudio. Elaboración propia con base en mapas de Jiménez, M. (2009), INEC (2011) y MOPT (2017). 42
Figura 18. Proyección de crecimiento poblacional en las localidades citadas. Elaboración propia con base en información de INEC (2011). 43
Figura 19. Síntesis del desplazamiento de las Zonas de Vida en los asentamientos seleccionados. Elaboración propia con base en datos de Jiménez, M. (2009). 44
Figura 20. Mapas de delimitación del área de estudio. Arriba, Zonas de Vida 2010 y 2080-A2. Elaboración propia con base en mapas de Jiménez, M. (2009), INEC (2011) y MOPT (2017). 45
Figura 21. Valoración de criterios de selección para los posibles casos de estudio. Elaboración propia. 48
Figura 22. Matriz de valoración de las posibles edificaciones a intervenir, según los criterios de selección definidos. Elaboración propia. 50

CAPÍTULO 2. Análisis bioclimático por escalas

Figura 23. Mapa de ubicación de Santa Ana en la zona de estudio. Elaboración propia. 55
Figura 24. Climograma de columnas, resumen climático de la estación 84195-Aeropuerto de Pavas (1996-2014). Elaboración propia con datos del IMN. 56
Figura 25. Geomorfología y vientos predominantes. Elaboración propia. 57
Figura 26. Climograma de bienestar adaptado (arriba). Elaboración propia con datos del IMN. 58
Figura 27. Gráfico de isopletas (abajo). Elaboración propia con datos del IMN. 58
Figura 28. Mapa de ubicación de Ciudad Colón en la zona de estudio. Elaboración propia. 59
Figura 29. Climograma de columnas, interpolación de resúmenes climáticos de 84199-Belén (2005-2014) y 84143-Orotina (1995-2005). Elaboración propia con datos del IMN. 60
Figura 30. Geomorfología y vientos predominantes. Elaboración propia. 61

Figura 31. Climograma de bienestar adaptado (arriba). Elaboración propia con datos del IMN. 62
Figura 32. Gráfico de isopletas (abajo). Elaboración propia con datos del IMN. 62
Figura 33. Mapa de ubicación de Atenas en la zona de estudio. Elaboración propia. 63
Figura 34. Climograma de columnas, interpolación de resúmenes climáticos de 84199-Belén (2005-2014) y 78027-Puntarenas (2001-2015). Elaboración propia con datos del IMN. 64
Figura 35. Geomorfología y vientos predominantes. Elaboración propia. 65
Figura 36. Climograma de bienestar adaptado (arriba). Elaboración propia con datos del IMN. 66
Figura 37. Gráfico de isopletas (abajo). Elaboración propia con datos del IMN. 66
Figura 38. Mapa de ubicación de Orotina en la zona de estudio. Elaboración propia. 67
Figura 39. Climograma de columnas, resumen climático de la estación 84143-Orotina (1995-2005). Elaboración propia con datos del Instituto Metereológico Nacional (IMN). 68
Figura 40. Geomorfología y vientos predominantes. Elaboración propia. 69
Figura 41. Climograma de bienestar adaptado (arriba). Elaboración propia con datos del IMN. 70
Figura 42. Gráfico de isopletas (abajo). Elaboración propia con datos del IMN. 70
Figura 43. Mapa de ubicación de Esparza en la zona de estudio. Elaboración propia. 71
Figura 44. Climograma de columnas, interpolación de resúmenes climáticos de 84199-Belén (2005-2014) y 78027-Puntarenas (2001-2015). Elaboración propia con datos del IMN. 72
Figura 45. Geomorfología y vientos predominantes. Elaboración propia. 73
Figura 46. Climograma de bienestar adaptado (arriba). Elaboración propia con datos del IMN. 74
Figura 47. Gráfico de isopletas (abajo). Elaboración propia con datos del IMN. 74
Figura 48. Mapa de ubicación de Puntarenas en la zona de estudio. Elaboración propia. 75
Figura 49. Climograma de columnas, resumen climático de la estación 78027-Puntarenas (2001-2015). Elaboración propia con datos del Instituto Metereológico Nacional (IMN). 76
Figura 50. Geomorfología y vientos predominantes. Elaboración propia. 77
Figura 51. Climograma de bienestar adaptado (arriba). Elaboración propia con datos del IMN. 78

Figura 52. Gráfico de isopletas (abajo). Elaboración propia con datos del IMN. 78
Figura 53. Escuela Municipal de Artes Integradas (EMAI), Santa Ana. Fotografías tomadas por autores. 79
Figura 54. Fotografía satelital del entorno inmediato. Imagen tomada de Google maps. 80
Figura 55. Tabla de áreas y porcentajes de cobertura del lote. Elaboración propia. 81
Figura 56. Despliegue de la envolvente. Elaboración propia. 82
Figura 57. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de marzo y solsticio de junio. Elaboración propia. 83
Figura 58. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de setiembre y solsticio de diciembre. Elaboración propia. 84
Figura 59. Incidencia anual de radiación por componente. Elaboración propia. 85
Figura 60. Simulación de vientos locales predominantes. Elaboración propia. 86
Figura 61. Área de Salud Mora-Palmichal (ASMP), Ciudad Colón. Fotografías tomadas por autores. 87
Figura 62. Fotografía satelital del entorno inmediato. Imagen tomada de Google maps. 88
Figura 63. Tabla de áreas y porcentajes de cobertura del lote. Elaboración propia. 89
Figura 64. Despliegue de la envolvente. Elaboración propia. 90
Figura 65. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de marzo y solsticio de junio. Elaboración propia. 91
Figura 66. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de setiembre y solsticio de diciembre. Elaboración propia. 92
Figura 67. Incidencia anual de radiación por componente. Elaboración propia. 93
Figura 68. Simulación de vientos locales predominantes. Elaboración propia. 94
Figura 69. Escuela Central de Atenas (ECA). Fotografías tomadas por autores. 95
Figura 70. Fotografía satelital del entorno inmediato. Imagen tomada de Google maps. 96
Figura 71. Tabla de áreas y porcentajes de cobertura del lote. Elaboración propia. 97
Figura 72. Despliegue de la envolvente. Elaboración propia. 98
Figura 73. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de marzo y solsticio de junio. Elaboración propia. 99
Figura 74. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de setiembre y solsticio de diciembre. Elaboración propia. 100
Figura 75. Incidencia anual de radiación por componente. Elaboración propia. 101
Figura 76. Simulación de vientos locales predominantes. Elaboración propia. 102

Figura 77. Palacio Municipal de Orotina (PMO). Fotografías tomadas por autores. 103
Figura 78. Fotografía satelital del entorno inmediato. Imagen tomada de Google maps. 104
Figura 79. Tabla de áreas y porcentajes de cobertura del lote. Elaboración propia. 105
Figura 80. Despliegue de la envolvente. Elaboración propia. 106
Figura 81. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de marzo y solsticio de junio. Elaboración propia. 107
Figura 82. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de setiembre y solsticio de diciembre. Elaboración propia. 108
Figura 83. Incidencia anual de radiación por componente. Elaboración propia. 109
Figura 84. Simulación de vientos locales predominantes. Elaboración propia. 110
Figura 85. Palacio Municipal de Esparza (PME). Fotografías tomadas por autores. 111
Figura 86. Fotografía satelital del entorno inmediato. Imagen tomada de Google maps. 112
Figura 87. Tabla de áreas y porcentajes de cobertura del lote. Elaboración propia. 113
Figura 88. Despliegue de la envolvente. Elaboración propia. 114
Figura 89. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de marzo y solsticio de junio. Elaboración propia. 115
Figura 90. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de setiembre y solsticio de diciembre. Elaboración propia. 116
Figura 91. Incidencia anual de radiación por componente. Elaboración propia. 117
Figura 92. Simulación de vientos locales predominantes. Elaboración propia. 118
Figura 93. Ministerio de Salud de Chacarita (MSC), Puntarenas. Fotografías tomadas por autores. 119
Figura 94. Fotografía satelital del entorno inmediato. Imagen tomada de Google maps. 120
Figura 95. Tabla de áreas y porcentajes de cobertura del lote. Elaboración propia. 121
Figura 96. Despliegue de la envolvente. Elaboración propia. 122
Figura 97. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de marzo y solsticio de junio. Elaboración propia. 123
Figura 98. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de setiembre y solsticio de diciembre. Elaboración propia. 124
Figura 99. Incidencia anual de radiación por componente. Elaboración propia. 125
Figura 100. Simulación de vientos locales predominantes. Elaboración propia. 126
Figura 101. Zonas de bienestar determinadas por el CBA, para los espacios con actividad sedentaria. Elaboración propia. 128

Figura 102. Zonas de bienestar determinadas por el CBA, para los espacios con actividad de intensidad moderada. Elaboración propia. 128
Figura 103. Día tipo interior-exterior, biomonitoreo prolongado EMAI. Elaboración propia. 129
Figura 104. Mediciones manuales por espacio, EMAI. Elaboración propia. 131
Figura 105. Plantas de ubicación de los espacios monitoreados, EMAI. Elaboración propia. 132
Figura 106. Día tipo EX-N3, biomonitoreo prolongado EMAI. Elaboración propia. 133
Figura 107. Día tipo AD-N1, biomonitoreo prolongado EMAI. Elaboración propia. 134
Figura 108. Día tipo SI-N1, biomonitoreo prolongado EMAI. Elaboración propia. 135
Figura 109. Día tipo TB-N2, biomonitoreo prolongado EMAI. Elaboración propia. 136
Figura 110. Día tipo TA-N2, biomonitoreo prolongado EMAI. Elaboración propia. 137
Figura 111. Día tipo AU-N3, biomonitoreo prolongado EMAI. Elaboración propia. 139
Figura 112. Día tipo SR-N3, biomonitoreo prolongado EMAI. Elaboración propia. 140
Figura 113. Zonas de bienestar determinadas por el CBA (refiérase al capítulo 2, sección 2.1.2 Ciudad Colón). Elaboración propia. 142
Figura 114. Día tipo interior-exterior, biomonitoreo prolongado ASMP. Elaboración propia. 143
Figura 115. Mediciones manuales por espacio, ASMP. Elaboración propia. 145
Figura 116. Plantas de ubicación de los espacios monitoreados, ASMP. Elaboración propia. 146
Figura 117. Día tipo EX-N1, biomonitoreo prolongado ASMP. Elaboración propia. 147
Figura 118. Día tipo SE-N1, biomonitoreo prolongado ASMP. Elaboración propia. 148
Figura 119. Día tipo VE-N1, biomonitoreo prolongado ASMP. Elaboración propia. 149
Figura 120. Día tipo TS-N2, biomonitoreo prolongado ASMP. Elaboración propia. 151
Figura 121. Día tipo PE-N2, biomonitoreo prolongado ASMP. Elaboración propia. 152
Figura 122. Día tipo SE-N2, biomonitoreo prolongado ASMP. Elaboración propia. 154
Figura 123. Zonas de bienestar determinadas por el CBA (refiérase al capítulo 2, sección 2.1.3 Atenas). Elaboración propia. 156
Figura 124. Día tipo interior-exterior, biomonitoreo prolongado ECA. Elaboración propia. 157
Figura 125. Mediciones manuales por espacio, ECA. Elaboración propia. 158
Figura 126. Plantas de ubicación de los espacios monitoreados, ECA. Elaboración propia. 159
Figura 127. Día tipo EX-N1, biomonitoreo prolongado ECA. Elaboración propia. 160
Figura 128. Día tipo SE-N1, biomonitoreo prolongado ECA. Elaboración propia. 161
Figura 129. Día tipo A3-N1, biomonitoreo prolongado ECA. Elaboración propia. 162
Figura 130. Día tipo A6-N1, biomonitoreo prolongado ECA. Elaboración propia. 164
Figura 131. Día tipo A11-N1, biomonitoreo prolongado ECA. Elaboración propia. 165

Figura 132. Día tipo A28-N2, biomonitoreo prolongado ECA. Elaboración propia. 166
Figura 133. Día tipo A35-N2, biomonitoreo prolongado ECA. Elaboración propia. 168
Figura 134. Zonas de bienestar determinadas por el CBA (refiérase al capítulo 2, sección 2.1.4 Orotina). Elaboración propia. 170
Figura 135. Día tipo interior-exterior, biomonitoreo prolongado PMO. Elaboración propia. 171
Figura 136. Mediciones manuales por espacio, PMO. Elaboración propia. 173
Figura 137. Plantas de ubicación de los espacios monitoreados, PMO. Elaboración propia. 174
Figura 138. Día tipo EX-N2, biomonitoreo prolongado PMO. Elaboración propia. 175
Figura 139. Día tipo PS-N1, biomonitoreo prolongado PMO. Elaboración propia. 176
Figura 140. Día tipo PP-N1, biomonitoreo prolongado PMO. Elaboración propia. 177
Figura 141. Día tipo CB-N1, biomonitoreo prolongado PMO. Elaboración propia. 179
Figura 142. Día tipo CN-N1, biomonitoreo prolongado PMO. Elaboración propia. 180
Figura 143. Día tipo CM-N2, biomonitoreo prolongado PMO. Elaboración propia. 181
Figura 144. Día tipo OU-N2, biomonitoreo prolongado PMO. Elaboración propia. 183
Figura 145. Zonas de bienestar determinadas por el CBA (refiérase al capítulo 2, sección 2.1.5 Esparza). Elaboración propia. 186
Figura 146. Día tipo interior-exterior, biomonitoreo prolongado PME. Elaboración propia. 187
Figura 147. Mediciones manuales por espacio, PME. Elaboración propia. 189
Figura 148. Plantas de ubicación de los espacios monitoreados, PME. Elaboración propia. 190
Figura 149. Día tipo EX-N1, biomonitoreo prolongado PME. Elaboración propia. 191
Figura 150. Día tipo PS-N1, biomonitoreo prolongado PME. Elaboración propia. 192
Figura 151. Día tipo CI-N2, biomonitoreo prolongado PME. Elaboración propia. 193
Figura 152. Día tipo OP-N2, biomonitoreo prolongado PME. Elaboración propia. 195
Figura 153. Día tipo CI-N3, biomonitoreo prolongado PME. Elaboración propia. 197
Figura 154. Día tipo CM-N3, biomonitoreo prolongado PME. Elaboración propia. 198
Figura 155. Zonas de bienestar determinadas por el CBA (refiérase al capítulo 2, sección 2.1.6 Puntarenas). Elaboración propia. 202
Figura 156. Día tipo interior-exterior, biomonitoreo prolongado MSC. Elaboración propia. 203
Figura 157. Mediciones manuales por espacio, MSC. Elaboración propia. 204
Figura 158. Plantas de ubicación de los espacios monitoreados, MSC. Elaboración propia. 205
Figura 159. Día tipo EX-N1, biomonitoreo prolongado MSC. Elaboración propia. 206
Figura 160. Día tipo GA-N1, biomonitoreo prolongado MSC. Elaboración propia. 207
Figura 161. Día tipo CI-N1, biomonitoreo prolongado MSC. Elaboración propia. 208

Figura 162. Día tipo VI-N2, biomonitoreo prolongado MSC. Elaboración propia. 210
Figura 163. Día tipo VE-N2, biomonitoreo prolongado MSC. Elaboración propia. 211
Figura 164. Día tipo CI-N2, biomonitoreo prolongado MSC. Elaboración propia. 212
Figura 165. Síntesis de características de cada caso, según macro escala (características climáticas). Elaboración propia. 216
Figura 166. Síntesis de características de cada caso, según meso escala (relación con el entorno). Elaboración propia. 218
Figura 167. Síntesis de características de cada caso, según meso escala (envolvente). Elaboración propia. 220
Figura 168. Síntesis de características de cada caso, según micro escala (días tipo interior-exterior). Elaboración propia. 222
Figura 169. Síntesis de características de cada caso, según micro escala (día tipo por espacio). Elaboración propia. 226

CAPÍTULO 3. Simulaciones y resultados

Figura 170. Climograma de columnas, Santa Ana 2080. Elaboración propia con datos desagregados del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI). 236
Figura 171. Climograma de bienestar adaptado (arriba). Elaboración propia con datos del CIGEFI. 237
Figura 172. Gráfico de isopletas (abajo). Elaboración propia con datos del CIGEFI. 237
Figura 173. Climograma de columnas, Puntarenas 2080. Elaboración propia con datos desagregados del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI). 238
Figura 174. Climograma de bienestar adaptado (arriba). Elaboración propia con datos del CIGEFI. 239
Figura 175. Gráfico de isopletas (abajo). Elaboración propia con datos del CIGEFI. 239
Figura 176. Modelo de calibración, EMAI 2015. Elaboración propia. 241
Figura 177. Calibración de espacios AD-N1 (arriba) y AU-N3 (abajo) con datos climáticos del 2015. Elaboración propia. 243
Figura 178. Calibración del modelo con datos climáticos del 2015. Elaboración propia. 244
Figura 179. Simulación del modelo calibrado con datos climáticos del 2080. Elaboración propia. 244
Figura 180. Modelo de calibración, MSC 2015. Elaboración propia. 245

Figura 181. Calibración de espacios CI-N1 (arriba) y VE-N2 (abajo) con datos climáticos del 2015. Elaboración propia. 247
Figura 182. Calibración del modelo con datos climáticos del 2015. Elaboración propia. 248
Figura 183. Simulación del modelo calibrado con datos climáticos del 2080. Elaboración propia. 248
Figura 184. Propuesta de adaptación moderada, EMAI 2080. Elaboración propia. 249
Figura 185. Zonas de bienestar determinadas por el CBA para el 2080 (refiérase al capítulo 3, sección 3.1.1 Santa Ana 2080). Elaboración propia. 250
Figura 186. Simulación de espacios en propuesta de adaptación moderada, AD-N1 (arriba) y AU-N3 (abajo), con datos climáticos del 2080. Elaboración propia. 251
Figura 187. Simulación de propuesta de adaptación moderada, con datos climáticos del 2080. Elaboración propia. 252
Figura 188. Propuesta de adaptación moderada, MSC 2080. Elaboración propia. 253
Figura 189. Zonas de bienestar determinadas por el CBA para el 2080 (refiérase al capítulo 3, sección 3.1.2 Puntarenas 2080). Elaboración propia. 254
Figura 190. Simulación de espacios en propuesta de adaptación moderada, CI-N1 (arriba) y VE-N2 (abajo), con datos climáticos del 2080. Elaboración propia. 255
Figura 191. Simulación de propuesta de adaptación moderada, con datos climáticos del 2080. Elaboración propia. 256
Figura 192. Propuesta de rediseño, EMAI 2080. Elaboración propia. 257
Figura 193. Simulación de espacios en propuesta de rediseño, nivel 1 (arriba) y nivel 2 (abajo), con datos climáticos del 2080. Elaboración propia. 259
Figura 194. Simulación de propuesta de rediseño, con datos climáticos del 2080. Elaboración propia. 260
Figura 195. Propuesta de rediseño, MSC 2080. Elaboración propia. 261
Figura 196. Simulación de espacios en propuesta de rediseño, nivel 1 (arriba) y nivel 2 (abajo), con datos climáticos del 2080. Elaboración propia. 263
Figura 197. Simulación de propuesta de rediseño, con datos climáticos del 2080. Elaboración propia. 264

CAPÍTULO 1

DEFINICIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

El fin primordial de la arquitectura es satisfacer las necesidades esenciales de protección y refugio del ser humano. Las edificaciones deben dar respuesta a los rigores del entorno mediante su configuración, materialidad y sistemas constructivos, entre otros aspectos. Sin embargo, ¿qué ocurre cuando el clima global se encuentra en un constante cambio hacia condiciones cada vez más severas? Este es, precisamente, el desafío que el cambio climático interpone a la arquitectura.

Ante esta problemática, la arquitectura debe adaptarse para asegurar la sensación de bienestar, en el contexto de un planeta cada vez más cálido, por medio de la incorporación del concepto de resiliencia. Si el clima cambia, la arquitectura debe hacerlo también. Esto bajo criterios de sostenibilidad, eficiencia energética y mejoramiento de la salud y calidad de vida para sus ocupantes.

El cambio climático afecta directamente el equilibrio térmico entre el ser humano y su entorno. El confort higrotérmico es la sensación de bienestar físico producto de un intercambio de calor entre el cuerpo y el ambiente a través de la piel, tomando en cuenta la temperatura del aire, la temperatura media radiante, la humedad, el movimiento del aire, el arropamiento y la tasa de actividad metabólica del individuo.

> *"El bienestar higrotérmico se establece cuando el cuerpo pierde calor a la velocidad adecuada; una mayor velocidad implica sensación de frío y una menor velocidad, sensación de calor. A esa velocidad se equilibran todos los intercambios energéticos que se originan en el hombre. El ritmo al que pierde calor el organismo se denomina velocidad o actividad del metabolismo."* (Neila, J., 2004:227).

La ruptura del equilibrio térmico también repercute en la salud de las personas, ocasionando enfermedades asociadas al calor excesivo y a la mala calidad del aire (enfermedades renales, cardiovasculares, respiratorias, cáncer de piel, entre otras), así como el detrimento de la calidad de vida y la productividad. Grupos específicos como ancianos y niños son los más afectados.

Adicionalmente, el avance tecnológico experimentado durante el siglo XX ha sido causa de un distanciamiento cada vez mayor de los conceptos originales presentes en la arquitectura vernacular (principios bioclimáticos), y del desarrollo de tipologías homogéneas producto de la globalización.

> *"Los edificios del mundo representan casi un tercio del consumo global de la energía final y una quinta parte de todas las emisiones de GEI, a pesar de que el consumo energético varía mucho de una región a otra."* (Chalmers, P. 2014:5).

En los países tropicales, gran parte de esta energía se destina a la implementación de sistemas de climatización activos (aire acondicionado), debido a la carencia de diseño adaptado al clima. Sin embargo, es posible revertir estos indicadores mediante una articulación entre edificio y clima, por medio de un adecuado diseño o adaptación de la envolvente.

En su investigación *Re+Adaptar,* Sancho, A. (2013) desarrolla una metodología base para mejorar las edificaciones conforme a las necesidades climáticas del presente, por medio del uso de software de simulación. La autora sugiere continuar la temática para simular un comportamiento futuro con escenarios de cambio climático.

De esta manera, la presente investigación tiene como fin la adaptación de edificios al cambio climático, por medio de pautas de diseño bioclimático. Se ubica en el contexto del Corredor Productivo San José-Puntarenas, y se realiza mediante software de simulación energética para evaluar el comportamiento térmico de los edificios en escenarios futuros.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El cambio climático trae grandes alteraciones en el comportamiento de la atmósfera. Estos cambios son, en términos generales, aumento de temperaturas y cambios en los patrones de precipitación. Ante esta problemática, es importante determinar la cuota de responsabilidad del arquitecto, y cuáles deben ser las acciones a tomar para contribuir a revertir esta realidad.

> *"En el año 2010, los edificios del mundo representaron el 32% del consumo global de energía final y el 19% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Según las proyecciones, en el estado actual de las cosas, el consumo energético de los edificios a nivel mundial podría duplicarse o incluso triplicarse para el año 2050."* (Chalmers, P. 2014:4).

Este creciente consumo energético es producto del avance tecnológico de la segunda mitad del siglo XX, que ha derivado en progreso en muchas áreas del desarrollo humano, pero con un alto costo de recursos naturales y contaminación ambiental. Una de las principales es la liberación y acumulación de GEI en la atmósfera. De manera objetiva, la raíz principal de esta problemática es la ruptura de relación entre arquitectura y clima.

Sin embargo, si la huella ambiental generada por los edificios a escala global es grande, el potencial de la arquitectura para revertir los indicadores propios y servir de ejemplo para las demás áreas de actividad humana es aún mayor. El camino correcto radica en re-establecer el vínculo ente el ser humano y su entorno, de forma local y global.

> *"En un momento en el que el planeta se enfrenta a un problema nuevo como es el de haber alcanzado el límite de su crecimiento, la solución técnica para abordarlo es conseguir los mismos servicios, el mismo confort y los mismos equipamientos consumiendo y contaminando menos. Uno de los condicionantes más importantes para conseguirlo desde el punto de vista de la organización del territorio y la ciudad, es atender al clima."* (Hernández, A. et al. 2013:25).

Gran parte de esta nueva conciencia, debe guiar a los arquitectos, no sólo a la búsqueda del confort, sino también a preocuparse por el ambiente. Con el fin de garantizar la disponibilidad y equilibrio de los recursos para las futuras generaciones.

El reto de cara al futuro es múltiple: adaptar los edificios a las nuevas condiciones del cambio climático, desacelerar las emisiones de GEI, disminuir el consumo energético, lograr apoyo político y económico para financiar transformaciones tanto materiales como ideológicas, minimizar el impacto de la huella humana en el ambiente y lograr resultados. Este es, precisamente, el compromiso de la arquitectura bioclimática.

> *"En este punto es interesante detenerse a observar que, para una extensión razonable de un nuevo modo ecológico de concebir los procesos productivos de la sociedad, entre ellos la construcción, es necesario disponer de herramientas y de conocimientos adecuados al entendimiento científico del medio natural en relación con la arquitectura. En este sentido, y debido a la complejidad de dichas actuaciones, el arquitecto debe aprender a trabajar de modo interdisciplinario con otros profesionales del campo de la física y de las ciencias naturales y ambientales."* (Celis, F. 2000:6).

En esa dirección, la presente investigación busca abordar el tema del cambio climático desde un enfoque interdisciplinar, con el apoyo de la climatología, la meteorología, la geofísica y la estadística, entre otras. Para simular el futuro, se debe incursionar en el trabajo con escenarios de

cambio climático, datos observados y proyectados, con el fin de partir de escenarios construidos a partir de información científica real y confiable.

En el campo de la adaptación de edificios existentes, implementar cambios y estrategias con el método de prueba y error es arriesgarse en un camino lleno de incertidumbre, ya que no hay forma de garantizar resultados. Esto conlleva el desperdicio de recursos o a soluciones ineficientes.

Mediante el uso de software de simulación, es posible modelar y modificar virtualmente edificios, y someterlos a simulaciones climáticas. Estas herramientas son vitales para que los arquitectos comprueben resultados antes de implementar cualquier intervención.

1.3 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Lograr el confort higrotérmico ante el Cambio Climático en Costa Rica, adaptando edificaciones seleccionadas en dos escenarios, por medio de la proyección de datos y uso de software de simulación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar un diagnóstico de las edificaciones seleccionadas, mediante el biomonitoreo y análisis de datos, con el fin de determinar las modificaciones necesarias para alcanzar el confort higrotérmico.

2. Generar archivos climáticos para el año 2080, mediante la desagregación de los datos proyectados, para generar datos horarios a partir de datos diarios.

3. Enfatizar la necesidad de re-pensar el proceso de diseño, mediante la simulación y comprobación del alcance de estrategias pasivas ante el Cambio Climático.

1.4 MARCO TEÓRICO

1.4.1 CAMBIO CLIMÁTICO

El clima del mundo está en continuo cambio. Sin embargo, dicha variabilidad natural ha sido lenta y poco notable hasta la era industrial.

Según la comunidad científica desde los años 1700's y hasta finales del presente siglo, la temperatura global podría experimentar un aumento de 4.0°C. A este incremento de calor se le denomina *cambio climático antrópico*. Sus trastornos dramáticos en las condiciones atmosféricas afectan a todo el planeta, pero principalmente a las más pobres (World Bank, 2014:23).

El cambio climático es un problema irreversible, y de consecuencias catastróficas que incrementan gradualmente.

Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) este fenómeno se define como:

> *"… un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima, observada durante períodos de tiempo considerables."* (IPCC, 2007:180).

Su causa principal son las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que son liberados a la atmósfera, en gran parte, producto de la actividad humana. Entre los principales GEI están el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), y el vapor de agua. Estos actúan como una capa invisible que absorbe y multiplica la radiación solar, calentando la superficie terrestre, el aire y las masas de agua. Cuando la radiación rebota sobre la biosfera, la capa de GEI bloquea su salida al espacio. Dicho calor queda atrapado en las capas más bajas de la atmósfera. A este fenómeno se denomina *efecto invernadero* (Jiménez, M. et al., 2010:34).

Según datos del Banco Mundial, al presente el aumento de temperatura global con respecto a la era preindustrial es de 0.8°C. Aunque el incremento está aún por debajo de 1.0°C, los fenómenos observados en diferentes regiones del planeta se constituyen como evidencias claras de la realidad y severidad del problema. Dichos trastornos incluyen: aumento del nivel del mar, aumento de la temperatura global, calentamiento de los océanos, reducción de las capas de hielo, disminución del hielo marino del Ártico, retroceso de los glaciares, eventos extremos, acidificación de los océanos, disminución de las capas de nieve (World Bank, 2014:7).

Importantes esfuerzos para reducir las emisiones de GEI a la atmósfera se han hecho mediante acuerdos y compromisos internacionales. Entre ellos destacan la primera Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro en 1992, el Protocolo de Kioto en 1997 y el Acuerdo de París en 2015.

En este último 195 países firman un acuerdo para mitigar el calentamiento global. Es un plan de acción mundial en el cual los países se comprometen a reducir las emisiones de GEI para limitar el aumento de temperatura media mundial muy por debajo de 2.0°C. Considera además, reducir este límite a 1.5°C con respecto a los niveles preindustriales (CMCC, 2015:2).

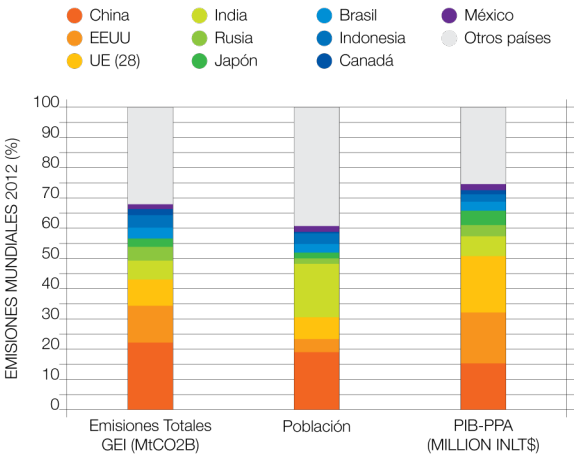


Figura 1. Principales países emisores de GEI para el 2012, según datos de CAIT Climate Data Explorer. Elaboración propia con base en gráfico de World Resources Institute.

Sin embargo, la cooperación internacional aún es insuficiente, debido a países altamente contaminantes que se niegan a participar de dichos acuerdos. Un ejemplo de ello es Estados Unidos, que, después de China, es el país que más libera GEI a la atmósfera (World Resources Institute, 2012:1).

En el ámbito regional, es posible determinar las regiones más sensibles y con menos resiliencia a esta problemática. Ese es el caso de Latinoamérica y el Caribe. En esta región el aumento de temperaturas y los trastornos en los regímenes de lluvias impactarán de forma directa la productividad de la agricultura, aumento en la escala y periodicidad de los eventos hidrometeorológicos extremos, además de pérdida de biodiversidad.

Lo anterior repercute directamente en la calidad de vida y la capacidad de subsistencia de grandes poblaciones que viven en condiciones de pobreza, los cuales se verán afectados por la interrupción masiva de los sistemas básicos como el agua, la seguridad alimentaria, la salud, proliferación de enfermedades, desempleo, etc. (World Bank, 2014:95). Cabe destacar que Centroamérica ha sido catalogada como una de las regiones más vulnerables ante este fenómeno (CEPAL et al., 2015:158).

Según escenarios de cambio climático en alta resolución desarrollados en el Centro de Investigaciones Geofísicas de la Universidad de Costa Rica, se proyectan cambios importantes en los aspectos hidroclimatológicos para la región

Figura 2. Imagen satelital de la NASA, tomada de NASA/GSFC/LaRC/JPL, MISR Team. (2011). Recuperado de http://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details. php?id=PIA15016.

centroamericana en los próximos 50 años (Hidalgo, H.G. et al., 2016:1).

Se esperan condiciones más secas en el Norte (desde Guatemala hasta la parte Norte de Costa Rica) y más húmedas en el sur (la parte Sur de Costa Rica y Panamá). Todo esto con posible relación al desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical hacia el Sur. Esto, sumado a la aceleración de eventos climáticos como el Niño (ENOS) conlleva un aumento considerable de las sequías, especialmente en el Norte de la región (Hidalgo, H.G., et al. 2014:1).

En el caso particular de Costa Rica se proyecta un aumento general tentativo de temperaturas de 3.0°C (Jiménez, M. 2009:69), además de cambios en los patrones de precipitación (más escasas y pausadas, pero más intensas), y una disminución de la escorrentía de un 10% (Hidalgo, H.G. et al., 2013:1).

Esto provoca mayor riesgo de inundaciones en las zonas bajas, deslaves en las orillas de los ríos, inestabilidad de suelos de zonas montaño-

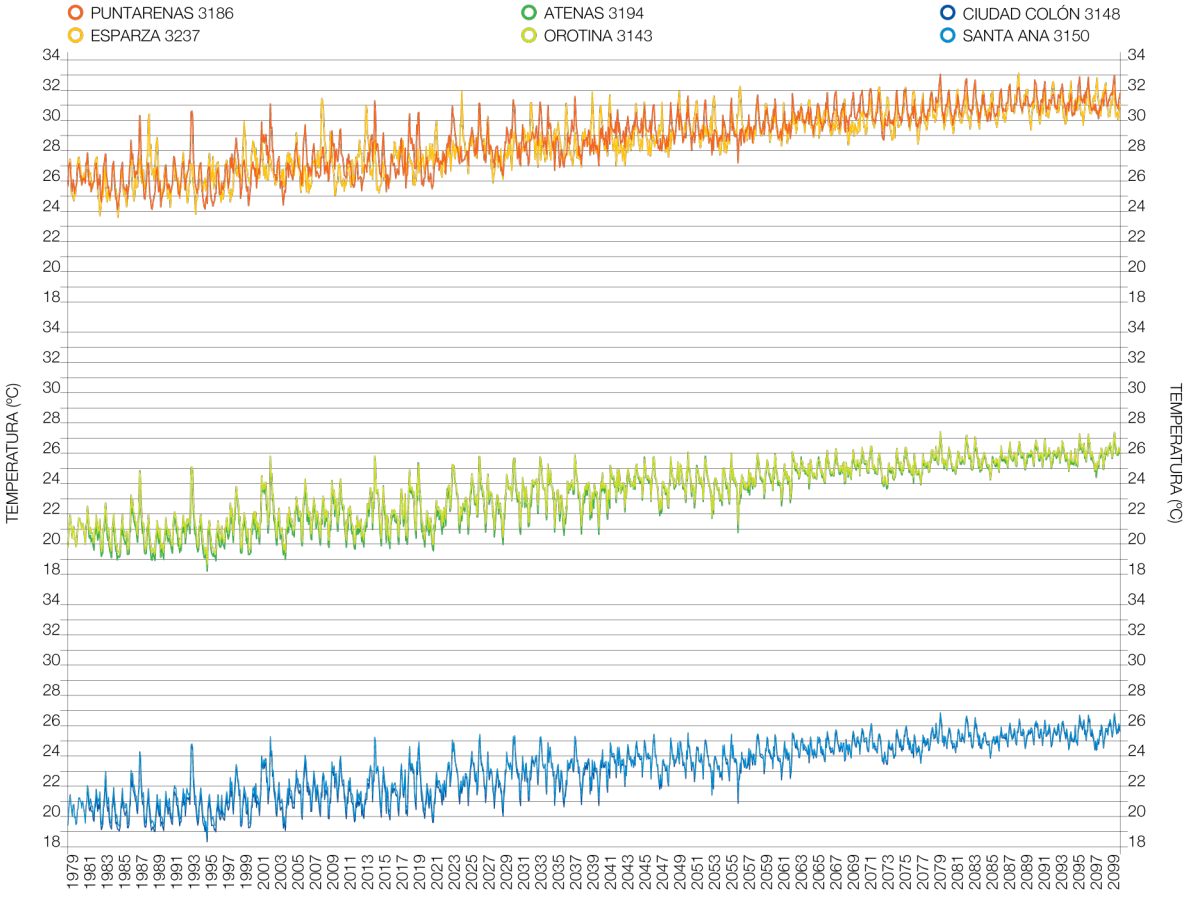


Figura 3. Temperaturas observadas y proyectadas para el período entre 1979 y 2099, según el modelo cesm1_cam5(1), para las ciudades indicadas. Elaboración propia con base en datos de Hidalgo, H.G., Alfaro E.J. y Quesada-Montano, B. (2016).

sas, e impactos en la infraestructura de puentes y carreteras. Según el Ministerio de Ambiente y Energía, entre los años 2005 al 2011 las pérdidas económicas directamente asociadas al impacto de eventos hidrometeorológicos relacionados con Cambio Climático en Costa Rica son estimadas en $1130 millones. En 2030 las pérdidas serían de $7000 millones y para 2050 $30000 millones (MINAE, 2015:16).

El desarrollo social y productivo de Costa Rica está históricamente vinculado con el clima, posicionando al Valle Central como el territorio ideal para el establecimiento de los principales centros de población. Además de la escogencia de zonas adyacentes con climas y suelos aptos para cultivos como el café, las hortalizas y la ganadería de leche (Alfaro, A. et al., 2013:43).

Sin embargo, el fenómeno del cambio climático ya se manifiesta, trayendo consigo grandes transformaciones en las condiciones que caracterizan diferentes regiones del país. Se proyecta un aumento de eventos hidrometeorológicos extremos (tormentas y huracanes), cambios en la escorrentía y ciclos de sequías en Guanacaste asociadas al fenómeno del Niño (CEPAL et al., 2015:41). En cuanto a la reducción de las zonas idóneas para vivir, los centros urbanos (especialmente el Gran Área Metropolitana) presentarían fenómenos de *islas de calor* y *noches cálidas*, los cuales son acumulación de calor en las superficies y en el aire.

Igual de importante es la repercusión del aumento de temperatura en problemas de salud de grupos de población específicos como ancianos, niños y trabajadores a la intemperie. (GWP et al., 2011:39)

Las pruebas verificables del cambio climático y sus consecuencias exponen la urgente necesidad de desarrollar resiliencia y capacidad de adaptación, ante una problemática que ha comenzado a afectar de manera significativa a regiones enteras, territorios, ecosistemas, y poblaciones, especialmente a aquellas que son más vulnerables.

1.4.2 CLIMA DE COSTA RICA

Costa Rica se localiza en la parte central del continente Americano, entre las coordenadas geográficas 08°30' y 11°15' latitud Norte y los meridianos 82°00' y 85°00' longitud Oeste. Abarca una superficie de 51100 km2 y limita al Norte con Nicaragua, al Suroeste con el Océano Pacífico, al Este con el Océano Atlántico y al Sureste con Panamá.

Dicha posición geográfica, ubica al país en la Franja Tropical, lo cual determina las condiciones climáticas del país por la oscilación del Sol entre los Trópicos Cáncer y Capricornio. La variación alcanza los 47°, entre los puntos por donde sale y se oculta el sol durante el año:

- El 21 de junio (solsticio de verano), el Sol sale y se oculta 13.5° al Norte del paralelo 10. Este es el día más largo del año.
- El 21 de diciembre (solsticio de invierno), el Sol sale y se oculta 33.5° al Sur del paralelo 10º. Este es el día más corto del año.

Dicha ubicación geográfica asegura además posiciones muy elevadas del Sol sobre el horizonte, y una duración media de luz solar de 12 horas que varía poco a lo largo del año.

Asimismo, el país se posiciona dentro de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), un cinturón de baja presión que rodea al globo terrestre en la región ecuatorial y en la cual confluyen los vientos alisios del Sureste y Noreste.

Esta zona se caracteriza por altas temperaturas en la superficie del mar, presencia de vientos permanentes durante casi todo el año (alisios) y un régimen de fuertes precipitaciones, característico de los trópicos.

Por otra parte, a nivel regional existen diferentes criterios para caracterizar climáticamente el país. Como lo son la disposición de las montañas, llanuras y mesetas, la condición ístmica, la influencia oceánica, la vegetación sobre la superficie terrestre, y en general la interacción de factores locales geográficos, atmosféricos y oceánicos.

Sin embargo, en Costa Rica los factores climáticos más influyentes son la orografía y la condición interoceánica. Estas dos variables ocasionan, a pesar del reducido territorio, una gran diversidad de microclimas.

La configuración estrecha del país permite la influencia de los dos océanos y sus correspondientes variables climáticas. Sin embargo, el Sistema Montañoso Central, detiene los vientos alisios del Noreste y actúa como barrera de efecto regulador. Esto ocasiona condiciones atmosféricas diferentes en el Caribe y en el Pacífico.

La Vertiente Pacífica cuenta con una época seca (de diciembre a marzo) y una lluviosa (de mayo a octubre), y con temperaturas medias mensuales superiores a los 18.0°C. Por el contrario, la Vertiente Caribe no presenta una estación seca definida. Sino una estación lluviosa, con precipitaciones que se distribuyen de forma más o menos uniforme, durante todo el año.

Debido a las diferencias altitudinales del sistema montañoso, los fenómenos atmosféricos que se originan en el Mar Caribe pueden afectar la Vertiente Pacífica y viceversa. Los pasos entre volcanes, permiten el paso libre de los vientos que provienen del Caribe con altos índices de humedad.

Los sistemas montañosos dividen el territorio en cinco regiones climáticas, cuya temperatura promedio anual (TPA) y precipitación promedio anual (PPA), varían considerablemente.

- **Pacífico Norte.** Se ubica al Noroeste del país, limitado por el Pacífico y la Cordillera de Guanacaste. Presenta una PPA de 2000 mm, y una TPA de 27.0°C.
- **Pacífico Sur.** Se ubica al Suroeste del país, limitado por el Pacífico y la Cordillera de Talamanca. Presenta una PPA de entre 3450 y 5000 mm, y una TPA de 26.0°C.
- **Valle Central.** Delimitado por la Cordillera Central, estribaciones de Talamanca y los Cerros de San Miguel. Presenta una PPA de 2400 mm, y una TPA de 20.0°C, en su altitud media de 1100 msnm.
- **Vertiente Norte.** Delimitada por las

Cordilleras de Guanacaste y Central, el Caribe y la frontera política con Nicaragua. Presenta una PPA de 4300 mm, y una TPA de 22.0°C.

• **Zona Atlántica.** Delimitada por las Cordilleras y el Mar Caribe, desde el río Colorado hasta la frontera con Panamá. Presenta una PPA de 4100 mm, y una TPA de 22.0°C.

No obstante, existen similitudes entre las zonas, como es el caso de la TPA en la Vertiente Norte y la Zona Atlántica. Estas asociaciones entre zonas geográficamente distintas se pueden comprender desde la clasificación por Zonas de Vida.

1.4.3 ZONAS DE VIDA EN COSTA RICA

Para definir las características climáticas de Costa Rica, se utiliza el Sistema de clasificación de Zonas de Vida de Holdridge debido a su amplio uso y difusión en el ámbito científico local, y a que permite un entendimiento del comportamiento climático del país como un todo.

Este sistema de clasificación ecológica fue elaborado por L.R. Holdridge en 1947, y actuali-

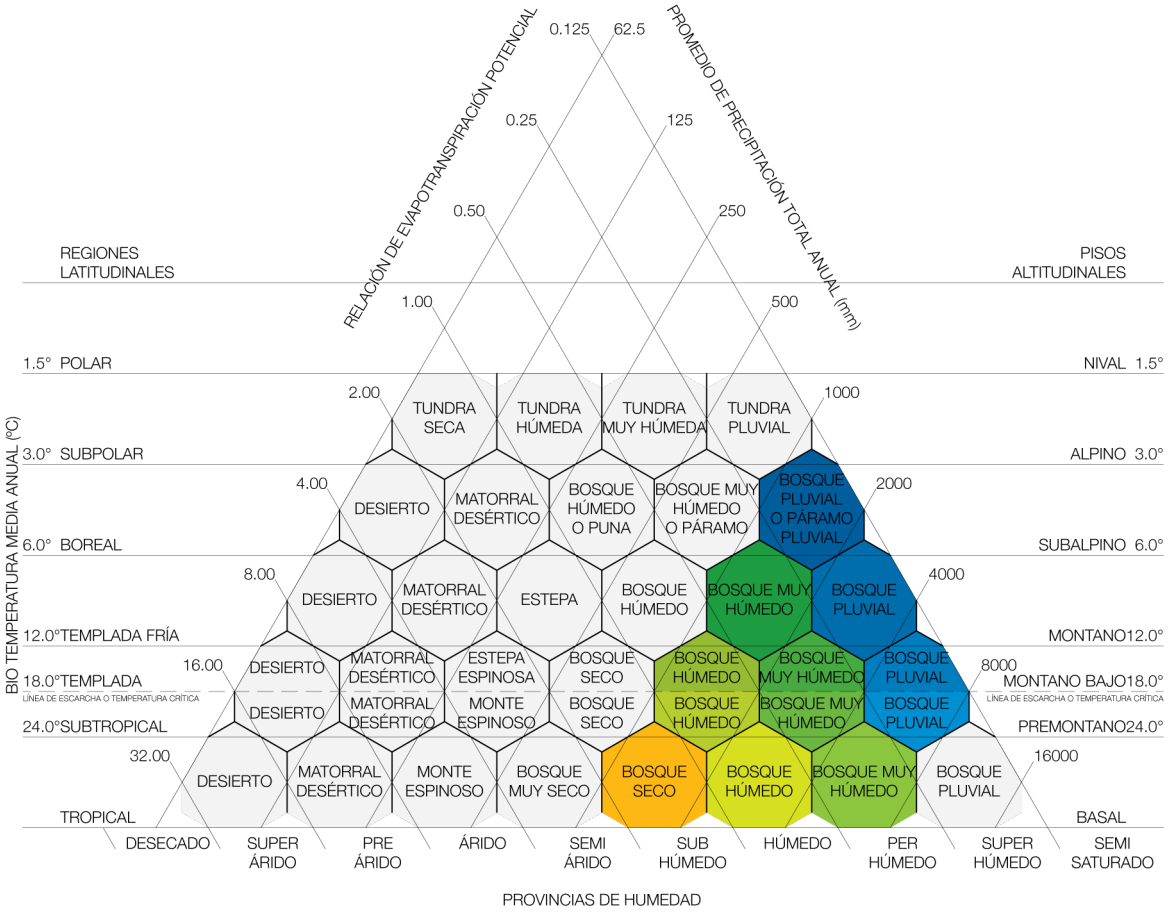


Figura 4. Zonas de Vida de Holdridge. Elaboración propia con base en pirámide de Holdridge, L.R. (2000).

zado en 1967. Desarrolla un sistema de clasificación de los ecosistemas terrestres, en una unidad básica de estudio denominada Zona de Vida:

> *"...debe concebirse como una unidad natural en la cual la vegetación, la actividad animal, el clima, la fisiografía, la formación geológica y el suelo, están interrelacionados en una combinación reconocida y única, que tiene un aspecto o fisonomía típica"* (Holdridge, 2000:1).

La pirámide de Zonas de Vida de Holdridge

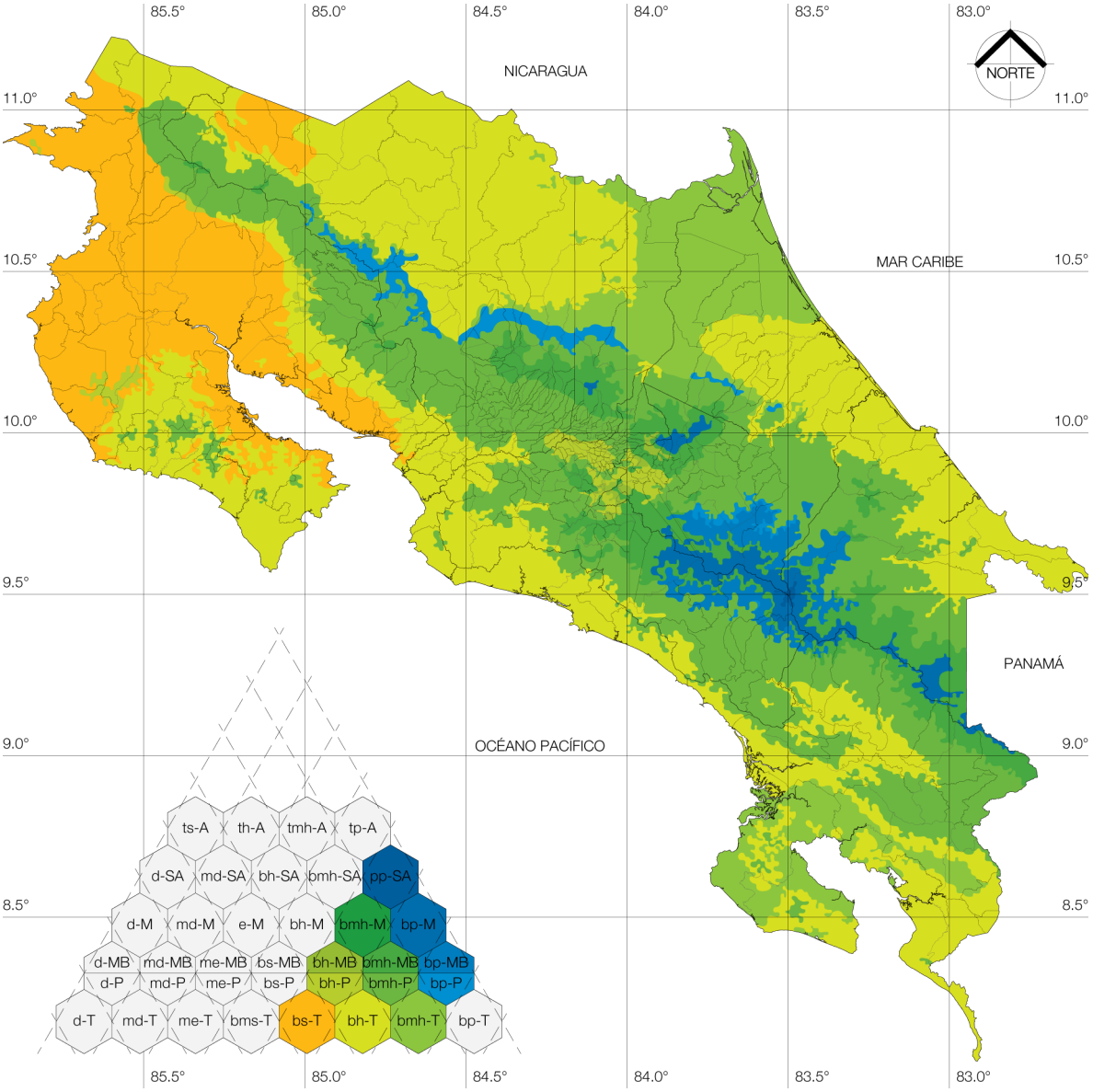


Figura 5. Mapa de Zonas de Vida para el 2010. Elaboración propia con base en mapas de Jiménez, M. (2009).

representa gráficamente las formaciones vegetales del mundo con sus respectivas divisiones climáticas, según latitud y piso altitudinal a las que pertenecen. Están determinadas por tres variables ambientales: la biotemperatura (la medida de calor útil para la vida vegetal), la precipitación, y la evapotranspiración potencial. Estas variables se trabajan con adiciones logarítmicas para obtener incrementos lineales.

La pluralidad climática de Costa Rica, se ve amenazada por el cambio climático. Este no provoca cambios en las Zonas de Vida, sino desplazamientos que varían su distribución geográfica y extensión en el territorio. Una adecuada delimitación conforme a este sistema de clasificación permite replicar estrategias de diseño arquitectónico a otras regiones con características climáticas similares.

Históricamente, el desarrollo de Costa Rica ha estado relacionado con el confort climático, especialmente la selección de las regiones para vivir y para producir. El Valle Central pertenece en su mayoría al bosque húmedo Premontano (bh-P), Zona de Vida caracterizada por temperaturas agradables la mayor parte del año.

El cambio climático conlleva una reducción de las zonas idóneas para vivir, así como una baja en la productividad agrícola, especialmente en aquellas regiones con temperaturas por encima de 30°C. Por lo tanto, es pertinente analizar los desplazamientos de las Zonas de Vida, para optimizar el desempeño de los edificios en el contexto de nuevas condiciones climáticas.

Según el Sistema de Clasificación de Holdridge, Costa Rica en 2010 cuenta con doce Zonas de Vida y doce Zonas de Transición ubicadas en los primeros cinco pisos latitudinales. En la investigación realizada por Jiménez, M. (2009), se proyecta el comportamiento climático en Costa Rica a causa del cambio climático y sus consecuencias en las Zonas de Vida. Dicho estudio establece dos criterios para definir posibles escenarios regionales, A y B, uno pesimista y otro optimista para los años 2020 y 2080, que permiten proyectar cómo, de forma irreversible, el cambio climático provoca el desplazamiento de Zonas de Vida.

1.4.4 CONFORT HIGROTÉRMICO

El confort se define como el bienestar físico y psicológico del ser humano cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimiento del aire son favorables a la actividad que desarrolla (Sosa y Siem, 2004:10).

> *"Los primeros asentamientos son prueba de ello, donde los hombres buscaban primero un clima satisfactorio, en segundo lugar, suelos fértiles y por último una topografía favorable. Esto explica el vínculo del ser humano ante el confort y las prácticas agronómicas, o bien para nuestra actualidad: la comodidad y el trabajo estable, es decir construcciones relacionadas con el uso de la tierra."* (Alfaro et al., 2013:42).

La exposición prolongada a ambientes térmicamente inconfortables pueden provocar, desde

el punto de vista conductual, irritabilidad, agresividad, pérdida de concentración y disminución en el rendimiento. (Arce et al., 2012:37).

El concepto de confort higrotérmico combina factores de influencia climáticos y del usuario, para determinar la zona de bienestar o equilibrio térmico entre el cuerpo humano y su entorno.

Los factores de influencia según parámetros climáticos dependen de la ubicación, condiciones geográficas y época del año; y tienen una influencia directa sobre las personas y las características físicas y ambientales de un clima local.

Temperatura del aire (ºC). Es el estado térmico del aire a la sombra, y puede variar según la actividad y ocupación de un espacio. Cuando baja, produce pérdida de calor por convección. Cuando se acerca a la temperatura corporal, produce excesivo calor.

Humedad relativa (%). Se define como la cantidad de vapor contenida en un volumen de aire. Varía en forma inversa a la temperatura. Existen límites extremos que pueden resultar perjudiciales. Por debajo del 20%, se da mayor sequedad con temperaturas bajas. Por encima del 80%, se produce sudoración, pero no evaporación, por lo que la sensación de calor aumenta.

Temperatura media radiante (ºC). Es la temperatura que irradian los materiales de un espacio. En el cuerpo humano se produce una pérdida o ganancia de calor por radiación a causa de la relación con su entorno.

Velocidad del aire (m/s). La temperatura del aire provoca una pérdida o ganancia de calor. La velocidad del aire genera una sensación de frescura, si su temperatura es menor a la de la piel. La velocidad del aire puede colaborar con la disminución de la humedad.

Radiación solar (w/m2). Es un flujo de energía recibida desde el sol en forma de ondas electromagnéticas de distintas frecuencias. Puede ser global, directa o difusa, y puede variar según los movimientos rotativos del Sol y la Tierra, y las condiciones atmosféricas.

Los factores de influencia según el usuario, corresponden a la capacidad de cada usuario de responder a los estímulos externos según el ambiente.

Tasa metabólica (MET). Se refiere a la cantidad de calor generada por el cuerpo humano al desarrollar determinada actividad. La producción constante de energía es lo que se conoce como tasa metabólica. Un MET equivale a 58.15 Wm de superficie corporal. Es decir, la cantidad de calor generado por metro cuadrado de piel. (Alfaro et al., 2013:29).

Arropamiento (CLO). Son las características térmicas de la ropa que se utiliza. La vestimenta supone un aislamiento térmico que reduce o aumenta la sensación de calor a actuar como barrera mediadora entre el cuerpo humano y el medio que lo rodea.

Género. Las mujeres prefieren temperaturas entre 0.5°C y 1.0°C mayores debido a que su capacidad de adaptación al ambiente térmico es menor. Esto en relación con la temperatura de su piel, la capacidad de sudoración y la actividad me-

tabólica.

Edad. Se requiere un incremento de 0.5°C por cada 20 años de la persona, ya que conforme avanza la edad, se pierde la capacidad de adaptación por la disminución de la tasa metabólica.

Constitución corporal. Se refiere a la relación entre la superficie expuesta al ambiente y el volumen de cada individuo (Alfaro et al., 2013:30). La capacidad de disipar calor aumenta o disminuye según el volumen del cuerpo (obeso o delgado).

TASA METABÓLICA		MET
Sentado, relajado.		1.0
Actividad sedentaria (oficina, vivienda, colegio, laboratorio).		1.2
De pie, actividad ligera (compras, laboratorio, industria ligera).		1.6
De pie, actividad media (dependiente, trabajo doméstico, trabajo a máquina).		2.0
Caminando en terreno llano	2 km/h	1.9
	3 km/h	2.4
	4 km/h	2.8
	5 km/h	3.4
ARROPAMIENTO		CLO
Desnudo		0
Ropa interior, camisa manga corta, pantalón ligero, medias ligeras, zapatos.		0.5
Ropa interior, camisa, pantalón, calcetines, zapatos.		0.7
Ropa interior, camisa, pantalón, chaqueta, calcetines, zapatos.		1.0

Figura 6. Factores de MET y CLO según actividad metabólica y arropamiento. Elaboración propia con base en norma ISO-7730 (2005).

La zona de confort higrotérmico, es la franja de neutralidad térmica en la que estos factores se combinan para que los mecanismos de autorregulación sean mínimos, y en la cual la mayoría de personas sienten comodidad.

> *"Los límites del confort climático son muy estrechos ya que el cuerpo humano tiene internamente una temperatura que varía entre 36.5°C y 37.0°C, el equilibrio del cuerpo consiste en mantener la temperatura dentro de esos rangos."* (Alfaro et al., 2013:28).

1.4.5 HERRAMIENTAS PARA EVALUAR EL CONFORT

La búsqueda de ambientes térmicamente confortables ha permitido el desarrollo de herramientas para relacionar la incidencia de los factores que afectan el balance térmico.

Diagrama de Olgyay. Victor y Aladar Olgyay establecen límites de temperatura y humedad, que permiten definir la zona de confort para una persona en reposo y a la sombra. A esto se añaden factores de radiación, velocidad del viento y evaporación, como medidas correctoras. Los puntos bajo la zona de confort indican necesidad de radiación, mientras que los puntos sobre la zona de confort indican necesidad de ventilación.

Climograma de Bienestar Adaptado (CBA). Desarrollado por el Javier Neila, es un compendio de los climogramas de Olgyay y Givoni, resuelto a través de una hoja de cálculo. Se construye a par-

tir de los datos de temperatura y humedad relativa, e incorpora como variables el tipo de actividad metabólica, el nivel de arropamiento, y la temperatura media radiante. Permite determinar áreas de mayor o menor bienestar, cuyas exigencias climáticas permiten definir las estrategias bioclimáticas.

Índice de Fanger. Propuesto por P.O. Fanger, es el método utilizado para la valoración del confort térmico desde la percepción de las personas. Según Fanger, existen parámetros que influyen de manera directa en la pérdida o ganancia de calor, afectando el bienestar térmico. Estos son temperatura del aire, temperatura media radiante, humedad relativa, velocidad de aire, tasa metabólica y arropamiento.

El método calcula dos índices denominados voto medio estimado (PMV) y el porcentaje de personas insatisfechas (PPD).

El PMV representa el valor de los votos emitidos por un grupo de personas respecto a una escala de sensación térmica de 7 niveles, basado en el equilibrio térmico del cuerpo humano. Cuando el valor del PMV se ubica dentro del rango de -0.5 y 0.5, refleja una situación térmica satisfactoria para la mayoría de los usuarios de un espacio.

SENSACIÓN TÉRMICA	PMV
Muy caluroso	+3
Caluroso	+2
Ligeramente caluroso	+1
Neutro	0
Ligeramente fresco	-1
Fresco	-2
Frío	-3

Figura 7. Escala de sensación térmica de siete niveles. Elaboración propia con base en norma ISO-7730 (2005).

El PPD estima el porcentaje de personas que se sentirán térmicamente insatisfechas, de entre un numeroso grupo de individuos, al notar demasiado calor o demasiado frío en un determinado ambiente. Los valores del 10% al 20% reflejan una situación satisfactoria para la mayoría de las personas.

Estos índices expresan la incomodidad por frío o calor del cuerpo en su conjunto. De ahí la importancia y aplicación generalizada del método, según lo dicta la norma Internacional ISO-7730 relativa a la ergonomía del ambiente térmico.

> *"Se puede dar una incomodidad térmica local, es decir cuando se da un calentamiento o enfriamiento indeseado de una determinada parte del cuerpo. Los factores más comunes que afectan el confort local son las corrientes del aire (enfriamiento del cuerpo debido al movimiento del aire), la diferencia de la temperatura entre la cabeza y tobillos, la asimetría de la temperatura radiante (superficies frías o calientes) y por la presencia de suelos fríos o calientes. Las personas con actividades más ligeras son las más vulnerables a la incomodidad local, sucede lo contrario con las personas en actividades más exigentes."* (ISO, 2005:6).

El confort térmico es una de las necesidades

físicas y biológicas básicas del ser humano, por lo que resulta una de las variables más importantes a tomar en consideración para la adaptación bioclimática de edificaciones.

1.4.6 ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

Dentro de las alternativas para contrarrestar los efectos provocados por el cambio climático, se encuentra la arquitectura bioclimática. La cual,

> *"Puede definirse como la arquitectura diseñada sabiamente para lograr un máximo confort dentro del edificio con el mínimo gasto energético. Para ello aprovecha las condiciones climáticas de su entorno, transformando los elementos climáticos externos en confort interno gracias a un diseño inteligente."* (García, M. 2011:10).

Cuando los recursos del entorno son aprovechados de forma conveniente y responsable, el principal beneficiario es el medio ambiente, al reducir la contaminación generada por el proceso constructivo y la operación del edificio. Esto también propicia bienestar para las personas y ahorro energético.

> *"La arquitectura popular representa la adecuación perfecta entre el clima, las necesidades humanas y la construcción sostenible, y por ello se podría decir que es la primigenia arquitectura bioclimática."* (Neila, J. 2004:13).

El arquitecto bioclimático es aquel profesional que se interesa por restablecer el vínculo entre el ser humano, el ambiente y el clima a través del diseño, escogencia de materiales, planificación y uso de energías.

Diseñar o adaptar un edificio por medio de los conceptos bioclimáticos es uno de los procesos más eficaces en cuanto a impacto ambiental. Cuando se logra resolver el acceso a los recursos climáticos antes que el resto de aspectos arquitectónicos, se logra disminuir el estrés ambiental provocado por el edificio. Un adecuado diseño bioclimático se caracteriza por lograr el control del sol y la humedad, el aprovechamiento de la luz y la ventilación natural.

> *"Por consiguiente, es bastante posible, tan solo mediante el diseño adecuado del edificio, lograr condiciones confortables en todo momento, en la mayoría de los edificios."* (Germer, J. 1983:3).

En suma, logra generar y mantener el confort higrotérmico de los usuarios por medio de estrategias pasivas.

> *"Actualmente, debido a los avances tecnológicos, se han abandonado las prácticas constructivas basadas en el diseño bioclimático. De modo que la necesidad de ajustar los parámetros higrotérmicos en el interior de los edificios se resuelve mediante Sistemas Activos de Acondicionamiento (SAA), caracterizados por ser consumidores de energía (en mayor proporción energía fósil no renovable), sin tener en cuenta las condi-*

ciones del lugar y el potencial del clima. Gran parte de la energía necesaria para calentar o refrigerar un edificio se puede ahorrar si se parte de un buen diseño arquitectónico basado en estrategias pasivas que aproximen las condiciones interiores a las de confort humano." (Monteverde, A. 2014:8).

Los SAA no resultan ser buenos aliados ante el cambio climático debido al alto costo energético, y a que liberan gases contaminantes a la atmósfera. Desde el punto de vista formal, contribuyen a la descontextualización de la arquitectura, mediante la implementación de tipologías sin relación al entorno.

En contraposición a esto, el uso y desarrollo de Sistemas Pasivos de Acondicionamiento (SPA) permiten una eficiencia energética gracias a un diseño inteligente de la envolvente, como mediador de las condiciones internas y externas.

1.4.7 ESTRATEGIAS GENERALES DE ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

Las estrategias de adaptación bioclimática se implementan según las características particulares de cada ubicación.

Una correcta orientación permite el aprovechamiento o protección de los elementos climáticos, primordialmente de la radiación solar, luz natural y vientos.

Orientación según trayectoria solar. En los países tropicales como Costa Rica, la necesidad primordial es el enfriamiento. Para ello la orientación debe responder a tres criterios básicos: evitar la captación solar, mantener el control solar y disipar el calor mediante la ventilación cruzada.

Se recomiendan configuraciones angostas y alargadas con eje longitudinal en dirección Este-Oeste, para disminuir la incidencia de los rayos solares sobre las fachadas largas durante la mañana y la tarde. Además, el uso de materiales con buena resistencia térmica y de colores claros sobre las superficies de la envolvente (Germer, J. 1983:151).

Según Alfaro et al. (2013:89), las aberturas mayores deben estar en las fachadas Norte y Sur, siendo estas las de mayor dimensión. Siempre y cuando cuenten con mecanismos de control solar para evitar la ganancia térmica. Las aberturas orientadas hacia el Este admitirán el sol, a una hora en la que la temperatura del aire todavía es baja. Deben evitarse aberturas hacia el Oeste, ya que la captación solar por medio de radiación y conducción, aumentará la temperatura del aire en horas pasadas del medio día. También es necesario considerar datos de radiación solar y ganancia térmica en las superficies, y así valorar el riesgo de sobrecalentamiento o de pérdida energética.

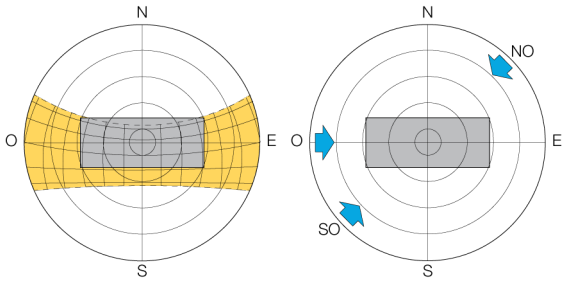


Figura 8. Orientación según trayectoria solar y vientos. Elaboración propia.

Orientación según vientos. La orientación también debe responder a las diferentes épocas del año (seca y lluviosa), según la vertiente (Caribe y Pacífico), y la temporalidad (día y noche).

Alfaro et al. (2013:89), recomienda que las aberturas mayores deben estar perpendiculares a la dirección de los vientos dominantes, con el fin de lograr ventilación cruzada y disipar el calor.

Sin embargo, según Germer, J. (1983:127) se debe utilizar direcciones oblicuas, entre 20º y 70°, para acelerar el flujo del aire al interior. Recomienda además la incorporación de aletas (pantallas) verticales que direccionen los vientos hacia los espacios internos.

Otros aspectos importantes son la altura, forma, tamaño y proporción de las aberturas, tanto de entrada como de salida. La altura idónea es a nivel del pecho, para direccionar el flujo y la velocidad de aire a las regiones del cuerpo que generan más bienestar.

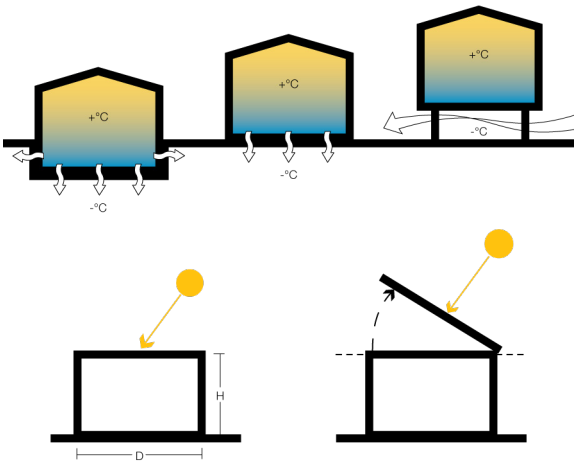


Figura 9. Configuración espacial de la envolvente inferior (arriba), del espacio habitable y la envolvente superior (abajo). Elaboración propia.

La configuración espacial, por otra parte, se establece a partir del estudio de la relación de la envolvente con el exterior.

Envolvente inferior. Dos materiales que se encuentran en contacto equilibran su energía calórica: el material de mayor temperatura cede su calor al material de menor temperatura. Dicho esto, es posible lograr un enfriamiento conductivo por medio de la termorregulación del suelo.

Dentro de ese principio se presentan dos configuraciones básicas. La primera se da cuando el cerramiento inferior se encuentra en contacto directo con el suelo, o por debajo del nivel de suelo. En la segunda configuración, la edificación se eleva permitiendo el paso del aire por medio del espacio que se genera. Mediante el enfriamiento por convección, las masas de aire favorecen la disipación de calor. Se recomienda tener en cuenta las características naturales del terreno. (Alfaro et al. 2013:229).

Espacio habitable. Definir de forma correcta la altura, el volumen de aire y la materialidad de la envolvente y de las particiones internas, disminuye la influencia que ejercen la temperatura externa y la radiación solar en el comportamiento térmico de los espacios. Las aperturas deben responder a las condiciones del contexto.

Envolvente superior. La cubierta de los edificios se constituye como el principal captor y acumulador de calor. Por esta razón es necesario un buen diseño y escogencia de materiales, principalmente en las latitudes bajas donde los ángulos solares son perpendiculares durante la mayor

parte del año.

> *"Las superficies de techo de color blanco reflejan el 70% de la radiación incidente de onda corta y así evitan la transferencia de calor al interior."* (Germer, J. 1983:148).

Según Salomón (1982), citado por González (2009:36), *"cada 10° de inclinación del plano de la cubierta equivalen a un 10 a 15% de menor ganancia de calor por radiación aproximadamente"*. Es decir, entre más perpendicular se posicione la superficie de la cubierta en relación a los rayos solares, más calor puede absorber.

Elementos salientes como aleros, pérgolas y terrazas, cumplen la función de proteger las fachadas y reducen la ganancia solar, siempre que se consideren los ángulos solares para su diseño.

1.4.8 EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética en la arquitectura se refiere al uso inteligente de los recursos. Al aprovechamiento máximo de aquellos que están disponibles en el entorno, y a la disminución de la dependencia de fuentes de energía no renovables.

Para lograr eficiencia, es necesario incorporar el concepto de sostenibilidad, lo cual significa lograr el equilibrio entre el ser humano y los recursos naturales, durante todas las etapas del ciclo de vida útil del edificio (planificación, diseño, construcción y ocupación). La sostenibilidad debe ser aplicada en la escogencia de materiales constructivos y en la demanda energética operativa, entre otros.

En edificios, el mayor consumo de energía es para los sistemas de climatización debido a que, en la mayoría de los casos, se carece de un diseño adaptado al clima.

> *"El mayor porcentaje de consumo energético en una edificación se produce a través de los sistemas de aire acondicionado y de iluminación. En oficinas, el consumo de energía generado por estos sistemas representa más del 60%. En consecuencia, las estrategias de eficiencia energética deben estar dirigidas en primer lugar a reducir el consumo en los equipos de aire acondicionado e iluminación"* (Sosa y Siem, 2004:8).

Cuando los edificios alcanzan un nivel de eficiencia tal que consumen únicamente energía de fuentes renovables provenientes del mismo edificio, se definen como *Edificios con energía neta cero*. Dicho de otra manera, necesita menos energía para funcionar, además de autoabastecerse con energías renovables. Es importante mencionar la necesidad de implementar pautas y estrategias de diseño bioclimático para lograr el confort higrotérmico, así como el uso de sistemas generación que aportan energía al edificio.

DeKay y Brown (2014) en su libro *Sun, wind & light. Architectural design strategies*, presentan un gráfico piramidal que explica la jerarquía de estrategias para el diseño de una edificación de energía neta cero. Cuando se resuelve de manera acertada los primeros tres peldaños de la pirámide, es posible prescindir completamente de siste-

mas activos de enfriamiento y calentamiento.

En el primer peldaño se ubica el diseño arquitectónico básico y conceptual. Consiste en los aspectos formales que aseguran el acceso a los recursos climáticos (el sol, el viento y la luz). Entre ellos están el emplazamiento, orientación, ubicación, forma, proporción, área, volumen, contexto y tejido urbano.

En el segundo peldaño se ubica la tecnología eficiente. Consiste en los aspectos relacionados con el entorno y las estrategias, para lograr el desempeño de la envolvente. Entre ellos están la ventilación, el grosor de los cerramientos, tipos de ventanas y vidrios, color de las superficies exteriores, sombreamiento y diferencias de temperatura interior-exterior.

En el tercer peldaño se ubica el diseño pasivo, el cual es posible a partir de los peldaños 1 y 2. Consiste en lograr el calentamiento solar pasivo, la iluminación natural y el enfriamiento pasivo por medio de ventilación cruzada, enfriamiento de masa nocturno, enfriamiento evaporativo, aperturas y materiales para doble piel.

El impacto ambiental y la cantidad de energía que demanda una edificación, están directamente relacionados con la toma de decisiones en estos tres peldaños. En estas escalas se determina el desempeño del diseño del edificio. Un mal planteamiento de estos recursos, interfiere negativamente en la adaptabilidad de las edificaciones.

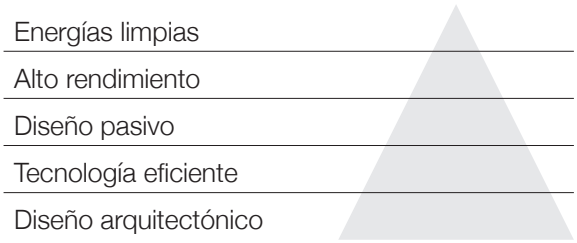


Figura 10. Jerarquía de estrategias para el diseño de edificaciones con energía neta cero. Elaboración propia con base en DeKay, M., Brown, G. (2014).

1.4.9 SOFTWARE DE SIMULACIÓN

Las herramientas de simulación se utilizan por lo general en etapas finales del proceso de diseño. La morfogénesis del desempeño como una teoría, produce la transición del paradigma de la creación de la forma (*form making*) a uno de la búsqueda de la forma (*form finding*), en donde se puedan integrar la geometría y la evaluación en las fases iniciales del proceso de diseño.

> *"En nuestro acercamiento el diseño es definido y caracterizado por la aplicación de simulaciones digitales hechas con fuerzas externas que lleven a la transformación de la forma."* (Oxman, R. 2008:10)

Los software de simulación digital en la práctica arquitectónica, contienen tres elementos que en su integración aportan al diseño como proceso:

- El modelo geométrico está formulado de tal forma que es capaz de transformarse de acuerdo a la implementación de procesos de evaluación.
- Los procesos evaluativos pueden ser integrados con el modelo geométrico y así proponer modificaciones en la geometría.

Pueden ser evaluaciones de un criterio (desempeño estructural, carga solar, desempeño acústico) o de varios criterios incluyendo desempeños múltiples y factores de optimización.

- El sistema permite que sea el diseñador el moderador de varios procesos involucrados y presenta modelos algorítmicos para la creación de las formas. De esta manera, se busca un método en el cual el desempeño del edificio se convierte en la guía del diseño.

Esta teoría promueve la utilización de simulaciones, a partir de las cuales se modifica la geometría y materialidad, con el objetivo de optimizar el funcionamiento. Algunas herramientas de simulación climática y de energía son:

Autodesk Ecotect Analysis. Es un software que permite al diseñador analizar el entorno climático de una edificación desde etapas tempranas de diseño.

El programa cuenta con herramientas que ayudan al usuario a comprender la energía que se va a utilizar en su edificación desde las etapas tempranas del diseño y el impacto que ésta puede llegar a tener en su entorno una vez construida.

El software utiliza la información específica climática de un sitio tal así como la velocidad y dirección predominante del viento, humedad relativa, temperaturas máximas y mínimas, precipitación, brillo solar, la cual cuenta con la facilidad que puede ser delimitada por el usuario en períodos de tiempo determinados (días, meses, años).

El software permite simular el entorno, visualizar y analizar luz diurna, radiación solar, diagramas del movimiento solar, sombras y grillas de iluminación, entre otros. Lo que permite tener una mayor comprensión del funcionamiento y comportamiento térmico del edificio en relación al contexto.

The Weather Tool. Es una herramienta dentro de Ecotect que permite la visualización y análisis de datos climáticos horarios. Ésta reconoce una variedad de archivos de clima, al igual que permite introducir los datos específicos. Como resultado, ofrece gran cantidad de gráficos de análisis climá-

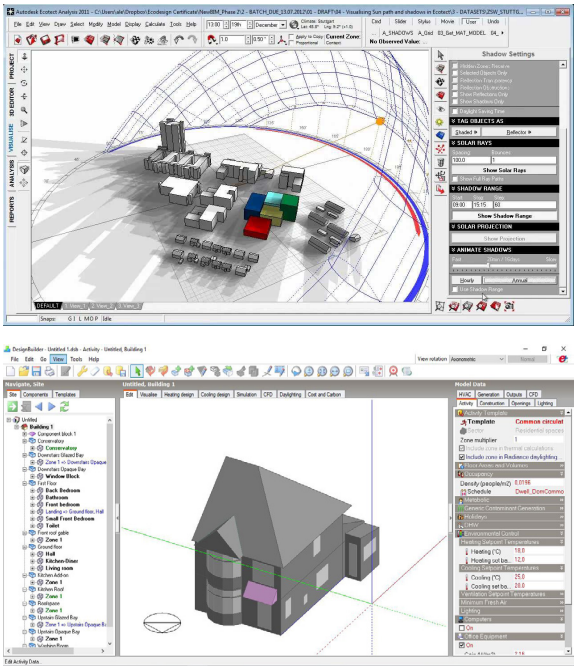


Figura 11. Software de simulación Ecotect (arriba). Tomado de Autodesk Sustainability Workshop (2012). Recuperado de http://www.youtube.com/watch?- v=pkcWGmznjQc

Figura 12. Software de simulación Design Builder (abajo). Tomado de House example 1, Design Builder (2015).

tico en 2D y 3D como cartas estereográficas, diagramas de viento, entre otros.

Design Builder. Es un software especializado en la simulación ambiental y energética de edificios. Funciona como interface para el motor de cálculo EnergyPlus, el cual es considerado como uno de los motores más estables y confiables en el campo de simulaciones energéticas.

Mediante su uso es posible visualizar el sombreamiento y explorar todo tipo de estrategias pasivas para maximizar el confort y reducir las emisiones del edificio. Permite evaluar parámetros de desempeño, relacionados con niveles de confort, balance térmico de los materiales, consumo y emisiones de CO2, simular los sistemas del edificio, como el aire acondicionado, entre otros.

DesignBuilder evalúa la eficiencia energética durante el proceso de diseño, puede ser utilizado en cualquier etapa desde la conceptual hasta etapas finales de revisión del proyecto, así como también en el análisis de edificaciones construidas, introduciendo las variables presentes en el contexto.

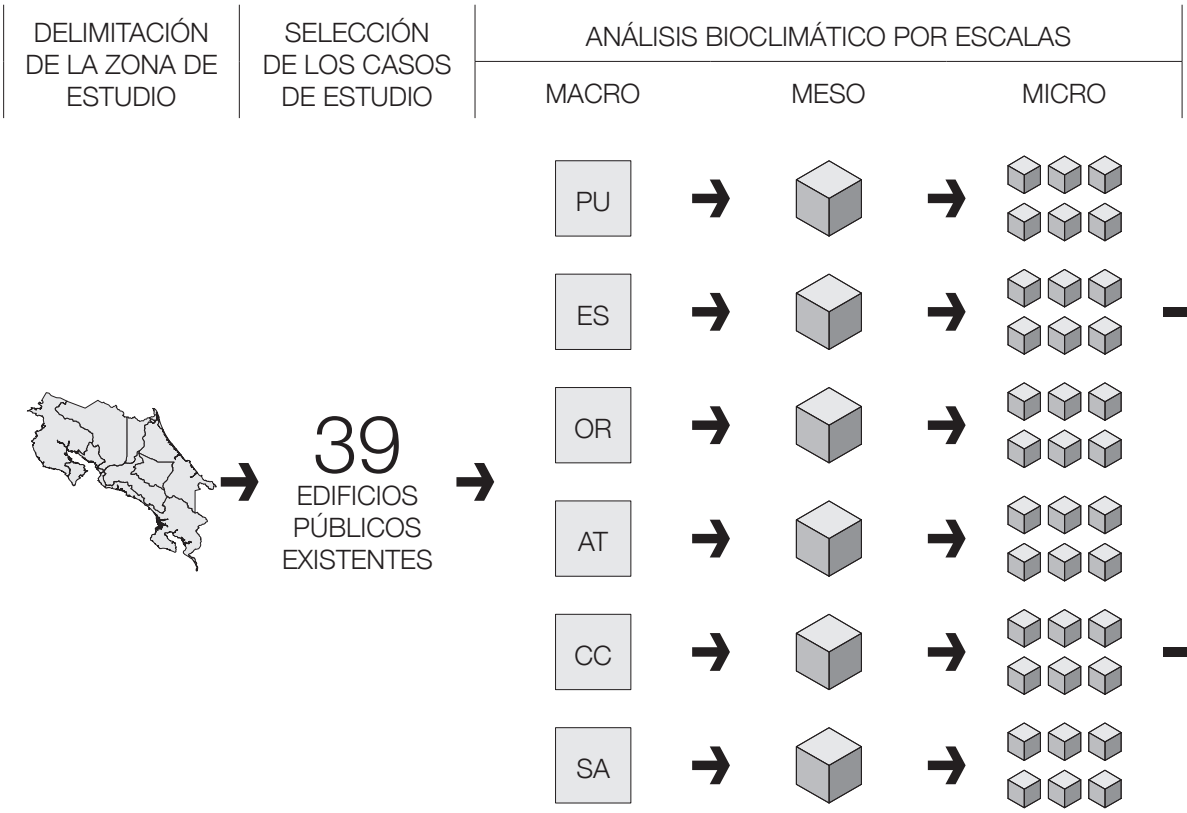
Además, se pueden realizar análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD), que se refiere a sistemas computacionales utilizados para calcular temperatura, velocidad, entre otras propiedades de los fluidos en un espacio, y permite predecir el flujo del aire y la distribución de temperaturas dentro y alrededor de las edificaciones.

1.5 MARCO METODOLÓGICO

En la investigación se utiliza una metodología fundamentada en la teoría del diseño basado en el desempeño. Esta parte del análisis y optimización de un edificio, por medio de la alteración de variables, mediante el uso de software de simulación para representar las condiciones reales que inciden en el comportamiento del edificio. A continuación se describen las etapas, actividades y herramientas necesarias para el desarrollo de la investigación.

	DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	SELECCIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO	ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO POR ESCALAS		
			MACRO	MESO	MICRO
ACTIVIDADES	. Analizar información sobre los temas de interés. . Seleccionar las zonas de estudio según el cruce de información recopilada.	. Analizar información geográfica y climática sobre los sitios de interés. . Realizar una visita de reconocimiento. . Determinar los criterios de selección de los casos a estudiar. . Elaborar un cuadro comparativo para la selección de los edificios.	. Analizar el contexto geográfico (topografía, vegetación y masas de agua cercanas). . Analizar el contexto climático (brillo solar, radiación, temperatura, precipitación, humedad y vientos). . Definir la zona de confort para cada caso.	. Realizar un levantamiento de los edificios y su entorno. . Determinar el uso de materiales y aberturas por fachada. . Elaborar los archivos climáticos con datos horarios para cada zona. . Analizar la radiación incidente, el movimiento solar y del aire, sobre cada edificio.	. Realizar mediciones de datos climáticos en cada uno de los casos de estudio. . Procesar los datos obtenidos mediante gráficos y tablas comparativas. . Identificar las horas de confort y disconfort, y su relación con las condiciones del edificio.
HERRAMIENTAS	. Lecturas . Hojas de cálculo (Excel) . Mapas	. Datos climáticos (IMN) . Mapas . Cuadro comparativo	. Cortes topográficos (Google Earth) . Resúmenes climáticos (IMN) . Climograma de columnas . Climograma de bienestar adaptado (CBA) . Gráfico de isopletas	. Dibujo (Autocad) . Modelos 3D (Sketch up, Rhino) . Archivo climático (Excel, Weather Tool) . Simulación de sombras (Ecotect) . Simulación de vientos (Ecotect) . Cálculos de radiación (Ecotect)	. HOBO U12 Datta Loggers . Hoboware . Gráficos (Excel) . Hojas de cálculo (Excel) . Índice de Fanger (PMV, PPD)

SELECCIÓN DE LOS CASOS A SIMULAR	GENERACIÓN ARCHIVO CLIMÁTICO 2080	MODELADO Y CALIBRACIÓN	SIMULACIÓN Y ADAPTACIÓN	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	
. Determinar los criterios de selección de los casos a simular. . Elaborar un cuadro comparativo con las características principales de todos los casos. . Identificar conclusiones de cada una de las etapas de análisis. . Valorar cada caso según los criterios definidos.	. Elaborar un archivo climático con datos históricos del IMN. . Desagregar los datos del CIGEFI, siguiendo la tendencia de los datos del IMN. . Elaborar un archivo climático con datos horarios del 2080. . Analizar los cambios observados entre ambos archivos climáticos.	. Generar un modelo 3D, con el archivo climático 2015. . Comparar la simulación con las mediciones prolongadas realizadas en la etapa de análisis. . Realizar las modificaciones necesarias para que el comportamiento del modelo digital, sea acorde con el comportamiento monitoreado.	. Simular con el archivo climático 2080, en el modelo 3D calibrado. . Determinar cuáles son las variables a modificar para alcanzar condiciones de confort. . Realizar las modificaciones y analizar los resultados, hasta obtener el comportamiento deseado.	. Comparar las modificaciones y resultados obtenidos en cada caso. . Definir conclusiones.	ACTIVIDADES
. Cuadro comparativo	. Datos climáticos Santa Ana 2009-2016 (IMN, CIGEFI) . Datos climáticos Puntarenas 2001-2015 (IMN, CIGEFI) . Proyección de datos al 2080 (CIGEFI) . Hojas de cálculo (Excel)	. Design Builder . Gráficos (Design Builder, Excel) . Hojas de cálculo (Excel)	. Dibujo (Autocad) . Modelos 3D (Sketch up) . Design Builder . Hojas de cálculo (Excel)	. Design Builder . Gráficos (Design Builder, Excel) . Hojas de cálculo (Excel)	HERRAMIENTAS

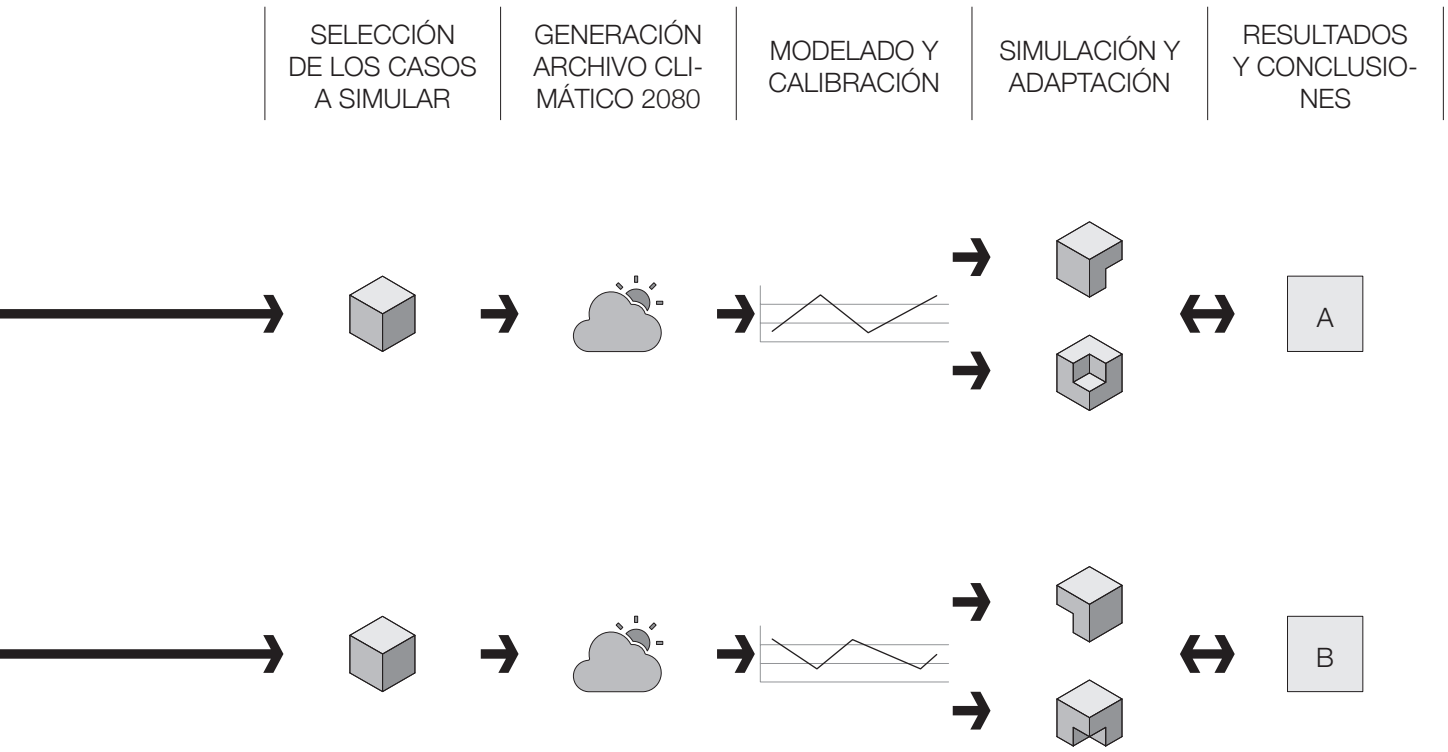


Delimitación de la zona de estudio. Mediante el cruce de información sobre la afectación de las Zonas de Vida del país ante el Cambio Climático, los focos de concentración demográfica, y los principales ejes de crecimiento económico regional.

Selección de los casos de estudio. Tras el levantamiento de posibles casos de interés, que se discriminan a partir de criterios de ubicación, carácter e identidad en el sitio, población y temporalidad, estrategias o problemas visibles de confort, así como una proyección de vida útil consecuente con la proyección de escenarios futuros.

Análisis bioclimático por escalas. La macro escala consiste en el análisis de las condiciones geográficas y climáticas para cada sector donde se ubican los casos de estudio seleccionados. Determinando así los rangos de confort higrotérmico y los factores que determinan esas condiciones.

La meso escala estudia la relación del edificio con su entorno inmediato. En esta escala se determinan las particularidades del contexto y vegetación cercanos, así como configuración y sistema constructivo. También se elabora un archivo climático con datos horarios del Instituto Meteorológico Nacional (IMN), para simular la incidencia del soleamiento, radiación y vientos, sobre las fachadas.



La micro escala se centra en la comparación del interior con respecto al exterior, con el fin de evaluar el desempeño de la envolvente en cada caso. Inicialmente se evalúa un día tipo en el interior del edificio, en condiciones de ocupación y desocupación. Seguidamente se evalúan individualmente los espacios seleccionados. Para ello se realizan mediciones prolongadas de datos climáticos, por medio de la instalación de data loggers.

Selección de los casos a simular. A partir del análisis, se elabora un cuadro comparativo de todos los casos de estudio, en el cual se sintetizan las características más importantes por escala. Esto con el fin de seleccionar los casos óptimos para la simulación de escenarios futuros.

Generación del archivo climático 2080. Para simular en condiciones previstas de Cambio Climático, se trabaja con datos históricos del IMN, y con datos de proyecciones generadas por el Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI).

Debido a que los datos proporcionados por CIGEFI, son diarios, estos se deben desagregar en datos horarios. Para ello se analiza la tendencia de los datos históricos del IMN. El resultado de esta etapa es un archivo climático con datos horarios para el 2080, de cada sector seleccionado. Finalmente, se realiza un breve análisis comparati-

vo del escenario actual y el proyectado.

Modelado y calibración. En esta etapa se elabora un modelo 3D, en el cual se definen las zonas térmicas existentes. Se introducen las características del estado real del edificio (materiales, características y actividad de los ocupantes, temporalidad de uso, equipos, etc.), y el archivo climático 2015.

Posteriormente se debe calibrar el modelo, mediante la confrontación de la curva de aire interna arrojada por la simulación, con la registrada en las mediciones prolongadas. Se deben modificar las características que permitan equiparar el modelo digital con la realidad, lo que valida la precisión de los resultados que se obtengan posteriormente.

Simulación y adaptación. A partir de la calibración del modelo, se procede a simular con el archivo climático 2080, con el fin de identificar los problemas de confort y las variables que deben ser modificadas. En esta etapa se trabaja con dos propuestas de adaptación para cada caso simulado.

La primera propuesta consiste en modificaciones moderadas para mejorar el confort, que se pueden aplicar al edificio en su condición actual, pero en el escenario 2080. La segunda propuesta consiste en un rediseño total del edificio, para mejorar el confort por medio de estrategias de arquitectura bioclimática.

Resultados y conclusiones. A partir de los resultados, es posible definir las variables que modifican positivamente el comportamiento térmico de cada caso. Esto sienta un precedente sobre lo que representa el Cambio Climático para el bienestar de las personas, y cómo se debe repensar la forma de diseñar arquitectura.

1.6 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El cambio climático es irreversible y representa una amenaza para la totalidad del territorio nacional. Sin embargo, se identifican zonas más afectadas que otras debido a factores entre los cuales sobresale la actividad humana. En la selección del área de estudio se desarrolla un análisis territorial a partir de tres ámbitos de información: ecológico, económico regional y demográfico.

El ámbito ecológico está relacionado con el desplazamiento de las Zonas de Vida producto del cambio climático. El económico regional tiene que ver con los planes de desarrollo del país. Y el demográfico se refiere a las proyecciones de concentración de crecimiento demográfico en los próximos años según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). La sobreposición de estas tres capas de información tiene como resultado la delimitación del área de interés para la investigación.

El desplazamiento de las Zonas de Vida en Costa Rica ha sido desarrollado y proyectado en la investigación elaborada por Jiménez, M. (2009) del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Según Jiménez, en los escenarios proyectados para el año 2020, el bosque seco tropical (bs-T) duplicará su tamaño con respecto al año 2010, y el bosque muy húmedo tropical (bmh-T) se reducirá a la región extremo Norte de la provincia de Limón y otras pequeñas regiones alrededor del Golfo Dulce en el Pacífico Sur. Por otra parte, se estima que el páramo plu-

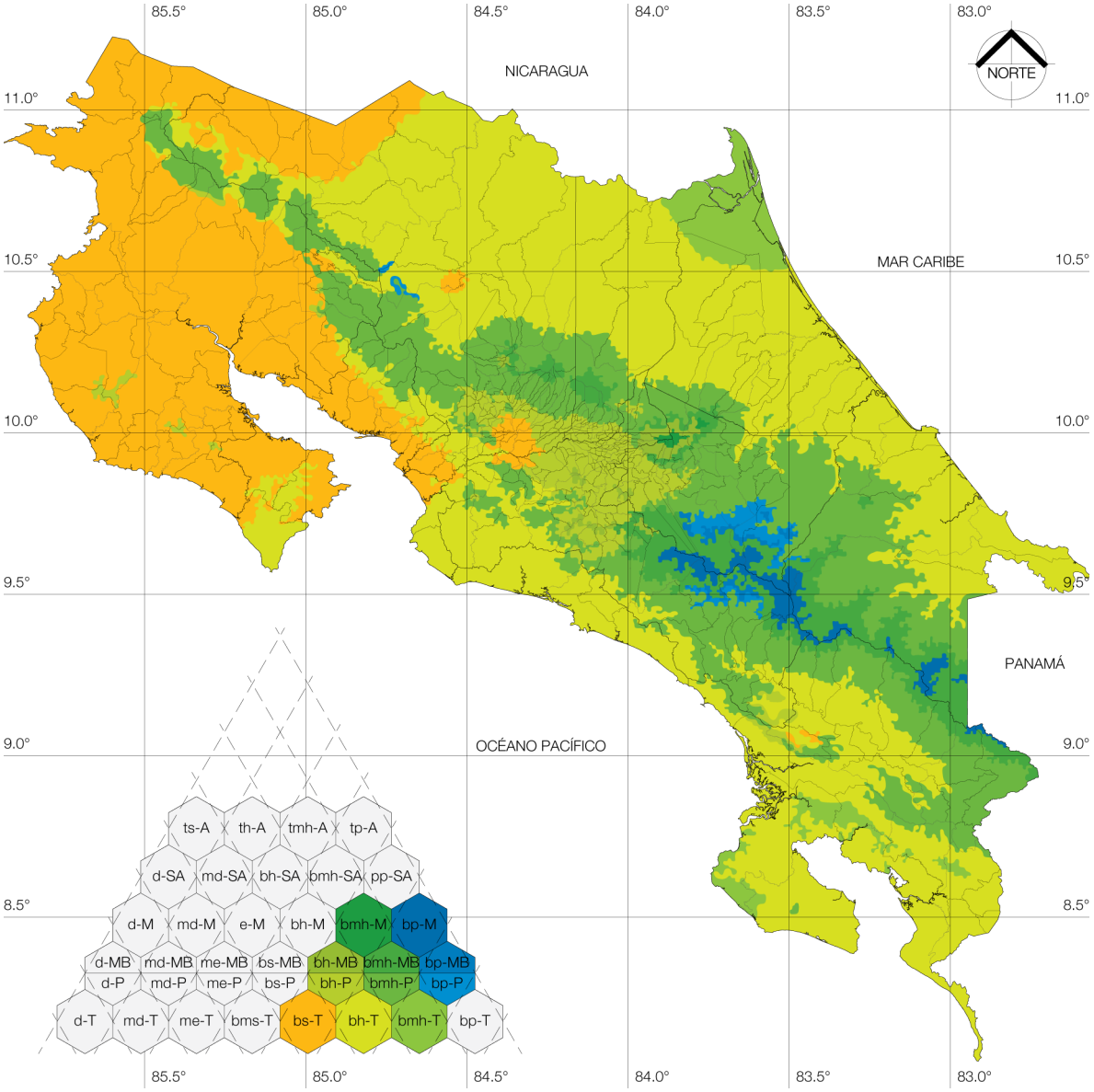


Figura 13. Mapa de Zonas de Vida proyectadas para el 2020, según escenario de emisiones A2. Elaboración propia con base en mapas de Jiménez, M. (2009).

vial subalpino (pp-SA) desaparecerá y será absorbido por el bosque pluvial montano bajo (bp-MB).

Los cambios en las Zonas de Vida proyectados por Jiménez resultan preocupantes, principalmente al analizar en detalle la región central del país. Esta experimentará una importante alteración climática conforme avance el siglo presente. La Zona de Vida bosque muy seco tropical (bms-T), abarcará en 2080 gran parte de la provincia de Guanacaste, y se extenderá hacia la franja costera en la que se ubican la ciudad de Puntarenas y el puerto de Caldera, adentrándose hacia las ciuda-

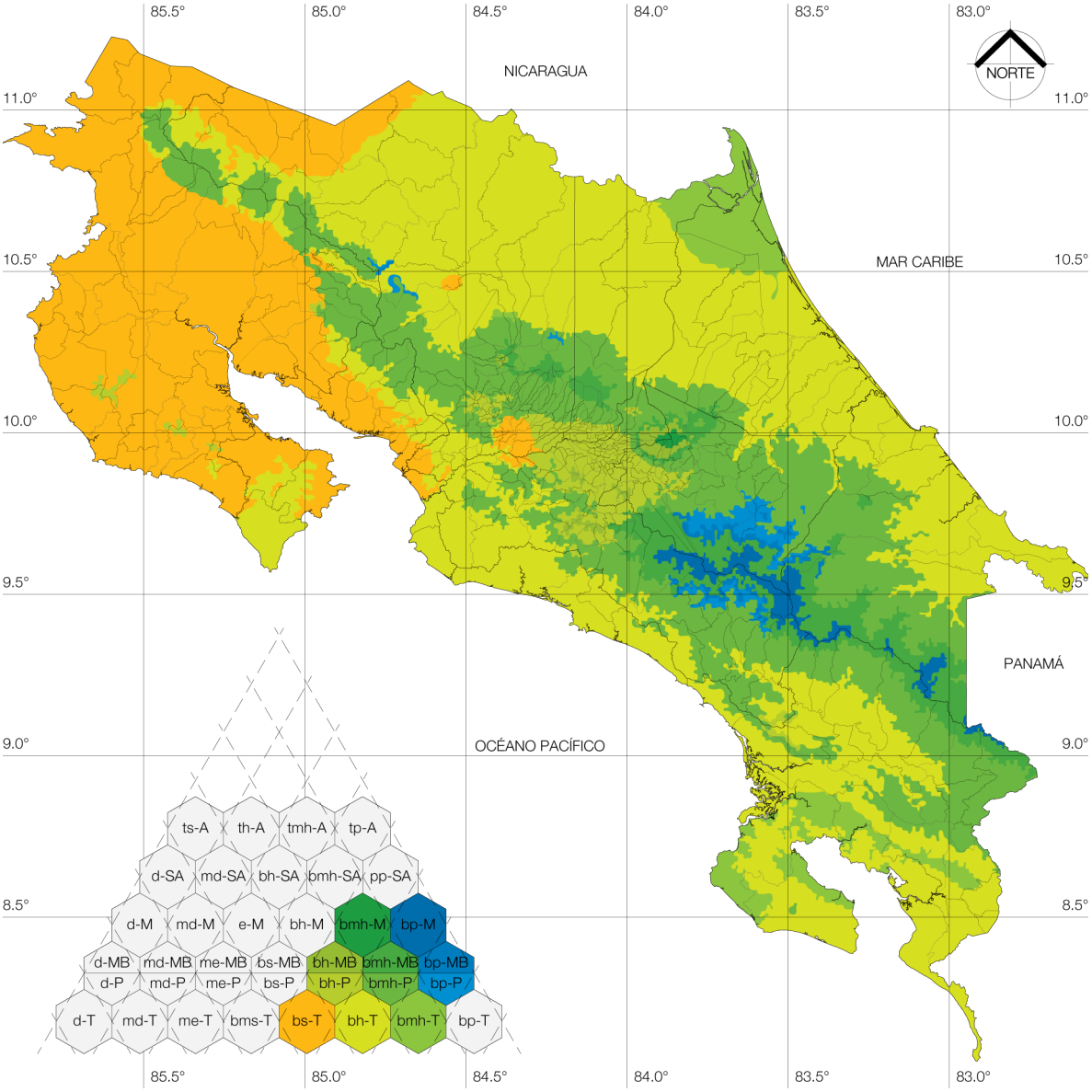


Figura 14. Mapa de Zonas de Vida proyectadas para el 2020, según escenario de emisiones B2. Elaboración propia con base en mapas de Jiménez, M. (2009).

des de Escazú y Santa Ana, que en el presente concentran grandes desarrollos habitacionales y productivos. El bosque seco tropical (bs-T) se desplazará e incrementará su extensión hasta las ciudades de Esparza, Orotina, Atenas, Alajuela y Ciudad Colón. Estos cambios implican aumentos considerables de temperatura y una disminución significativa en la cantidad de precipitación.

En el ámbito económico regional, debido al agotamiento de espacio y recursos que actualmente experimenta el Gran Área Metropolitana (GAM), el país está apostando su desarrollo futu-

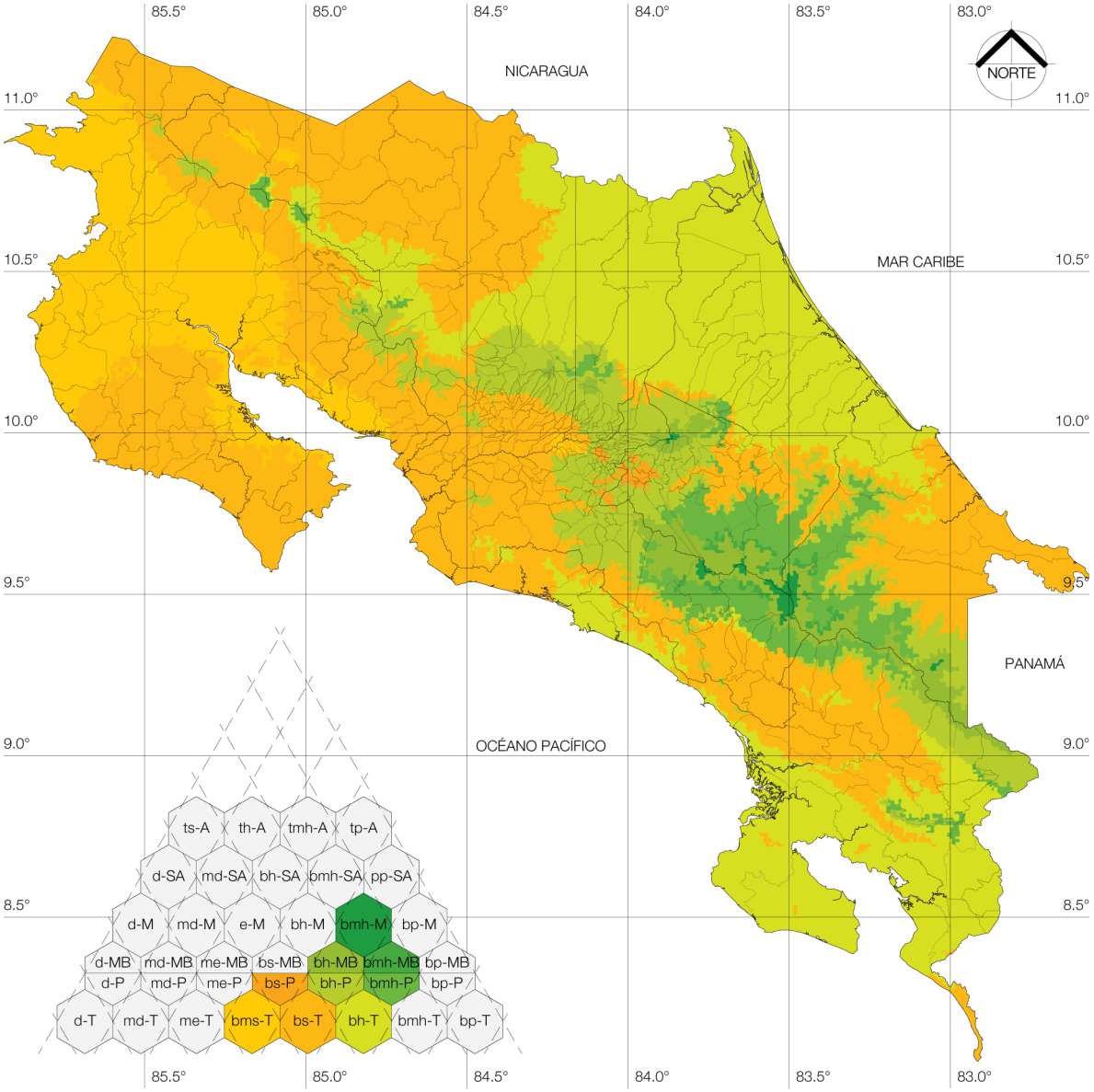


Figura 15. Mapa de Zonas de Vida proyectadas para el 2080, según escenario de emisiones A2. Elaboración propia con base en mapas de Jiménez, M. (2009).

ro y crecimiento socio-productivo hacia los puertos de Caldera y Moín, por medio de la creación de Zonas Económicas Especiales de desarrollo (ZEED) (Arias et al., 2015:91).

"La dinámica económica y productiva de Costa Rica ha estado concentrada y centralizada en el GAM. Los altos niveles de aglomeración de las actividades productivas, institucionales y administrativas han convertido al GAM en la zona económica de desarrollo más importante del país. Esto se confirma

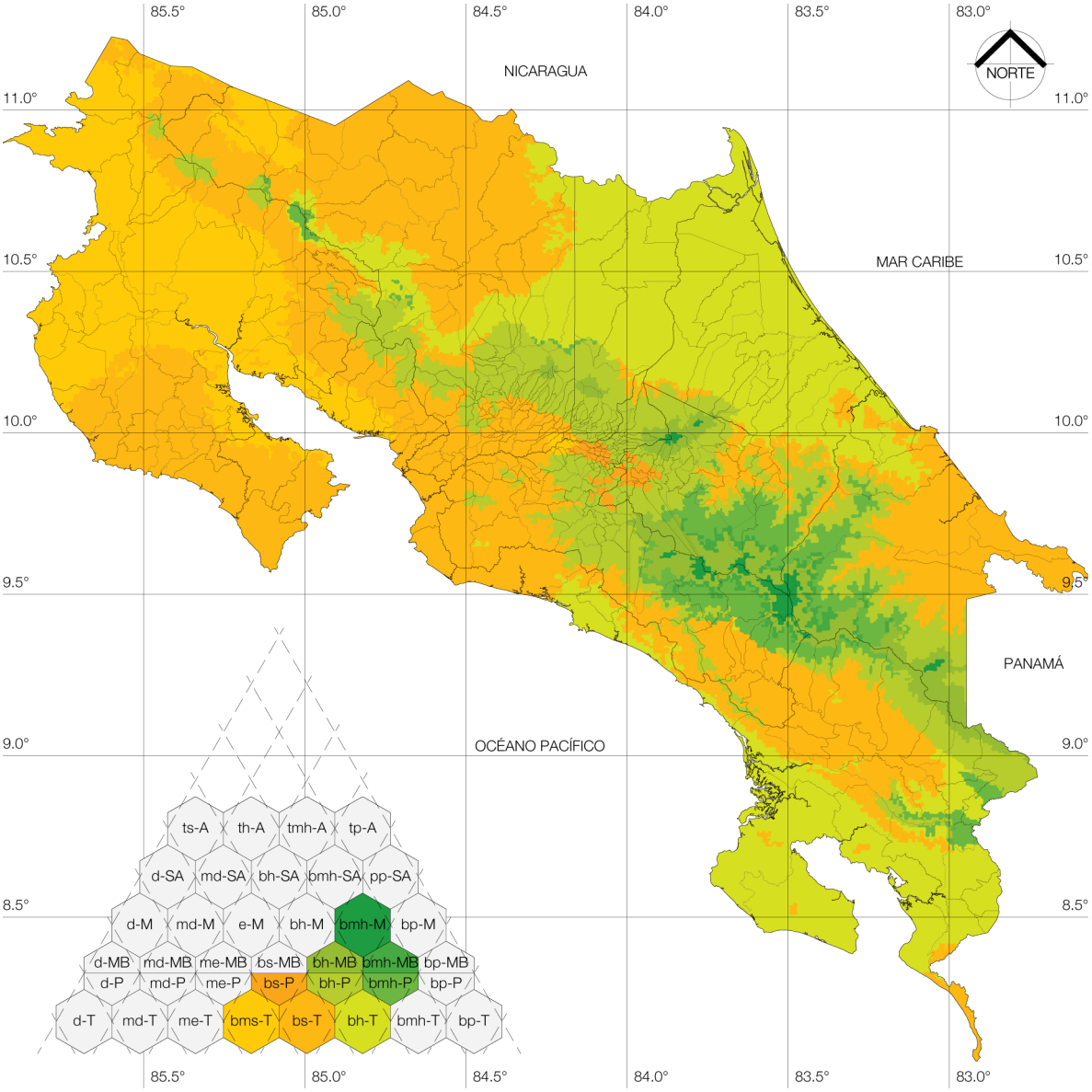


Figura 16. Mapa de Zonas de Vida proyectadas para el 2080, según escenario de emisiones B2. Elaboración propia con base en mapas de Jiménez, M. (2009).

en la dinámica de sectores productivos, especialmente secundario y terciario, como en el desarrollo del aparato político-administrativo, con una presencia preponderante en el GAM. Como consecuencia de lo anterior, se ha dado un uso intensivo y poco planificado del territorio y del uso del suelo, tanto para promover las actividades productivas, especialmente del sector industrial, como también para albergar una población en continuo crecimiento." (Arias et

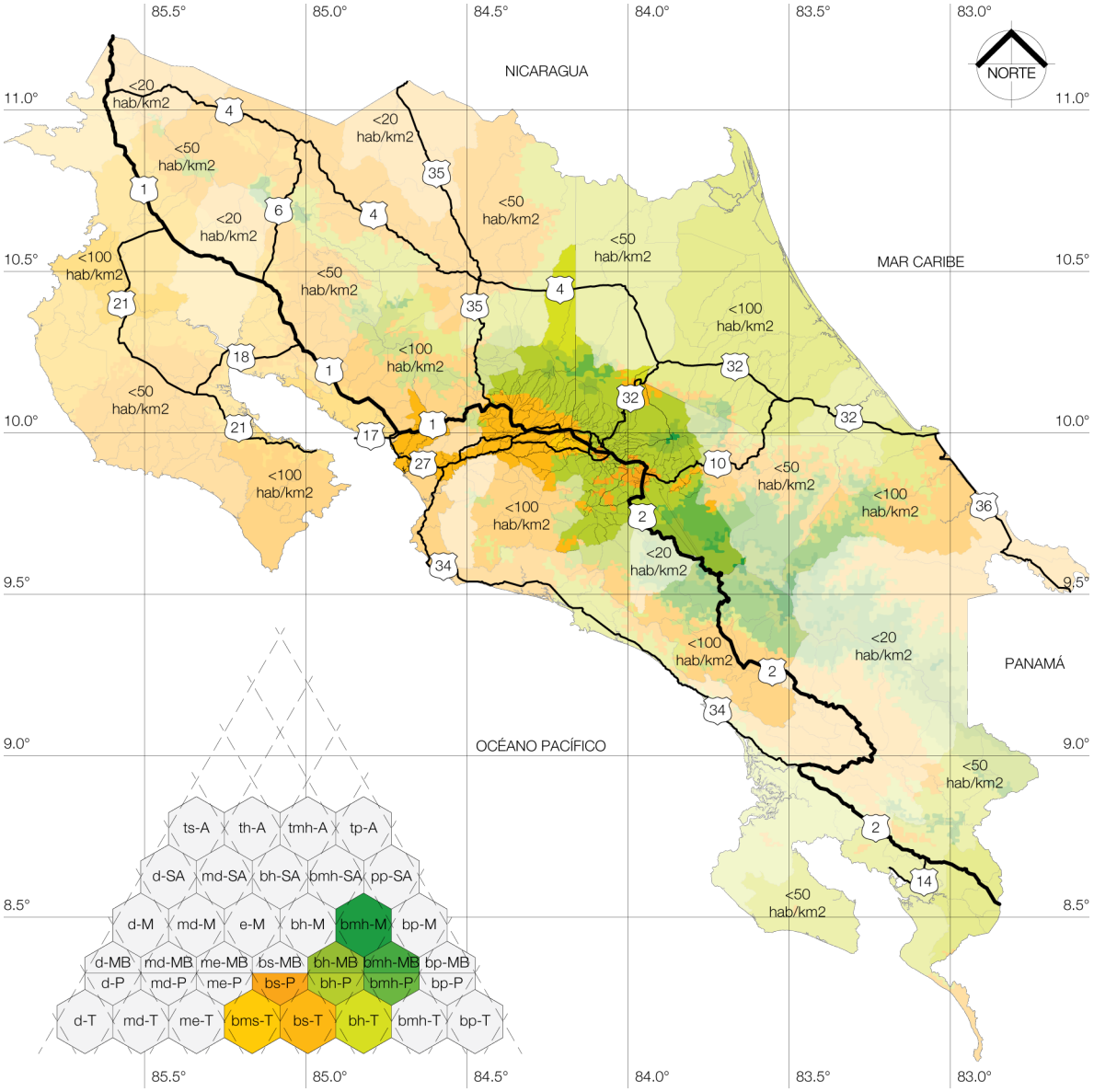


Figura 17. Mapa de delimitación del área de estudio. Elaboración propia con base en mapas de Jiménez, M. (2009), INEC (2011) y MOPT (2017).

al., 2015:90).

En consecuencia, actualmente el GAM se encuentra en un estado de saturación de espacio y recursos, y por la falta de control presenta problemas en su capacidad de sostener más crecimiento poblacional. En los últimos años la mancha urbana se ha extendido fuera de orden, ocasionando una importante degradación ambiental y escasez de recursos básicos como el agua.

Según Arias y Villalta (2009), se proyecta un desarrollo de la inversión privada y los sectores económicos de la zona del Pacífico Central, lo cual traerá a las economías locales lo que denominan un efecto multiplicador. Este desarrollo es atribuido en gran manera al impacto del eje vial de la Ruta 27 San José-Caldera y a la construcción de obras, como la ampliación del muelle. El puerto de Caldera tomará un papel protagónico en el desarrollo del país, marcado por un incremento económico considerable. Este desarrollo impulsará en gran medida al sector industrial y llevará no solo a la creación de importantes parques industriales, sino también mejoras en infraestructura, servicios básicos y mano de obra. Dicho eje conecta el GAM con el Pacífico Central a lo largo de la Ruta 27 es lo que se ha denominado Corredor Productivo San José-Puntarenas.

Este desarrollo alcanzará y potenciará otros lugares ubicados en medio de los polos San José y Caldera, como es el caso de Orotina. En su investigación Arias et al. (2015) afirma que Orotina, gracias a su estratégica ubicación, podría tomar el papel de articulador de desarrollo productivo del GAM con otros territorios ya sea cercanos o conectados por el eje vial de la ruta 27.

En el ámbito demográfico, el desarrollo del Corredor Productivo San José-Puntarenas trae consigo transformaciones. Las proyecciones de crecimiento demográfico que ha desarrollado el INEC a nivel de cantones suponen migraciones importantes de población, así como el crecimiento poblacional y el surgimiento de nuevos centros urbanos.

Particularmente en el corredor San José-Puntarenas, se estiman crecimientos considerables en los principales centros de población dentro de la zona de estudio en el periodo que comprenden los años 2011 a 2025. Por ejemplo, el cantón de Santa Ana pasa de 53189 habitantes para el año 2011 a 63834 en 2025, lo que significa un incremento del 20% de la población actual. En caso del cantón de Puntarenas, pasa de 122535 en el año 2011 a 149287 en el 2025, un crecimiento equivalente al 22% de la población actual.

Producto de lo anterior, se define el área denominada Corredor Productivo San José-Puntare-

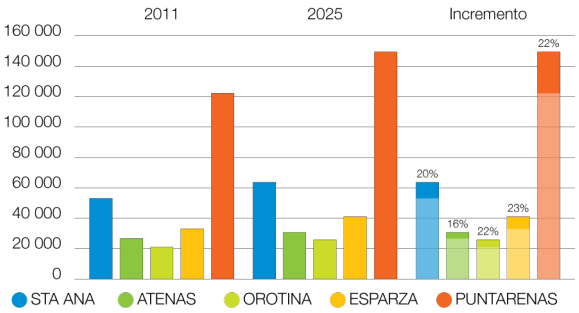


Figura 18. Proyección de crecimiento poblacional en las localidades citadas. Elaboración propia con base en información de INEC (2011).

nas como delimitación geográfica para la presente investigación. Ésta franja de territorio representa una muestra significativa de los cambios en las Zonas de Vida, en los asentamientos poblacionales y en los planes de desarrollo futuros. Se determina la importancia de concentrar la investigación en este territorio como una de las zonas con potencial productivo para desconcentrar el GAM. El Corredor Productivo San José-Puntarenas abarca desde la parte occidental del Gran Área Metropolitana, hasta la costa del Pacífico Central (Puntarenas, Caldera y Garabito), a lo largo de la Ruta 27 como principal eje de conexión.

De los asentamientos humanos ubicados en el corredor, las ciudades de Santa Ana, Ciudad Colón, Atenas, Orotina, Esparza y Puntarenas son las que, de acuerdo a datos del INEC, experimentarán mayor crecimiento urbano y económico en el futuro, y adicionalmente, según los desplazamientos de Zonas de Vida sufrirían más transformación. Las primeras tres pertenecen al piso premontano, y las otras tres al piso basal.

En resumen, se elige esta área porque:

- Experimentará grandes desplazamientos y aparición de dos Zonas de Vida nuevas.
- Según Arias y Villalta (2009), alcanzará y potenciará desarrollo en los centros de población ubicados en medio de los polos San José-Caldera, a partir de proyectos que ya se han venido concretando (la construcción de la ruta 27, la ampliación del muelle de Caldera y el nuevo aeropuerto de Orotina).
- Según proyecciones del INEC, presentará notables crecimientos demográficos hacia 2025.

	2010	2020-A2	2020-B2	2080-A2	2080-B2
PUNTARENAS	bs-T	bs-T	bs-T	bms-T	bms-T
ESPARZA	bh-T	bs-T	bs-T	bs-T	bs-T
OROTINA	bh-T	bh-T	bh-T	bs-T	bs-T
ATENAS	bmh-P	bs-T	bs-T	bs-T	bs-T
CIUDAD COLÓN	bmh-P	bh-P	bh-P	bs-T	bs-T
SANTA ANA	bh-P	bh-P	bh-P	bs-T	bs-P

Figura 19. Síntesis del desplazamiento de las Zonas de Vida en los asentamientos seleccionados. Elaboración propia con base en datos de Jiménez, M. (2009).

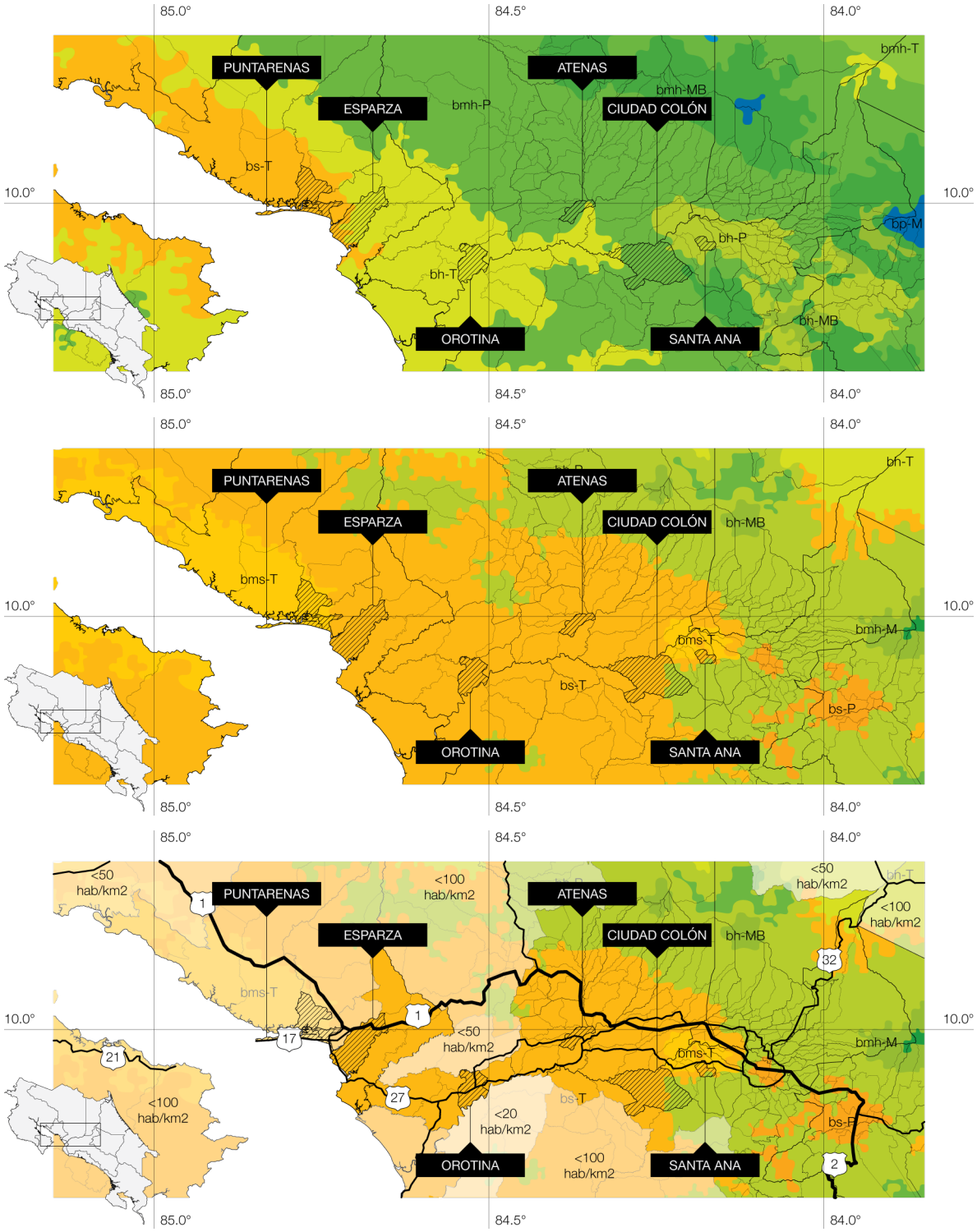


Figura 20. Mapas de delimitación del área de estudio. Arriba, Zonas de Vida 2010 y 2080-A2. Elaboración propia con base en mapas de Jiménez, M. (2009), INEC (2011) y MOPT (2017).

1.7 SELECCIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO

Una vez delimitada el área de interés, se procede a realizar una búsqueda de los posibles casos de estudio. Para ello se consideran edificaciones públicas en los centros de población seleccionados, y se evalúan mediante recolección de datos, visitas de campo y registro fotográfico. Esta etapa consiste principalmente en el reconocimiento de las localidades y de su equipamiento, a fin de conformar una preselección de edificaciones de interés para la investigación.

Los resultados se evalúan por medio de una matriz de comparación; asignando a cada edificio un puntaje según los criterios de selección definidos con el fin de discriminar los que permitan un mayor alcance para la investigación. Para ello se consideran los siguientes criterios:

Ubicación. Localización céntrica con respecto a la cabecera de cantón, donde convergen elementos como jerarquía en la trama urbana, importancia para la población, visibilidad y alta concurrencia.

Carácter. Para efectos de la investigación interesan principalmente instituciones públicas de enseñanza superior, salud, cultura, deporte o político-administrativas. De modo que se proyectan como principales focos de interés, escuelas o colegios, complejos deportivos, municipalidades, centros de salud, entre otros.

Identidad. Carga simbólica dentro del imaginario colectivo. Referentes de la identidad local, considerados como hito y relevantes para la población en general. Esto con la finalidad que las intervenciones alcancen a la mayor cantidad de población posible.

UBICACIÓN	
Lejos de la cabecera de cantón	0
Cerca de la cabecera de cantón	1
En la cabecera de cantón	2
CARÁCTER	
Enseñanza general básica	0
Político administrativo	1
Enseñanza superior, salud, cultura	2
IDENTIDAD	
Poco relevante en el cantón	0
Relevancia media dentro del cantón	1
Hito importante en el cantón	2
POBLACIÓN	
Menos de 1000 usuarios	0
De 1000 a 5000 usuarios	1
Más de 5000 usuarios	2
TEMPORALIDAD	
Media jornada	0
Jornada completa	1
Doble jornada	2

VIDA ÚTIL	
Más de 40 años de construido	0
De 20 a 40 años de construido	1
Menos de 20 años de construido	2
CONFORT	
Con estrategias visibles de confort	0
Sin problemas visibles de confort	1
Con problemas visibles de confort	2
CONFIGURACIÓN	
Más de 2 bloques	0
2 bloques	1
1 sólo bloque	2
ÁREA	
Menos de 500 m2	0
De 500 a 1000 m2	1
Más de 1000 m2	2
NIVELES	
1 nivel	0
2 niveles	1
3 niveles	2

Figura 21. Valoración de criterios de selección para los posibles casos de estudio. Elaboración propia.

Población. El alcance de la población a la cual se brinda servicio. A mayor cantidad de usuarios, mayor es la importancia del edificio para las comunidades, y mayor es el impacto o resultado al propiciar espacio público de calidad por medio del confort higrotérmico.

Temporalidad. Uso constante, durante una o más jornadas. Factor determinante ya que la meta es evaluar e implementar estrategias que propicien el confort en las diferentes horas del día y épocas del año.

Vida útil. Menos de 40 años de construcción. Ya que la investigación se proyecta hacia el futuro, y carece de sentido adaptar edificaciones cuya vida útil está por concluir. Sin embargo, en algunas localidades se consideran casos de remodelaciones recientes, donde la vida útil del edificio se ve prolongada.

Confort. Problemas visibles de confort, los cuales se evidencian por el uso desmedido de aires acondicionados y elementos improvisados. Las edificaciones que no presentan condiciones de confort óptimas, no son energéticamente eficientes. Debido en su mayoría a los sistemas que utilizan para tratar de alcanzar el confort, los cuales consumen más energía y recursos.

Volumen de aire. Movimiento del aire a través de los espacios o compartimentación. Dado que no es posible determinar el volumen de aire de las edificaciones sin un levantamiento, se evalúa por medio medio de tres factores: configuración (relación e integración de volúmenes), área y niveles. Los cuales, adicionalmente, proporcionan alta complejidad en tamaño y funciones a la propuesta de investigación.

A cada criterio se les asigna un puntaje de 0 a 2. Siendo 0 una característica menos deseada, y 2 una condición de alto valor para un potencial caso de estudio. De este modo se seleccionan los edificios valorados con mayor puntaje, quedando al menos un edificio representativo por cada sector de estudio.

Para los casos con mayor puntuación, se elabora una ficha técnica con mayor detalle. En los casos en donde sobresalen dos o más edificaciones, se selecciona según la preferencia en cuanto a los criterios asignados, la disponibilidad de las instituciones y sus encargados.

Finalmente, las edificaciones seleccionadas son el Ministerio de Salud de Chacarita en Puntarenas, el Palacio Municipal de Esparza, el Palacio Municipal de Orotina, la Escuela Central de Atenas, el Área de Salud Mora-Palmichal en Ciudad Colón, y la escuela Municipal de Artes Integradas en Santa Ana.

	UBICACIÓN	CARÁCTER	IDENTIDAD	POBLACIÓN	TEMPORALIDAD	VIDA ÚTIL	CONFORT	CONFIGURACIÓN	ÁREA	NIVELES	TOTAL
PUNTARENAS											
Clínica Dr. Francisco Quintana Salinas	0	2	1	2	1	2	2	2	2	0	14
Estación de Biología Marina	2	2	1	0	1	1	2	2	1	0	12
Instituto Nacional de Aprendizaje	0	1	1	2	2	2	1	0	2	1	12
Instituto Nacional de Seguros	2	1	0	0	1	1	1	2	0	0	8
Liceo José Martí	2	0	2	2	1	0	2	0	2	0	11
Mercado Central	2	2	2	1	1	0	2	2	1	0	13
Ministerio de Hacienda	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	16
Ministerio de Salud	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	16
Museo de Historia	2	2	2	1	1	0	2	1	2	1	14
Residencias UCR	2	0	1	0	2	2	1	2	2	2	14
Sede UCR	2	2	2	2	1	2	1	0	2	0	14
Tribunales de Justicia	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	17
ESPARZA											
Casa de la Cultura	2	2	1	1	1	0	2	2	0	0	11
Edificio de Correos	2	1	1	1	1	1	2	2	0	0	11
Escuela Arturo Torres	2	0	2	2	2	1	2	2	2	2	17
Mercado Central	2	2	2	2	1	0	2	1	2	0	14
Palacio Municipal de Esparza	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	18
OROTINA											
EBAIS Orotina	2	2	0	2	1	1	0	1	0	1	10
Instituto Nacional de Aprendizaje	2	2	2	2	2	1	1	2	2	0	16
Palacio Municipal de Orotina	2	1	2	2	1	1	1	2	2	1	15

Figura 22. Matriz de valoración de las posibles edificaciones a intervenir, según los criterios de selección definidos. Elaboración propia.

	UBICACIÓN	CARÁCTER	IDENTIDAD	POBLACIÓN	TEMPORALIDAD	VIDA ÚTIL	CONFORT	CONFIGURACIÓN	ÁREA	NIVELES	TOTAL
ATENAS											
Clínica del Dolor	2	2	0	0	2	2	2	2	0	1	13
Colegio Técnico Profesional	2	0	1	2	1	2	0	0	1	0	9
Escuela Central	2	0	2	2	1	0	2	2	2	1	14
Mercado Central	2	2	1	0	1	0	2	2	0	0	10
Seguro Social	2	2	1	2	1	2	1	0	1	0	12
Tribunales de Justicia	2	1	1	0	1	1	1	1	0	1	9
Universidad Técnica Nacional	0	2	1	2	1	2	2	0	2	0	12
CIUDAD COLÓN											
Área de Salud Mora-Palmichal	2	2	2	2	2	2	2	0	2	1	17
Casa de la Cultura	2	2	1	1	0	0	1	0	1	1	9
Escuela Rogelio Fernández	2	0	1	2	1	1	1	0	1	0	9
SANTA ANA											
Colegio de Santa Ana	1	0	1	2	1	1	0	0	2	2	10
Escuela Municipal de Artes Integradas	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	18
Gimnasio de Santa Ana	2	2	0	0	2	2	0	2	0	0	10
Palacio Municipal de Santa Ana	2	1	2	2	1	1	2	1	2	1	15
ESCAZÚ											
Área Rectora de Salud	2	1	0	1	1	2	2	2	1	1	13
Colegio Nuestra Señora del Pilar	2	0	1	2	1	1	2	0	2	2	13
Escuela República de Venezuela	2	0	1	2	1	1	2	0	2	1	12
Municipalidad de Escazú (Anexo)	2	1	1	2	1	0	2	2	1	1	13
Palacio Municipal de Escazú	2	1	2	2	1	0	2	1	2	1	14

CAPÍTULO

2

ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO POR ESCALAS

2.1 ANÁLISIS MACRO ESCALA

2.1.1 SANTA ANA

La Escuela Municipal de Artes Integradas se ubica en el distrito central del cantón de Santa Ana, provincia San Jose. En las coordenadas geográficas 9°92'99" latitud Norte y 84°17'99" longitud Oeste, a una altitud media de 904 m s.n.m.

Figura 23. Mapa de ubicación de Santa Ana en la zona de estudio. Elaboración propia.

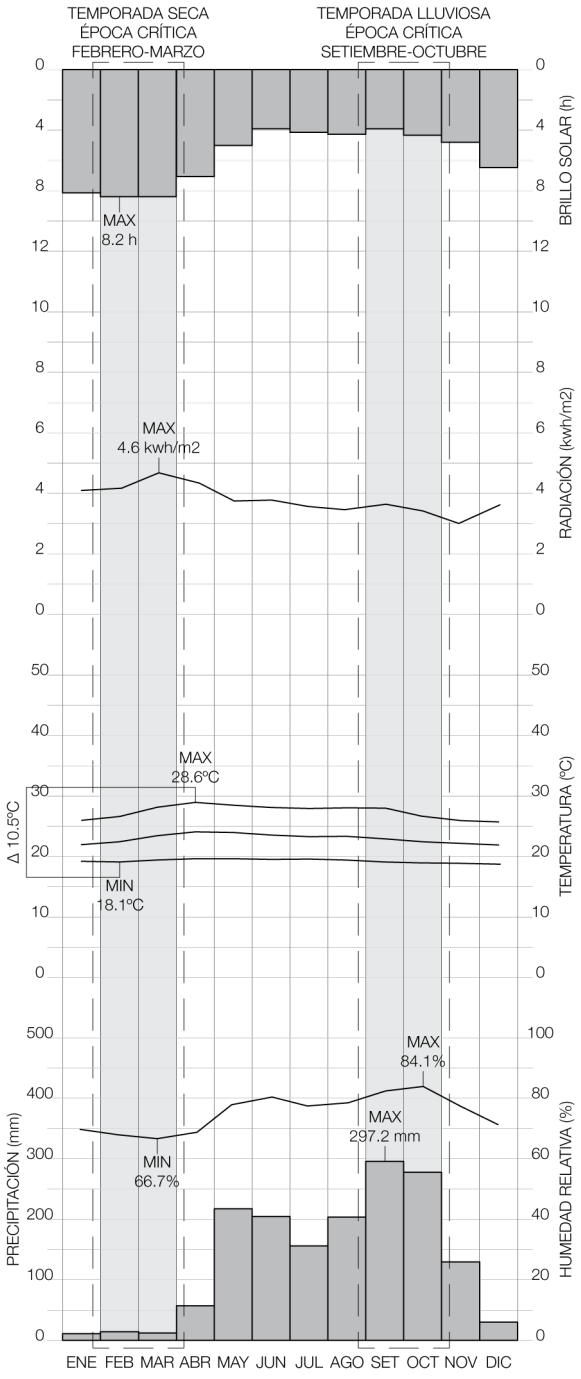


Figura 24. Climograma de columnas, resumen climático de la estación 84195-Aeropuerto de Pavas (1996-2014). Elaboración propia con datos del IMN.

Temperatura y radiación. La temperatura mínima se registra en el mes de enero, con 18.1ºC debido a una mayor incidencia de los vientos fríos y secos durante la época seca. El valor mínimo de radiación se registra en el mes de noviembre, durante la época lluviosa, con 3.0 kwh/m2.

La temperatura máxima se registra en el mes de abril, con 28.6ºC, mientras que la mayor incidencia anual de radiación se registra en marzo, con 4.6 kwh/m2. Siendo los meses de febrero a abril, los más críticos de la época seca.

La temperatura media anual es de 23.0ºC, con un rango de oscilación de de 10.5ºC entre la temperatura máxima y la mínima. La radiación total anual alcanza los 44.8 kwh/m2.

El mes de abril presenta la mayor oscilación de temperaturas, con un rango de 9.6ºC, mientras que noviembre y diciembre son los meses con menor oscilación, con un rango de 7.6ºC. El comportamiento es constante a lo largo del año, por lo que las oscilaciones más importantes se dan a lo largo del día.

Vientos. Los vientos presentan una velocidad media anual de 3.7 m/s, que corresponde a brisa débil en la escala de Beaufort de la fuerza de los vientos. Predominan los provenientes del Este durante todo el año.

Las menores velocidades de vientos coinciden con la época lluviosa, lo que provoca el aumento de la humedad relativa, principalmente en los meses de setiembre y octubre donde se registran los valores mínimos, de 2.5 m/s y 2.6 m/s respectivamente.

Las mayores velocidades coinciden con la época seca, provocando la dispersión de la humedad. La velocidad máxima se registra en el mes de enero con 6.3 m/s proveniente del Este.

Precipitación y humedad. La precipitación mínima se registra en el mes de enero, con 10.2 mm, mientras la humedad mínima se registra en el mes de marzo, con un 67%. Esto debido a la incidencia de los vientos secos con altas velocidades y de la alta radiación solar durante la época seca.

La precipitación máxima se mantiene constante en el mes de setiembre, con 297.2 mm, al igual que la humedad máxima, con un 83% y 84% respectivamente. De esta forma, octubre es el mes más crítico de la época lluviosa.

El rango de oscilación para la precipitación es de 287.0 mm entre el mes más seco y el más lluvioso. La precipitación total anual alcanza los 1630.9 mm, mientras que la humedad relativa presenta un promedio anual de 75%.

Geomorfología. Santa Ana está conformado por tierras de origen volcánico del Valle Central y por el depósito de sedimentos de zonas altas. Está rodeado por zonas montañosas con mayor altitud, en donde influyen formaciones pertenecientes a la Cordillera Volcánica Central. Estas actúan como barrera hacia las corrientes de viento provenientes tanto del Pacífico como del Caribe; disminuyendo su intensidad, evitando la dispersión de la humedad y aumentando la sensación térmica.

Hacia el Norte y Este, la Cordillera Volcánica Central produce un efecto de barrera transformadora para los vientos. En el sentido Este - Oeste, el aire húmedo y frío se produce a barlovento y el aire cálido y seco se produce a sotavento. La Depresión de la Palma permite el paso de los vientos alisios, los cuales son predominantes.

Al Suroeste, los cerros Chitaria, Minas y Pacacua, disminuyen la influencia de los vientos del Pacífico (Oestes Ecuatoriales), que se caracterizan por ser más débiles y de menor velocidad. Hacia el Sur y Sureste se encuentran los cerros de Escazú, pero el registro de vientos provenientes de esta dirección es muy débil.

Proveniente del Golfo de Nicoya se da la in-

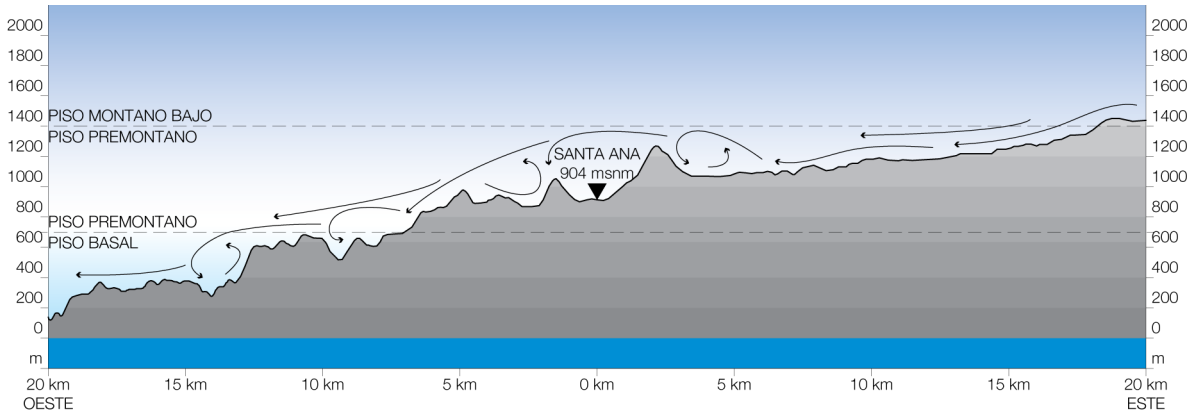


Figura 25. Geomorfología y vientos predominantes. Elaboración propia.

cursión de una brisa marina con dirección al Valle Central. Estos vientos tienen protagonismo en la época lluviosa, con velocidades mensuales que superan los 3.3 m/s.

Climograma de bienestar adaptado (CBA). Para determinar los rangos de confort higrotérmico se utiliza el CBA, herramienta que relaciona los parámetros climáticos y del usuario que inciden en la sensación térmica.

En el caso de Santa Ana, se utiliza un met de 3.15, debido a la combinación de actividades de intensidad moderada y sedentaria que se realizan en el edificio seleccionado, y un clo de 0.70. De esta forma se identifica un área de bienestar delimitada por temperaturas que oscilan entre los 27.0ºC y 21.5ºC, con un 20% de humedad relativa, y los 25.4ºC y 20.9ºC, con un 80% de humedad relativa.

Según el gráfico, Santa Ana se posiciona, casi en su totalidad, fuera del área de bienestar saludable. En consecuencia la mayor parte de los meses se ubican dentro del área de bienestar algo húmeda para la salud (20% de personas insatisfechas). Algunos meses incluso requieren estrategias de ventilación permanente y masa térmica para regular la sensación higrotérmica.

El gráfico de isopletas muestra que durante las horas de ocupación y a lo largo del año, las condiciones de bienestar saludable se dan de 10 a.m. a 11 p.m. En su mayoría, las condiciones de humedad son superiores a lo recomendable, con el 20% de personas insatisfechas. En los meses de abril hasta mayo se requiere de ventilación entre la 1 p.m. y 5 p.m. En enero y febrero se requiere de masa térmica para regular la sensación higrotérmica.

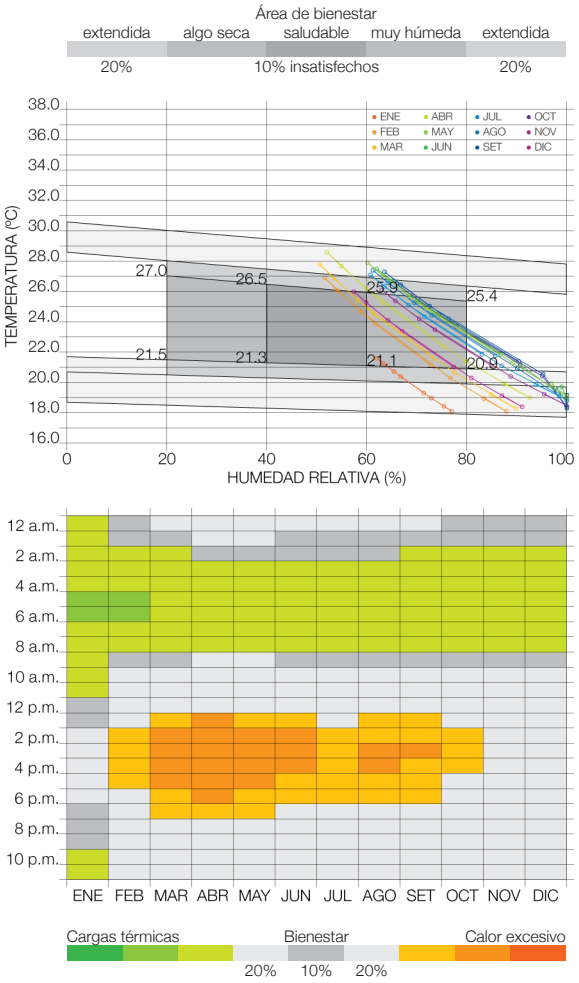


Figura 26. Climograma de bienestar adaptado (arriba). Elaboración propia con datos del IMN.

Figura 27. Gráfico de isopletas (abajo). Elaboración propia con datos del IMN.

2.1.2 CIUDAD COLÓN

El Área de Salud Mora-Palmichal se ubica en el distrito Colón del cantón de Mora, provincia de San José. En las coordenadas geográficas 9°55’20” latitud Norte y 84°14’30” longitud Oeste, a una altitud media de 770 m s.n.m.

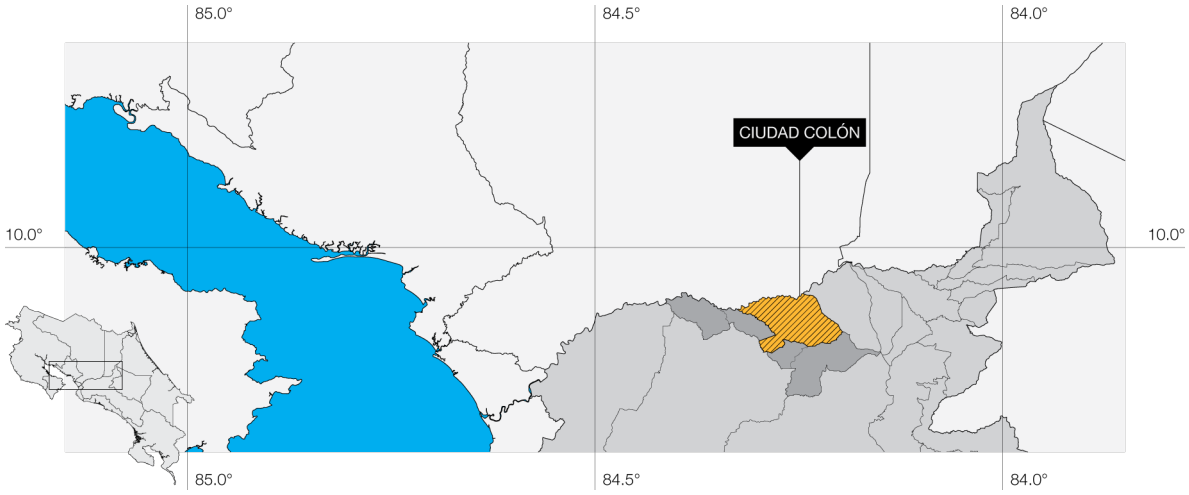


Figura 28. Mapa de ubicación de Ciudad Colón en la zona de estudio. Elaboración propia.

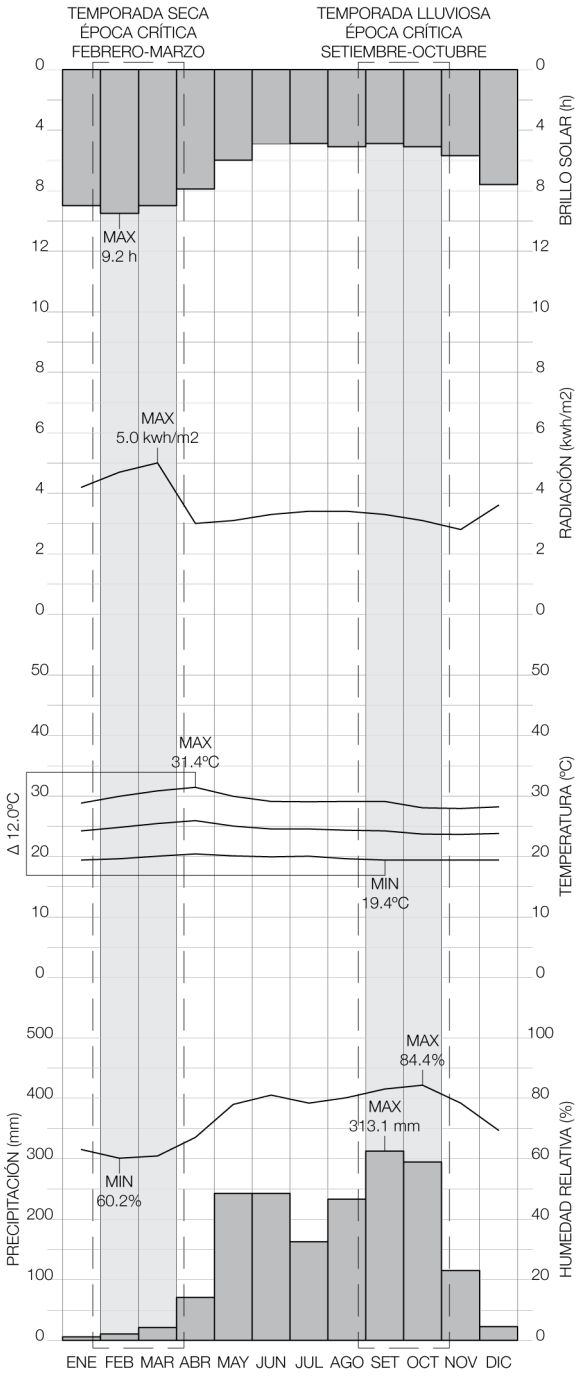


Figura 29. Climograma de columnas, interpolación de resúmenes climáticos de 84199-Belén (2005-2014) y 84143-Orotina (1995-2005). Elaboración propia con datos del IMN.

Temperatura y radiación. La temperatura mínima se registra desde el mes de setiembre hasta el mes de enero, con 19.4ºC debido a una mayor incidencia de los vientos durante esa época. El valor mínimo de radiación se registra en el mes de noviembre, durante la época lluviosa, con 2.8 kwh/m2.

La temperatura máxima se registra en el mes de abril, con 31.4ºC. El valor máximo de radiación se registra en el mes de marzo, con 5.0 kwh/m2. Siendo los meses de febrero a abril, los más críticos de la época seca.

El rango de oscilación entre la temperatura máxima y la mínima es de 12.0ºC. La temperatura media anual es de 24.5ºC, mientras que la radiación total anual alcanza los 43.0 kwh/m2.

Abril es el mes con mayor oscilación de temperaturas, con un rango de 10.9ºC, mientras que noviembre es el mes con menor oscilación, con un rango de 8.5ºC. El comportamiento es constante a lo largo del año, por lo que las oscilaciones más importantes se dan a lo largo del día.

Vientos. Los vientos presentan una velocidad media anual de 4.2 m/s, que corresponde a brisa débil en la escala de Beaufort de la fuerza de los vientos. Predominan los provenientes del Sureste durante todo el año.

Las menores velocidades coinciden con la época lluviosa. Los valores mínimos se registran en el mes octubre, con 2.3 m/s.

Las mayores velocidades coinciden con la época seca, propiciando la dispersión de la humedad. El valor máximo se registra en el mes de

enero con 6.9 m/s.

Precipitación y humedad. La precipitación mínima se registra en el mes de enero, con 3.4 mm, mientras la humedad mínima se registra en el mes de febrero, con un 60%. Esto debido a la incidencia de los vientos y de la radiación solar durante la época seca.

La precipitación y humedad máxima se registran en el mes de octubre, con 256.1 mm y 84%, respectivamente. De esta forma, el mes de octubre es el mes más crítico de la época lluviosa.

El rango de oscilación es de 252.7 mm entre el mes más seco y el más lluvioso. La precipitación total anual alcanza los 1359.9 mm, mientras que la humedad relativa presenta un promedio anual de 74%.

Geomorfología. Ciudad Colón está constituido por rellenos planos ondulados de origen volcánico con superficies de roca sedimentaria, rodeadas por cerros de fuerte pendiente formados de roca volcánica y sedimentaria con riesgo de deslizamientos. Dichas montañas actúan como barreras para los vientos provenientes del Caribe y del Pacífico. Lo que conlleva a la disminución de vientos y al aumento de temperatura y humedad.

Hacia el Este se encuentran el cerro Pacacua y los cerros de Santa Ana, separando parcialmente a Ciudad Colón del Valle Central, y disminuyendo la influencia de los vientos alisios.

Hacia el Suroeste se ubica la fila Diamante que funciona como barrera a los vientos provenientes del Pacífico. Los vientos del Suroeste son predominantes durante todo el año.

A pesar de que los vientos predominantes que influyen en el Valle Central provienen del Noreste, ocurre un caso particular en Ciudad Colón debido a los sistemas montañosos que se ubican al sur de la Ciudad de San José, los cuales re direccionan los vientos a través de los cauces de los ríos. Por esta razón, en Ciudad Colón la dirección predominante de los vientos procede del Sureste.

Climograma de bienestar adaptado (CBA). Para determinar los rangos de confort higrotérmico se utiliza el CBA, herramienta que relaciona los parámetros climáticos y del usuario que inciden en la sensación térmica.

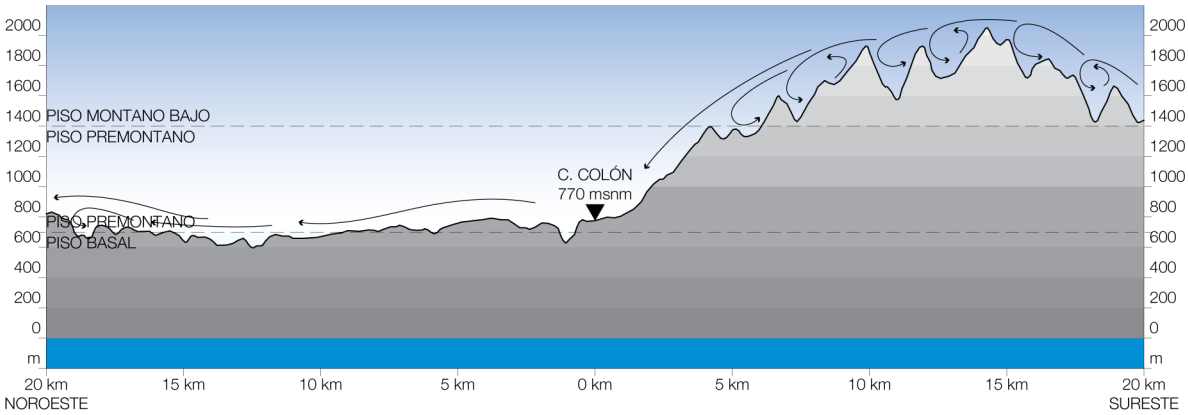
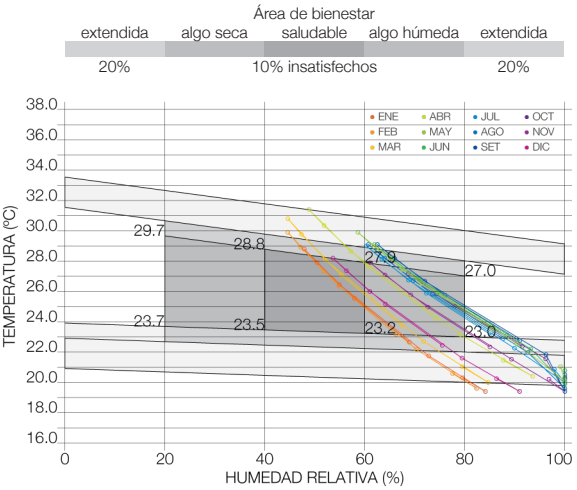


Figura 30. Geomorfología y vientos predominantes. Elaboración propia.

Para Ciudad Colón, se utilizan los valores met de 1.22 y clo de 0.7, los cuales corresponden a la actividad sedentaria de oficina, según la norma ISO7730-2005. De esta forma se identifica un área de bienestar delimitada por temperaturas que oscilan entre los 23.7ºC y los 29.7°C, para una humedad relativa de 20%, y entre los 23.0ºC y 27.0°C, para una humedad relativa de 80%.

De acuerdo al gráfico, Ciudad Colón presenta casi en su totalidad un clima fuera del área de bienestar saludable, tendiendo a las zonas de bienestar algo húmedas para la salud. Los meses de febrero a mayo requieren estrategias de ventilación para regular la sensación higrotérmica. Algunos meses incluso requieren estrategias de ventilación permanente para regular la excesiva humedad.

Así se refleja en el gráfico de isopletas, donde las condiciones de bienestar saludable ocurren entre 1 o 2 horas diarias, y se dan antes de las 10 a.m. y después de las 11 p.m. a lo largo de todo el año. De febrero a mayo se requiere de ventilación natural, principalmente después del mediodía. De febrero a mayo se requiere de ventilación permanente para regular la sensación de bienestar.



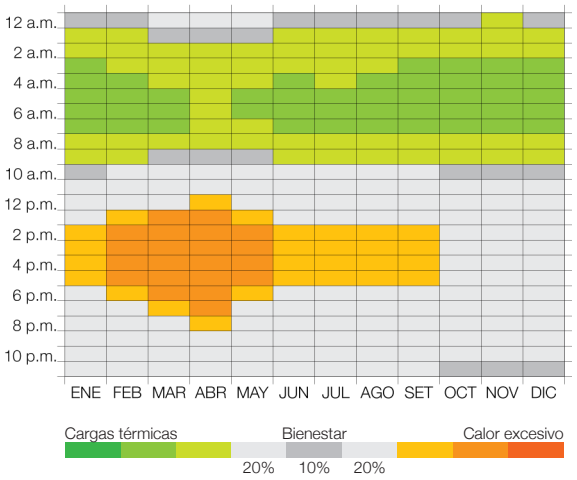


Figura 31. Climograma de bienestar adaptado (arriba). Elaboración propia con datos del IMN.

Figura 32. Gráfico de isopletas (abajo). Elaboración propia con datos del IMN.

2.1.3 ATENAS

La Escuela Central de Atenas se ubica en el distrito central del cantón de Atenas, provincia de Alajuela. En las coordenadas geográficas 9°58’30” latitud Norte y 84°22’50” longitud Oeste, a una altitud media de 698 m s.n.m.

Figura 33. Mapa de ubicación de Atenas en la zona de estudio. Elaboración propia.

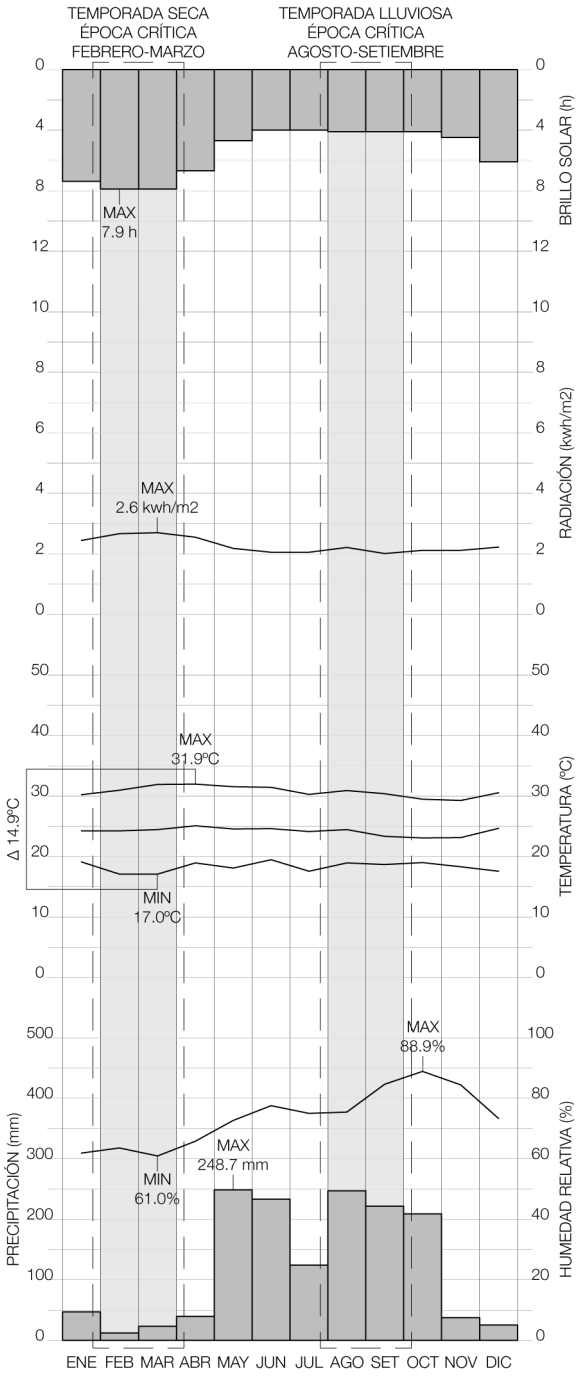


Figura 34. Climograma de columnas, interpolación de resúmenes climáticos de 84199-Belén (2005-2014) y 78027-Puntarenas (2001-2015). Elaboración propia con datos del IMN.

Temperatura y radiación. La temperatura mínima se registra en el mes de marzo, con 17.1ºC debido a una mayor incidencia de los vientos durante esa época. El valor mínimo de radiación se registra en el mes de setiembre, durante la época lluviosa, con 2.0 kwh/m2.

La temperatura máxima se registra en el mes de abril, con 31.9ºC, y la mayor incidencia anual de radiación se presenta en el mes de marzo con 2.7 kwh/m2, siendo este último el mes más crítico de la época seca.

El rango de oscilación entre la temperatura máxima y la mínima es de 14.9ºC. La temperatura media anual es de 24.1ºC, mientras que la radiación total anual alcanza los 27.2 kwh/m2.

Febrero es el mes con mayor oscilación de temperaturas, con un rango de 17.5ºC, mientras que setiembre es el mes con menor oscilación, con un rango de 11.1ºC. El comportamiento es constante a lo largo del año, por lo que las oscilaciones más importantes se dan a lo largo del día.

Vientos. Los vientos presentan una velocidad media anual de 1.6 m/s, que corresponde a brisa muy débil en la escala de Beaufort de la fuerza de los vientos. Predominan los provenientes del Noreste durante todo el año.

Las menores velocidades coinciden con la época lluviosa. Los valores mínimos se registran en el mes de setiembre, con 1.1 m/s.

Las mayores velocidades coinciden con la época seca, propiciando la dispersión de la humedad. El valor máximo se registra en el mes de marzo con 2.7 m/s respectivamente, provenientes

del Noreste.

Precipitación y humedad. La precipitación mínima se registra en el mes de febrero, con 12.3 mm, mientras la humedad mínima se registra en el mes de marzo, con un 61%. Esto debido a la incidencia de los vientos y de la radiación solar durante la época seca.

La precipitación máxima se registra en los meses de mayo y agosto, con 248.8 y 247.5 mm respectivamente. Mientras que la humedad máxima se registra en los meses de setiembre y octubre, con un 85% y 89% respectivamente. De esta forma setiembre y octubre son los meses más críticos de la época lluviosa.

El rango de oscilación es de 236.5 mm entre el mes más seco y el más lluvioso. La precipitación total anual alcanza los 1474.0 mm, mientras que la humedad relativa presenta un promedio anual de 74%.

Geomorfología. Atenas pertenece a la sub unidad de relleno Volcánico del Valle Central, la cual corresponde a un relieve plano y ondulado. Geomorfológicamente no es un valle, sin embargo, para efectos políticos y socio-económicos, se considera preferible seguir denominándolo Valle Central. Se encuentra rodeado por los cerros del Aguacate y por la Cordillera Volcánica Central. Estos relieves montañosos, actúan como barreras hacia las corrientes de viento provenientes del Noreste, deteniendo así su efecto desecante y disminuyendo la intensidad.

Hacia el Noreste se encuentran los montes del Aguacate y hacia el Norte y Este, la Cordillera Volcánica Central. Estas formaciones minimizan la influencia de los vientos alisios del Noreste, que se caracterizan por ser fríos y secos.

Hacia el Sur, se encuentra la depresión generada por el Ríos Grande de Tárcoles, lo que facilita la influencia de los vientos del Pacífico (Oestes Ecuatoriales), que se caracterizan por ser más débiles y de menor velocidad que los alisios provenientes del Caribe.

Climograma de bienestar adaptado (CBA). Para determinar los rangos de confort higrotérmico se utiliza el CBA, herramienta que relaciona los parámetros climáticos y del usuario que inciden en

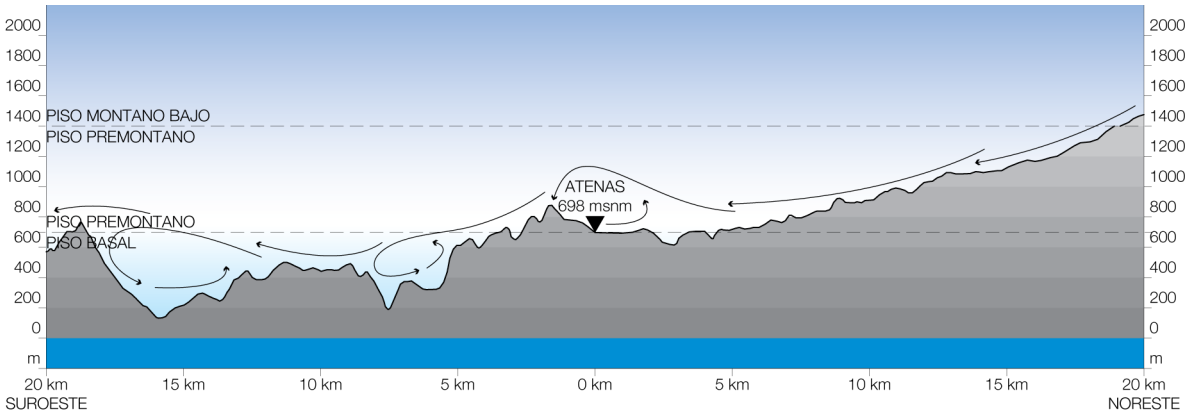


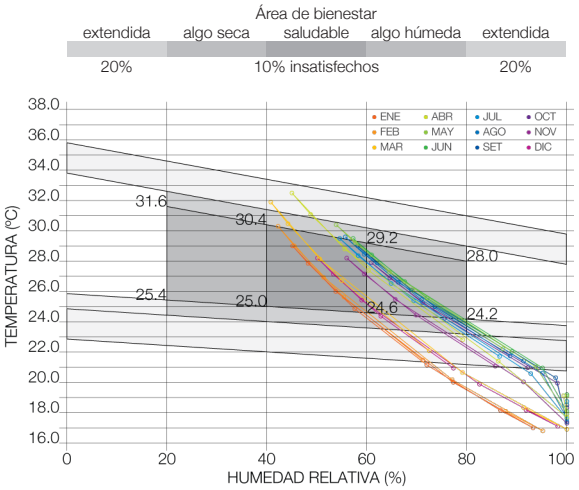
Figura 35. Geomorfología y vientos predominantes. Elaboración propia.

la sensación térmica.

Para Atenas, se utilizan los valores met de 1.21 y clo de 0.64, los cuales según la norma ISO7730-2005 corresponden a actividad sedentaria. De esta forma se identifica un área de bienestar delimitada por temperaturas que oscilan entre los 25.4ºC y los 31.6°C, para una humedad relativa de 20%, y entre los 24.2ºC y 28.0°C, para una humedad relativa de 80%.

De acuerdo al gráfico, Atenas presenta casi en su totalidad un clima fuera del área de bienestar saludable, tendiendo a las zonas de bienestar algo húmedas para la salud. Algunos meses incluso requieren cargas térmicas para regular la sensación de bienestar principalmente en horas de la madrugada.

Así se refleja en el gráfico de isopletas, donde las condiciones de bienestar saludable se dan únicamente durante 1 o 2 horas al día, antes de las 11 a.m. y después de las 7 p.m. En su mayoría, las condiciones de humedad son superiores a lo recomendable, con al menos un 20% de personas insatisfechas. Durante los meses críticos de la época seca, se requiere de ventilación para regular la sensación higrotérmica, entre la 1 y las 7 p.m.



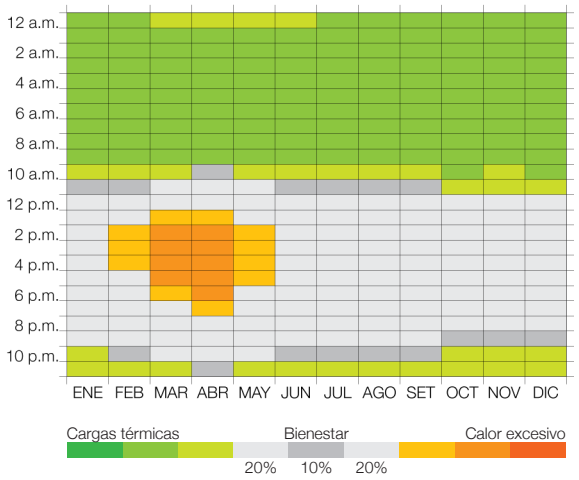


Figura 36. Climograma de bienestar adaptado (arriba). Elaboración propia con datos del IMN.

Figura 37. Gráfico de isopletas (abajo). Elaboración propia con datos del IMN.

2.1.4 OROTINA

El Palacio Municipal de Orotina se ubica en el distrito central del cantón de Orotina, provincia de Alajuela. En las coordenadas geográficas 9°54'40" latitud Norte y 84°31'26" longitud Oeste, a una altitud media de 233 m s.n.m.

Figura 38. Mapa de ubicación de Orotina en la zona de estudio. Elaboración propia.

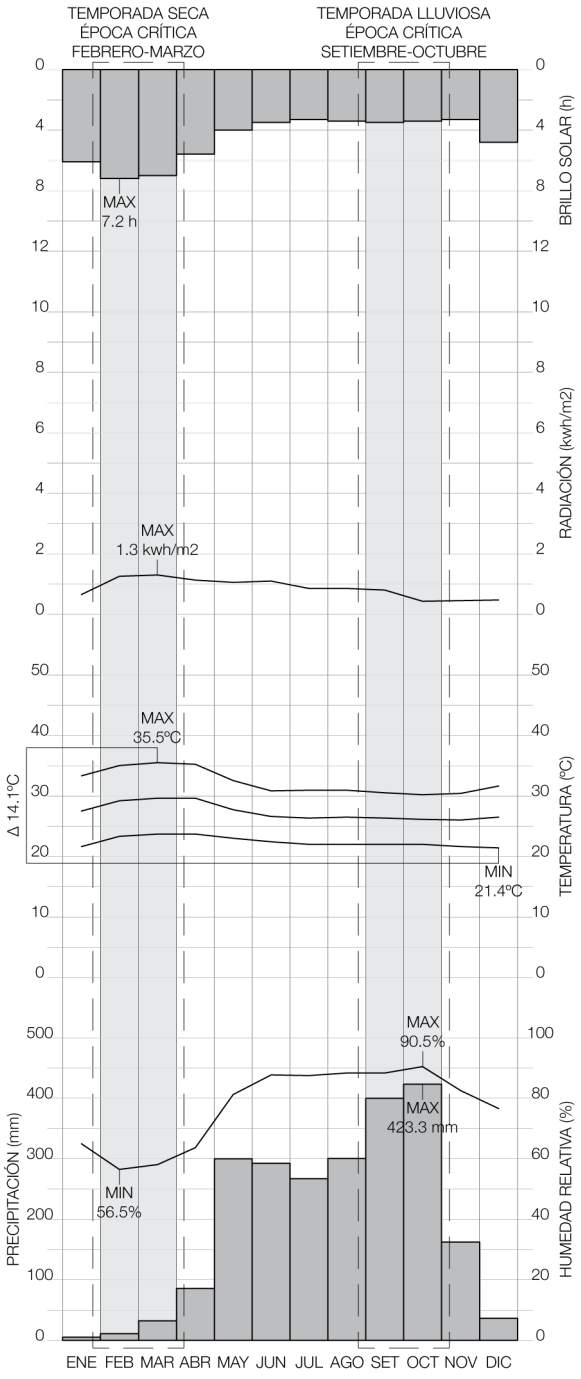


Figura 39. Climograma de columnas, resumen climático de la estación 84143-Orotina (1995-2005). Elaboración propia con datos del Instituto Metereológico Nacional (IMN).

Temperatura y radiación. La temperatura mínima se registra en el mes de diciembre, con 21.4°C debido a una mayor incidencia de los vientos. El valor mínimo de radiación se registra en el mes de octubre, durante la época lluviosa con 0.4 kwh/m2.

La temperatura máxima se registra en el mes de marzo, con 35.5°C, al igual que la mayor incidencia anual de radiación, con 1.3 kwh/m2, en los meses de febrero y marzo. Siendo estos los más críticos de la época seca.

El rango de oscilación entre la temperatura máxima y la mínima es de 14.1°C. La temperatura media anual es de 27.3°C y la radiación total anual alcanza los 10.5 kwh/m2.

El mes de marzo presenta la mayor oscilación de temperaturas con un rango de 11.8°C, mientras que el mes de octubre es el mes con menor oscilación, con un rango de 8.2°C.

Vientos. Los vientos presentan una velocidad media anual de 2.4 m/s, que corresponde a brisa muy débil en la escala de Beaufort de la fuerza de los vientos. Predominan los provenientes del Noreste durante todo el año.

Las menores velocidades coinciden con la época lluviosa. Los valores mínimos se registran en los meses de octubre y noviembre, con 1.8 m/s.

Las mayores velocidades coinciden con la época seca, propiciando la dispersión de la humedad. El valor máximo se registra en el mes de febrero con 3.8 m/s.

Precipitación y humedad. La precipitación

mínima se registra en el mes de enero, con 5.6 mm, mientras que la humedad mínima se registra en el mes de febrero, con un 57%. Esto debido a la incidencia de los vientos secos con bajas velocidades y de la alta radiación solar durante la época seca.

La precipitación máxima se registra en el mes de octubre, con 423.3 mm, al igual que la humedad máxima, con un 91%. De esta forma, octubre es el mes más crítico de la época lluviosa.

El rango de oscilación es de 417.7 mm entre el mes más seco y el más lluvioso. La precipitación total anual alcanza los 2330.7 mm, mientras que la humedad relativa presenta un promedio anual de 78%.

Geomorfología. Orotina constituye una superficie plana y ondulada, originada por corrientes de lodo a causa de la gran meteorización de la Sierra Minera de Tilarán. Se encuentra rodeado por sistemas montañosos importantes y extensiones de territorio con altitudes considerablemente mayores a la suya, pertenecientes principalmente a la Cordillera de Tilarán y la Cordillera de Volcánica Central. Estos relieves montañosos, actúan como barreras hacia las corrientes de viento provenientes tanto del Pacífico como del Caribe, disminuyendo su intensidad, evitando la dispersión de la humedad y aumentando la sensación térmica.

Hacia el Norte y Noreste se encuentran los cerros del Aguacate, y hacia el Este la Cordillera Volcánica Central. Estas formaciones minimizan la influencia de los vientos alisios del Noreste, que se caracterizan por ser fríos y secos.

Hacia el Sur los cerros de Herradura y hacia el Oeste, separada por el Golfo, se encuentra la Península de Nicoya, cuyas partes más altas como Montaña Grande pueden llegar al doble de altitud que Orotina. Estos disminuyen la influencia de los vientos del Pacífico (Oestes Ecuatoriales), que se caracterizan por ser más débiles y de menor velocidad.

Proveniente del Golfo de Nicoya se da la incursión de una brisa marina con dirección al Valle Central. Por lo que los vientos registrados provienen predominantemente del Noroeste, durante

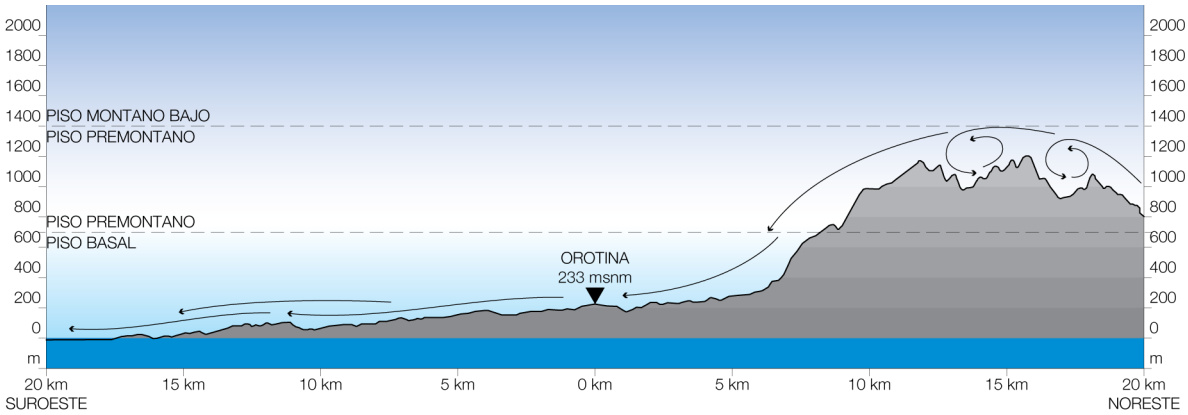


Figura 40. Geomorfología y vientos predominantes. Elaboración propia.

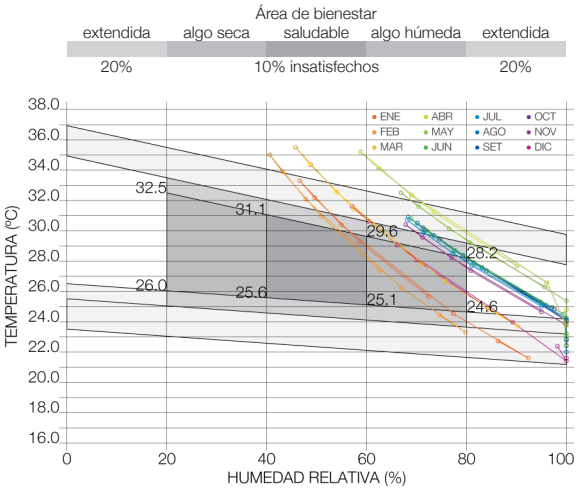
la época lluviosa, y del Norte y Oeste, durante la época seca.

Climograma de bienestar adaptado (CBA). Para determinar los rangos de confort higrotérmico se utiliza el CBA, herramienta que relaciona los parámetros climáticos y del usuario que inciden en la sensación térmica.

En el caso de Orotina, se utiliza un met de 1.22 y un clo de 0.7, para actividad sedentaria de oficina según la norma ISO 7730-2005. De esta forma se identifica un área de bienestar delimitada por temperaturas que oscilan entre los 26.0ºC y 32.5ºC, para un 20% de humedad relativa, y los 24.6ºC y 28.2ºC, para un 80% de humedad relativa.

De acuerdo al gráfico, Orotina presenta casi en su totalidad un clima fuera del área de bienestar saludable, tendiendo a las zonas de bienestar algo húmedas para la salud. Algunos meses incluso requieren estrategias de ventilación permanente y masa térmica para regular la sensación de bienestar.

Así se refleja en el gráfico de isopletas, donde las condiciones de bienestar saludable se dan únicamente durante 1 a 3 horas al día, antes de las 11 a.m. En su mayoría, las condiciones de humedad son superiores a lo recomendable, con el 20% de personas insatisfechas. De enero a mayo, se requiere de ventilación permanente para regular la sensación higrotérmica, entre las 12 y las 9 p.m. En el mes de marzo, se presenta calor excesivo, entre 3 y 5 p.m.



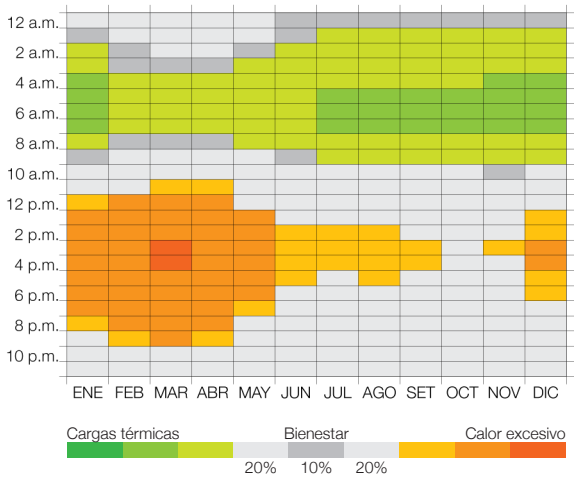


Figura 41. Climograma de bienestar adaptado (arriba). Elaboración propia con datos del IMN.

Figura 42. Gráfico de isopletas (abajo). Elaboración propia con datos del IMN.

2.1.5 ESPARZA

El Palacio Municipal de Esparza se ubica en el distrito Espíritu Santo del cantón de Esparza, provincia de Puntarenas. En las coordenadas geográficas 9°59'30" latitud Norte y 84°40'04" longitud Oeste, a una altitud media de 208 m s.n.m.

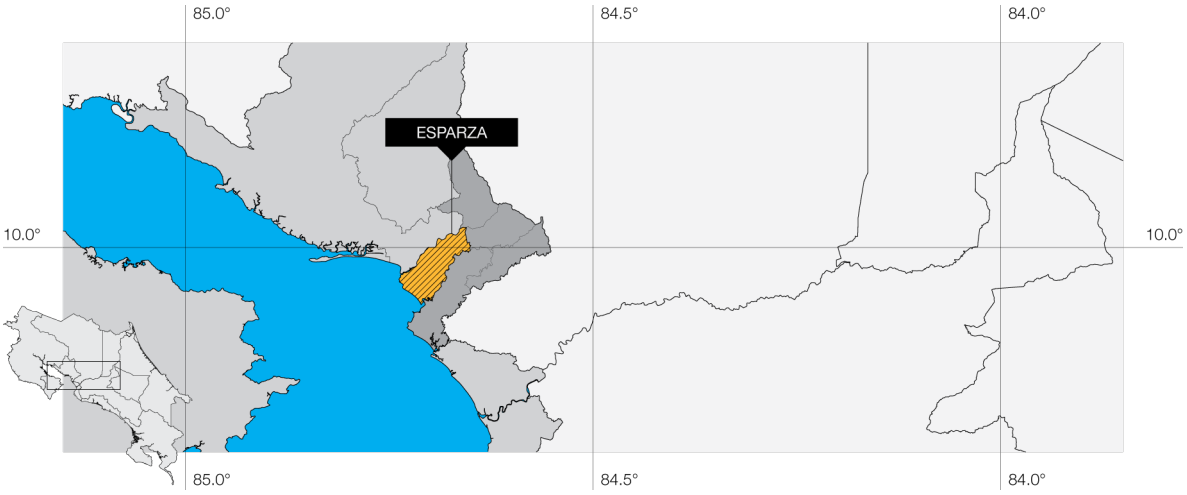


Figura 43. Mapa de ubicación de Esparza en la zona de estudio. Elaboración propia.

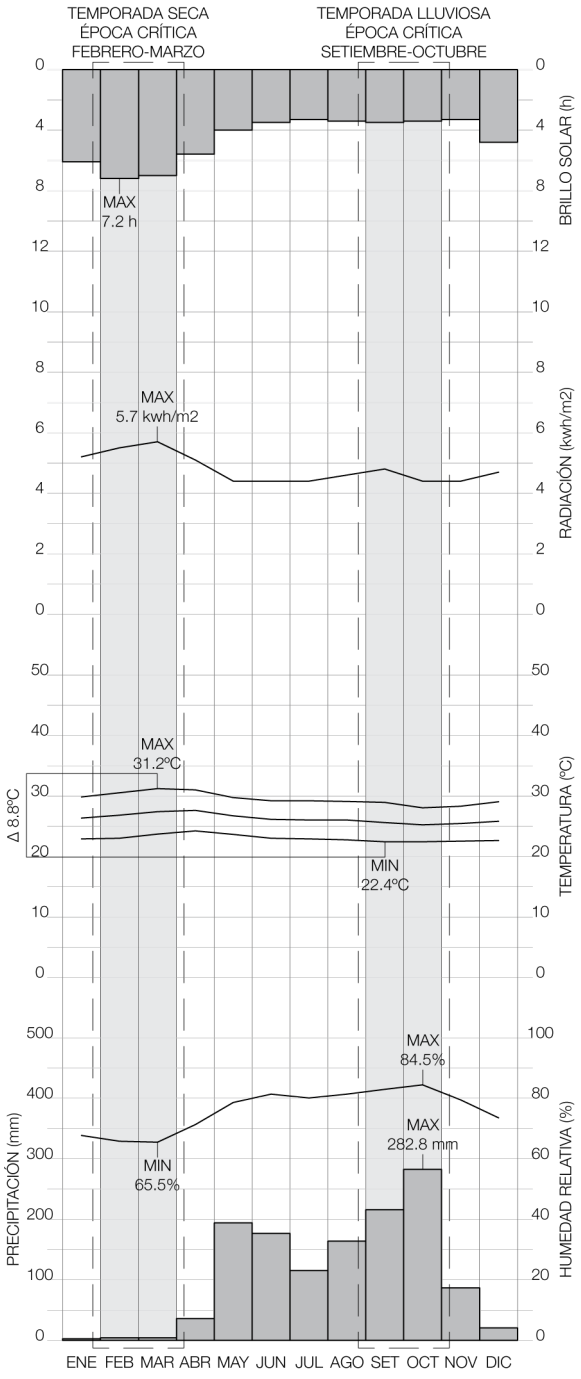


Figura 44. Climograma de columnas, interpolación de resúmenes climáticos de 84199-Belén (2005-2014) y 78027-Puntarenas (2001-2015). Elaboración propia con datos del IMN.

Temperatura y radiación. La temperatura mínima se registra durante la época lluviosa, con 22.4ºC en los meses de setiembre y octubre. La radiación mínima se mantiene constante durante la época lluviosa lluviosa y de transición, con 4.4 kwh/m2, de mayo a julio, y de octubre a noviembre.

La temperatura máxima se registra en el mes de marzo, con 31.2ºC, al igual que la mayor incidencia de radiación, con 5.7 kwh/m2. Siendo este el mes más crítico de la época seca.

La temperatura media anual es de 26.3ºC, con un rango de oscilación de 8.8ºC entre la temperatura máxima y la mínima. La radiación total anual alcanza los 57.6 kwh/m2.

Febrero es el mes con mayor oscilación de temperaturas, con un rango de 7.6ºC, mientras que octubre es el mes con menor oscilación, con un rango de 5.7ºC. El comportamiento es constante a lo largo del año, por lo que las oscilaciones más importantes se dan a lo largo del día.

Vientos. Los vientos presentan una velocidad media anual de 3.5 m/s, que corresponde a brisa débil en la escala de Beaufort de la fuerza de los vientos. Predominan los provenientes del Sur durante todo el año.

Las menores velocidades coinciden con la época lluviosa, con valores de 2.7 m/s en los meses de setiembre y octubre.

Las mayores velocidades coinciden con la época seca, propiciando la dispersión de la humedad. Los valores máximos se mantienen constantes en los meses de enero, febrero y marzo con

4.3 m/s.

Precipitación y humedad. La precipitación mínima se registra en el mes de enero, con 2.9 mm, mientras que la humedad mínima se registra en el mes de marzo, con un 66%. Esto debido a la incidencia de los vientos y de la radiación solar durante la época seca.

La precipitación máxima se registra en el mes de octubre, con 282.8 mm, al igual que la humedad máxima, con un 85%. Por lo que octubre es el mes más crítico de la época lluviosa.

El rango de oscilación es de 279.9 mm entre el mes más seco y el más lluvioso. La precipitación total anual alcanza los 1305.5 mm, mientras que la humedad relativa presenta un promedio anual de 76%.

Geomorfología. Esparza pertenece a la cuenca baja de los ríos Barranca y Grande de Tárcoles, por lo que presenta clima lluvioso con influencia monzónica. Está constituido por tierras de relleno rodeadas por extensiones de territorio con relieve pronunciado, que incluyen formaciones pertenecientes a la Cordillera de Tilarán y la Cordillera de Talamanca. Estos relieves montañosos, actúan como barreras hacia las corrientes de viento provenientes tanto del Pacífico como del Caribe, disminuyendo su intensidad, evitando la dispersión de la humedad y aumentando la sensación térmica.

Hacia el Este se encuentran los montes del Aguacate, que lo separan del Valle Central. Estas formaciones minimizan la influencia de los vientos alisios del Noreste, que se caracterizan por ser fríos y secos.

Hacia el Suroeste, algunos cerros menores lo separan del Golfo de Nicoya. Estos disminuyen la influencia de los vientos del Pacífico (Oestes Ecuatoriales), que se caracterizan por ser más débiles y de menor velocidad que los alisios provenientes del Caribe.

Sin embargo, proveniente del Golfo de Nicoya se da la incursión de una brisa marina con dirección al Valle Central. Esta se cruza con los vientos de barlovento de las estribaciones de la Cordillera de Tilarán, generando las corrientes de viento predominantes.

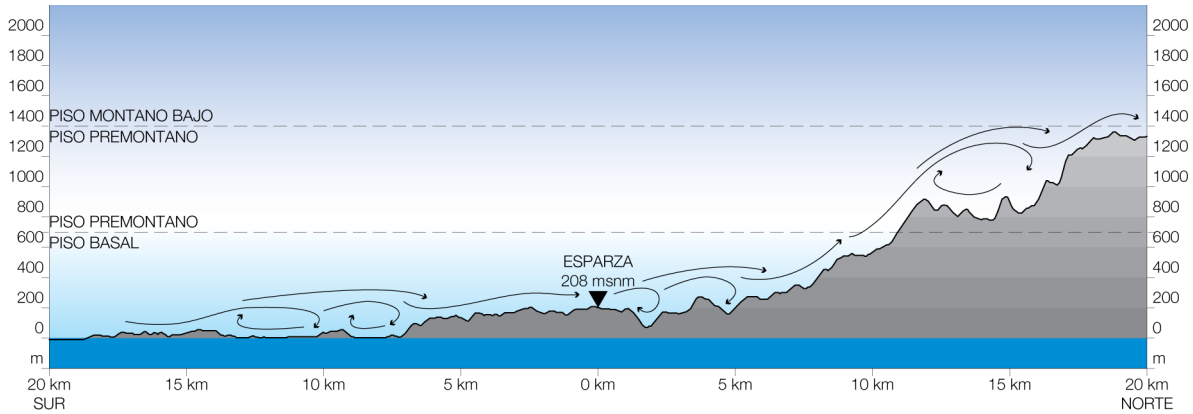


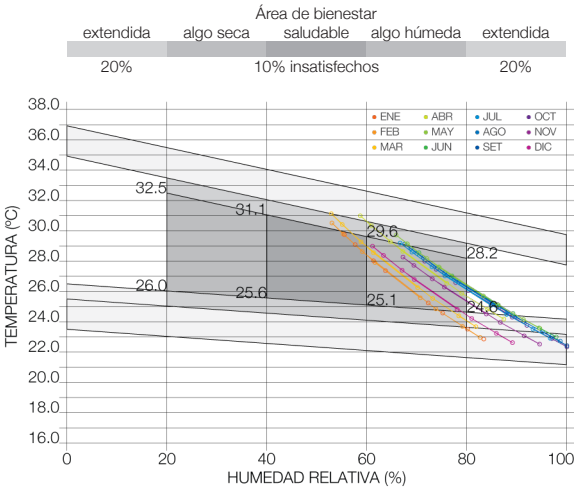
Figura 45. Geomorfología y vientos predominantes. Elaboración propia.

Climograma de bienestar adaptado (CBA). Para determinar los rangos de confort higrotérmico se utiliza el CBA, herramienta que relaciona los parámetros climáticos y del usuario que inciden en la sensación térmica.

En el caso de Esparza, se utiliza un met de 1.22 y un clo de 0.7, para actividad sedentaria de oficina según la norma ISO 7730-2005. De esta forma se identifica un área de bienestar delimitada por temperaturas que oscilan entre los 26.0ºC y 32.5ºC, para un 20% de humedad relativa, y los 24.6ºC y 28.2ºC, para un 80% de humedad relativa.

De acuerdo al gráfico, Esparza presenta casi en su totalidad un clima fuera del área de bienestar saludable, tendiendo a las zonas de bienestar algo húmedas para la salud. Algunos meses incluso requieren estrategias de ventilación permanente para regular la excesiva humedad.

Así se refleja en al gráfico de isopletas, donde las condiciones de bienestar saludable ocurren entre 2 y 5 horas diarias, antes de las 10 a.m. y después de las 11 p.m. En su mayoría, las condiciones de humedad son superiores a lo recomendable, con el 20% de personas insatisfechas. De febrero a abril se requiere de ventilación entre la 1 y las 7 p.m., para regular la sensación de bienestar.



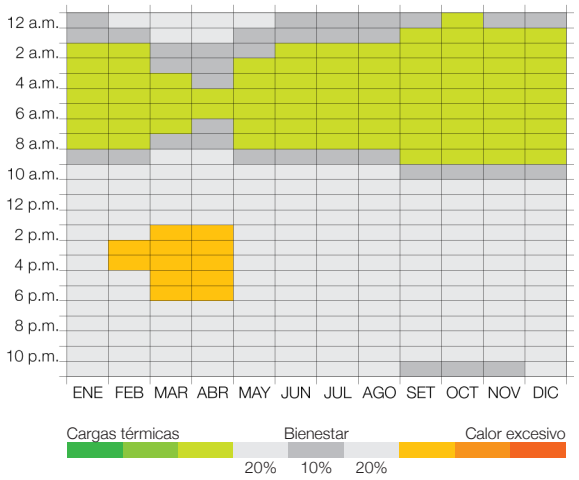


Figura 46. Climograma de bienestar adaptado (arriba). Elaboración propia con datos del IMN.

Figura 47. Gráfico de isopletas (abajo). Elaboración propia con datos del IMN.

2.1.6 PUNTARENAS

El Ministerio de Salud de Chacarita se ubica en el distrito Chacarita, del cantón central de la provincia de Puntarenas. En las coordenadas geográficas 9°58'50" latitud Norte, y 84°48'45" longitud Oeste, a una altitud media de 4 m s.n.m.

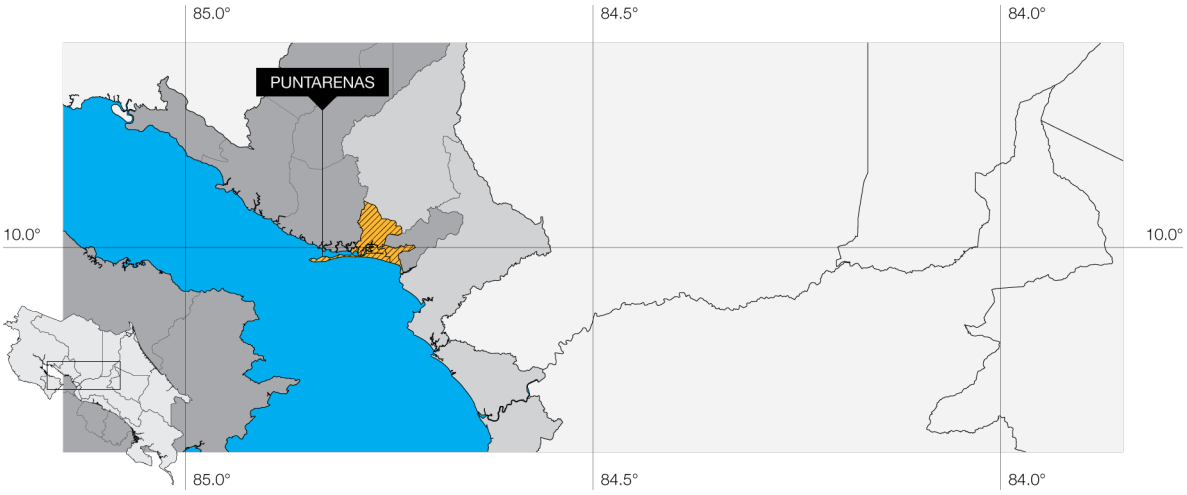


Figura 48. Mapa de ubicación de Puntarenas en la zona de estudio. Elaboración propia.

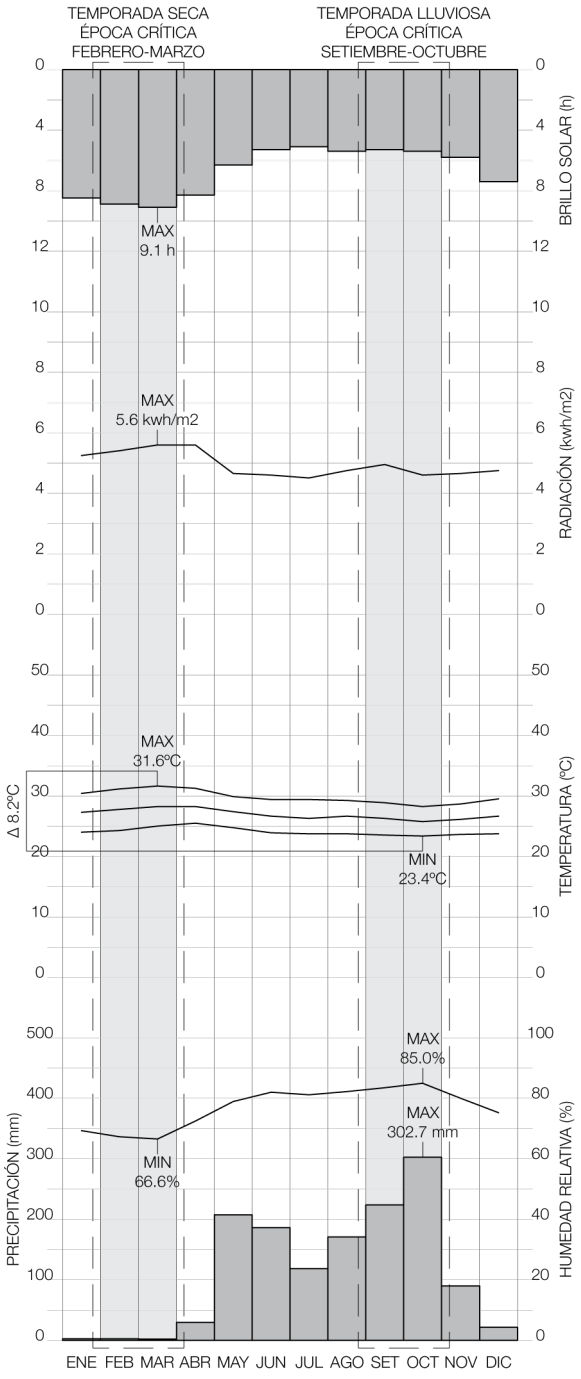


Figura 49. Climograma de columnas, resumen climático de la estación 78027-Puntarenas (2001-2015). Elaboración propia con datos del Instituto Metereológico Nacional (IMN).

Temperatura y radiación. La temperatura mínima se registra en los meses de setiembre a noviembre, con valores entre 23.4°C y 23.6°C . El valor mínimo de radiación se registra en el mes de julio, con 4.5 kwh/m2.

La temperatura máxima se registra en el mes de marzo, con 31.6ºC, al igual que la mayor incidencia anual de radiación, con 5.6 kwh/m2. Siendo este el mes más crítico de la época seca.

El rango de oscilación entre la temperatura máxima y la mínima es de 8.2ºC. La temperatura media anual es de 27.0ºC, mientras que la radiación total anual alcanza los 59.4 kwh/m2.

Marzo es el mes con mayor oscilación de temperaturas, con un rango de 6.6ºC, mientras que noviembre es el mes con menor oscilación, con un rango de 5.0ºC. El comportamiento es constante a lo largo del año, por lo que las oscilaciones más importantes se dan a lo largo del día.

Vientos. Los vientos presentan una velocidad media anual de 3.1 m/s, que corresponde a brisa muy débil en la escala de Beaufort de la fuerza de los vientos. Predominan los provenientes del Sur durante todo el año.

Las menores velocidades coinciden con la época lluviosa. Con valores de 2.5 m/s en los meses de setiembre y octubre.

Las mayores velocidades coinciden con la época seca, propiciando la dispersión de la humedad. El valor máximo se registran en el mes de marzo con 3.6 m/s, provenientes del Sur.

Precipitación y humedad. La precipitación mínima se registra en el mes de marzo, con 2.0

mm, al igual que la humedad mínima, con un 67%. Esto debido a la incidencia de los vientos y de la radiación solar durante la época seca.

La precipitación máxima se registra en el mes de octubre con 302.7 mm, al igual que la humedad máxima con 81%. De esta forma octubre es el mes más crítico de la época lluviosa.

El rango de oscilación es de 299.8 mm entre el mes más seco y el más lluvioso. La precipitación total anual alcanza los 1360.9 mm, mientras que la humedad relativa presenta un promedio anual de 77%.

Geomorfología. La franja arenosa que forma Puntarenas se ha estabilizado en los últimos 50 años. Presenta un crecimiento lateral principalmente hacia la punta. Su formación esta asociada a la migración del río Barranca y controlada por la tectónica activa en el área. Sus características geológicas implican una gran fragilidad, pues su sustrato arenoso no consolidado es un sistema sedimentológico activo.

Hacia el Noreste se encuentran los montes del Aguacate y los cerros de Miramar; hacia el Este se encuentran los Cerros de la Carpintera, que lo separan del Valle Central. Estas formaciones minimizan la influencia de los vientos alisios del Noreste.

Hacia el Norte se encuentra el Estero, un gran volumen de agua seguido por relieve de poca altura donde se encuentran los montes de Pitaya. Esto provoca una barrera natural de los vientos del Noroeste.

Proveniente del Golfo de Nicoya se da la incursión de una brisa marina con dirección al Valle Central. Es por esto que los vientos registrados provienen predominantemente del Sur, durante todo el año.

Climograma de bienestar adaptado (CBA). Para determinar los rangos de confort higrotérmico se utiliza el CBA, herramienta que relaciona los parámetros climáticos y del usuario que inciden en la sensación térmica.

En el caso de Puntarenas, se utiliza un met de 1.22 y un clo de 0.7, para actividad sedentaria de oficina según la norma ISO 7730-2005. De esta forma se identifica un área de bienestar

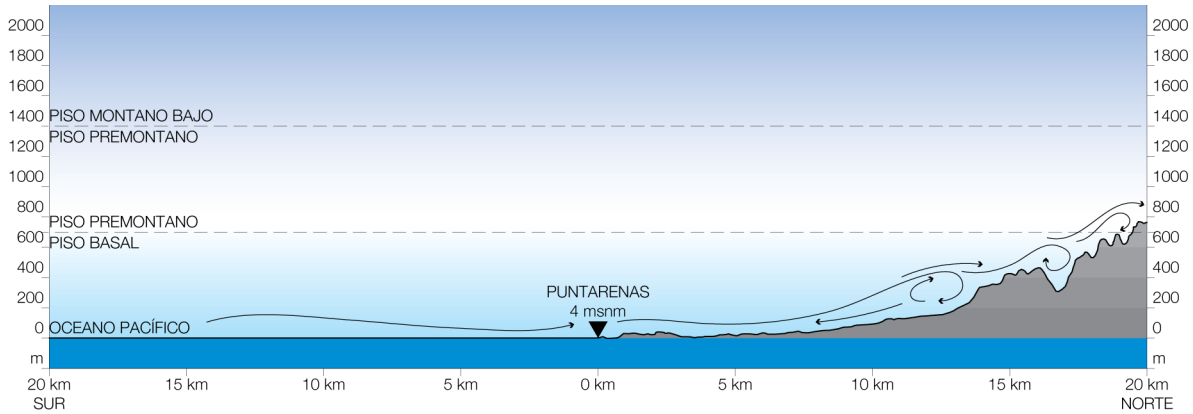
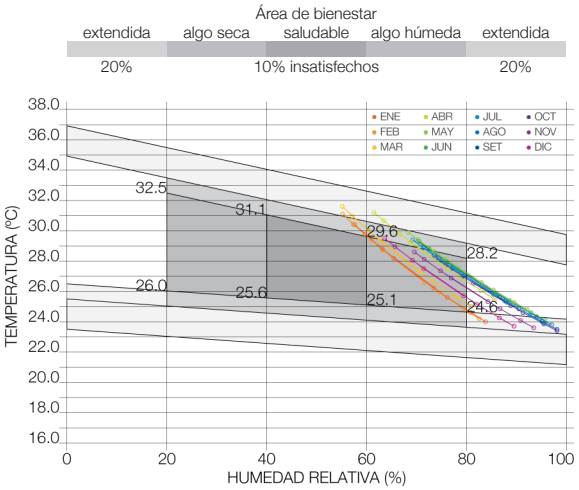


Figura 50. Geomorfología y vientos predominantes. Elaboración propia.

delimitada por temperaturas que oscilan entre los 26.0ºC y 32.5ºC, para un 20% de humedad relativa, y los 24.6ºC y 28.2ºC, para un 80% de humedad relativa.

De acuerdo al gráfico, Puntarenas presenta casi en su totalidad un clima fuera del área de bienestar saludable, tendiendo a las zonas de bienestar algo húmedas para la salud. Algunos meses incluso requieren estrategias de ventilación permanente para regular la excesiva humedad.

Así se refleja en el gráfico de isopletas, donde las condiciones de bienestar saludable ocurren antes de las 11 a.m. En su mayoría, las condiciones de humedad son superiores a lo recomendable, con el 20% de personas insatisfechas. De enero a abril, se requiere de ventilación permanente entre 1 y 7 p.m., para regular la sensación de bienestar.



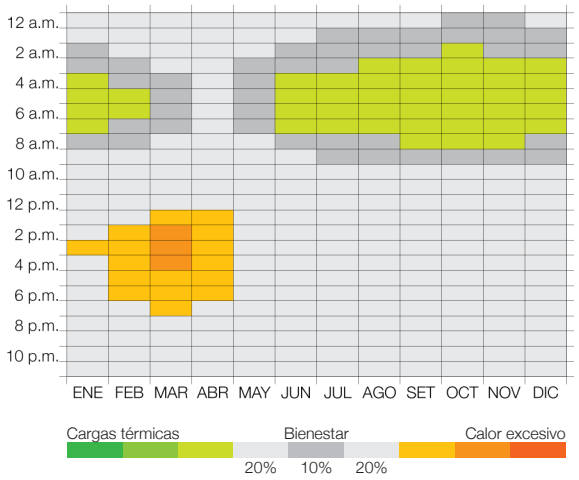


Figura 51. Climograma de bienestar adaptado (arriba). Elaboración propia con datos del IMN.

Figura 52. Gráfico de isopletas (abajo). Elaboración propia con datos del IMN.

2.2 ANÁLISIS MESO ESCALA

2.2.1 ESCUELA MUNICIPAL DE ARTES INTEGRADAS (EMAI), SANTA ANA

Construido en 1998. El edificio es de caracter educativo-cultural, con un horario laboral de lunes a viernes de 8 a.m. a 6 p.m., sábados de 8 a.m. a 12 p.m., y un horario extendido de lunes a domingo para actividades especiales, de 8 a.m. a 10 p.m. Cuenta con un total de 12 empleados a tiempo completo, y 150 a 300 usuarios semanales, según el programa de actividades.

Figura 53. Escuela Municipal de Artes Integradas (EMAI), Santa Ana. Fotografías tomadas por autores.

Contexto y vegetación. Se encuentra ubicado al Sur del centro de Santa Ana, en una zona donde convergen el uso residencial y comercial. Cuenta con fácil acceso en sus 4 fachadas, se encuentra rodeado de edificaciones de menor tamaño y una zona de parqueo al costado Sur. La cobertura vegetal en el entorno inmediato es escasa, consiste en arbustos, zacate en aceras y algunos árboles en propiedades cercanas.

Posee vegetación de algunas especies arbóreas en las fachadas Norte y Oeste. Hacia el Este se encuentra un lote baldío, que contribuye a la absorción de radiación directa y a un menor porcentaje de reflexión hacia el edificio en los niveles inferiores.

La escasez y de baja altura de la vegetación cercana, generan poco sombreamiento en las fachadas del edificio. De igual forma, la baja altura de las edificaciones cercanas propicia que la radiación incidente en cubiertas, sea reflejada a las superficies de la envolvente del EMAI.

Configuración. Tiene una configuración de un bloque rectangular con eje longitudinal en sentido Este-Oeste.

El ingreso principal se encuentra al costado Norte, orientado hacia avenida 4. La fachada posterior Sur limita con un parqueo, el plantel municipal y el Gimnasio de Santa Ana. Hacia el Este se encuentra una edificación de un sólo nivel y al Oeste limita con la calle 1.

Está conformado por tres niveles de 3.9 m de altura, conectados por pasillos que recorren en sentido longitudinal y dos volúmenes al costado Sur, que corresponden a servicios sanitarios y circulación vertical.

El edificio posee una huella aproximada de 870.9 m2, que representa el 21.9% de cobertura, en un lote de 3969.8 m2. De las áreas exteriores, las zonas verdes representan sólo el 10.5%. El 17.8% corresponde al parqueo y un pasillo conector, cubiertos de piedrilla; el 7.9% corresponde a la plazoleta frontal y acceso peatonal, cubiertos

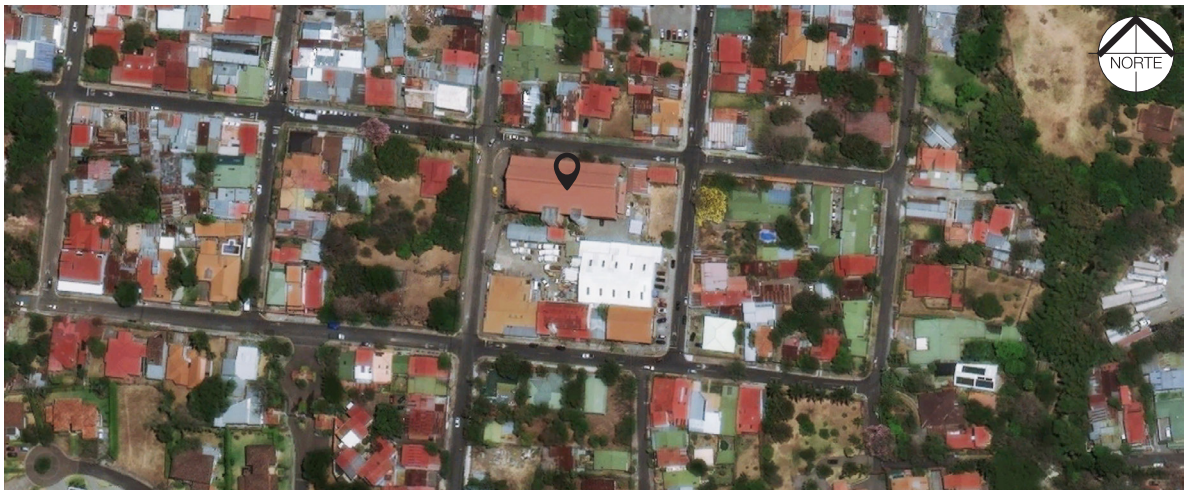


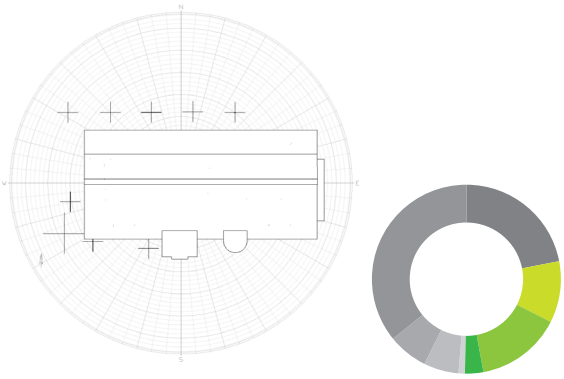
Figura 54. Fotografía satelital del entorno inmediato. Imagen tomada de Google maps.

con adoquines; y el 6.0% corresponde a un pasillo interno en concreto.

Las áreas exteriores corresponden mayoritariamente a superficies cubiertas con materiales que absorben un bajo porcentaje de radiación, generando un aumento de la radiación reflejada hacia las envolventes del EMAI, y por lo tanto, ganancias de calor al interior de los espacios.

Sistema constructivo. Corresponde a muros y columnas de concreto armado, además de columnas y vigas metálicas expuestas. Los cerramientos son de mampostería, con algunas divisiones internas livianas y muros cortina en fachadas principales.

Las cubiertas están subdivididas en componentes a diferentes alturas y pendientes. El 94.1% representa el área cubierta con lámina galvanizada y el 5.9% corresponde a losas de concreto que cubren los bloques de servicios sanitarios y escaleras.



COBERTURA DEL LOTE	m2	%
HUELLA DEL EDIFICIO	870.9	21.9%
ZONA VERDE	417.3	10.5%
PARQUEO PÚBLICO	581.8	14.7%
CONECTOR PARQUEO	124.9	3.1%
ACCESO PEATONAL	43.6	1.1%
PASILLO INTERNO	237.4	6.0%
PLAZA	270.4	6.8%
OTROS	1423.6	35.9%
ÁREA TOTAL	3969.8	100.0%

Figura 55. Tabla de áreas y porcentajes de cobertura del lote. Elaboración propia.

Envolvente. La envolvente perimetral tiene un área total de 2189.6 m2, de los cuales sólo el 9.1% corresponden a aberturas de puertas y ventanas que permiten el paso del aire hacia el interior, insuficientes para permitir la renovación de aire de forma natural.

Los materiales predominantes son el concreto, con un 44.6%; el metal de cubiertas y aleros, con un 29.1%; el vidrio en muros cortina y ventanas, con un 20.4%; y el metal de columnas y vigas, con un 5.8% de cobertura.

El volumen de aire interno alcanza los 2028.5 m3. Debido a que no hay renovación de aire, el aire caliente circula manteniendo las altas temperaturas del interior.

La fachada Este representa un 12.9% del total de la envolvente, predomina el uso del concreto con un 79.8% y es la fachada con menor porcentaje de aberturas, con un 1.9%. La fachada Oeste representa un 12.4% del total de la envolvente, predomina el uso del concreto y vidrio con un 50.9% y 36.1% respectivamente, y un 9.9% de aberturas. Las ganancias de calor por transferencia del material de ventanería son las de mayor relevancia.

La fachada Norte representa un 38.0% del total de la envolvente. Predomina el uso del metal en cubiertas y aleros con un 40.2%, concreto con

un 33.9% y vidrio con un 23.3%. Las aberturas representan sólo el 8.7% y resultan insuficientes para satisfacer las necesidades de renovación de aire interno, pero sí permiten el paso de luz natural. Los aleros y la cubierta protegen contra la incidencia solar, pero la principal ganancia de calor corresponde a la transferencia de calor del material de ventanerías, aleros y cubierta.

La fachada Sur representa un 36.7% del total de la envolvente. Los materiales principales son el concreto que cubre un 41.3%; el metal en cubiertas y aleros, con 35.8% y el vidrio en ventanerías con 16.6%. El 11.7% corresponde a aberturas para propiciar ventilación en los espacios internos. Las principales ganancias de calor corresponden a las propiedades de transferencia de calor del concreto, cubiertas y al paso de la radiación a través del vidrio.

FACHADAS	NORTE	38.0%	SUR	36.7%	ESTE	12.9%	OESTE	12.4%	ENVOLVENTE TOTAL	100.0%
MATERIAL	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%
CONCRETO	282.1	33.9%	331.2	41.3%	225.2	79.8%	138.3	50.9%	976.9	44.6%
VIDRIO	194.0	23.3%	133.2	16.6%	21.8	7.7%	97.9	36.1%	446.9	20.4%
LÁMINA HG	334.9	40.2%	287.1	35.8%	8.0	2.8%	8.0	2.9%	638.0	29.1%
METAL	21.7	2.6%	51.4	6.4%	27.4	9.7%	27.4	10.1%	127.8	5.8%
ÁREA TOTAL	832.7	100.0%	802.8	100.0%	282.4	100.0%	271.6	100.0%	2189.6	100.0%
ABERTURAS	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%
LLENOS	760.1	91.3%	709.0	88.3%	276.9	98.1%	244.8	90.1%	1990.8	90.9%
VACÍOS	72.7	8.7%	93.8	11.7%	5.5	1.9%	26.8	9.9%	198.7	9.1%
ÁREA TOTAL	832.7	100.0%	802.8	100.0%	282.4	100.0%	271.6	100.0%	2189.6	100.0%

Figura 56. Despliegue de la envolvente. Elaboración propia.

Soleamiento. Cerca del 21 de marzo, el sol alcanza su punto más alto sobre el horizonte, el cenit, por lo que los rayos solares se encuentran perpendiculares a la superficie terrestre. Esto significa una concentración de cargas térmicas en superficies horizontales (cubierta y pavimentos), las cuales alcanzan los 1000 wh/m2, y una disminución de la incidencia solar principalmente en fachadas Norte y Sur.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 600 wh/m2. Al Oeste los elementos de protección alcanzan los 400 wh/m2 y la fachada alcanza los 200 wh/m2.

Cerca del 21 de junio, los rayos solares alcanzan su punto más bajo al Norte, con una inclinación de 13.5º con respecto al cenit. Esto significa el aumento de cargas térmicas, aunque en menor medida, para la fachada Norte, la cual a causa de los aleros alcanza únicamente los 200 wh/m2. La cubierta alcanza valores máximos de 900 wh/m2.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 300 wh/m2, mientras al Oeste es de 250

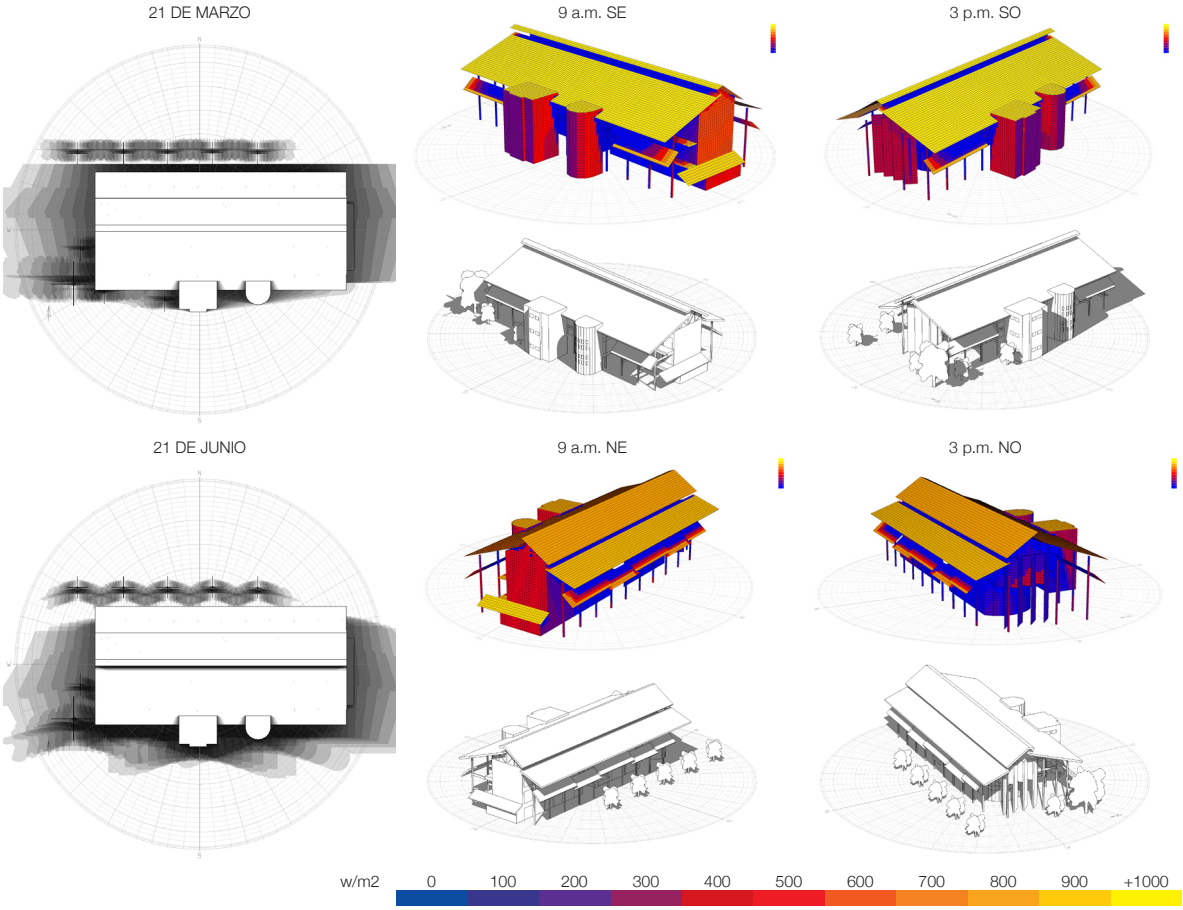


Figura 57. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de marzo y solsticio de junio. Elaboración propia.

wh/m2.

Cerca del 21 de setiembre, el sol alcanza una vez más su punto más alto sobre el horizonte. Esto significa nuevamente, una concentración de cargas térmicas en superficies horizontales, las cuales alcanzan los 800 wh/m2, y una disminución de la incidencia solar principalmente en fachadas Norte y Sur.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 400 wh/m2, y al Oeste es de 200 wh/m2.

Cerca del 21 de diciembre, los rayos solares alcanzan su punto más bajo al Sur, con una inclinación de 33.5º con respecto al cenit. Esto causa el aumento de cargas térmicas para la fachada Sur, alcanzando los 400 wh/m2. La incidencia solar en superficies horizontales alcanza los 800 wh/m2.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 320 wh/m2. Al Oeste los elementos de protección alcanzan los 400 wh/m2 y la fachada alcanza los 100 wh/m2.

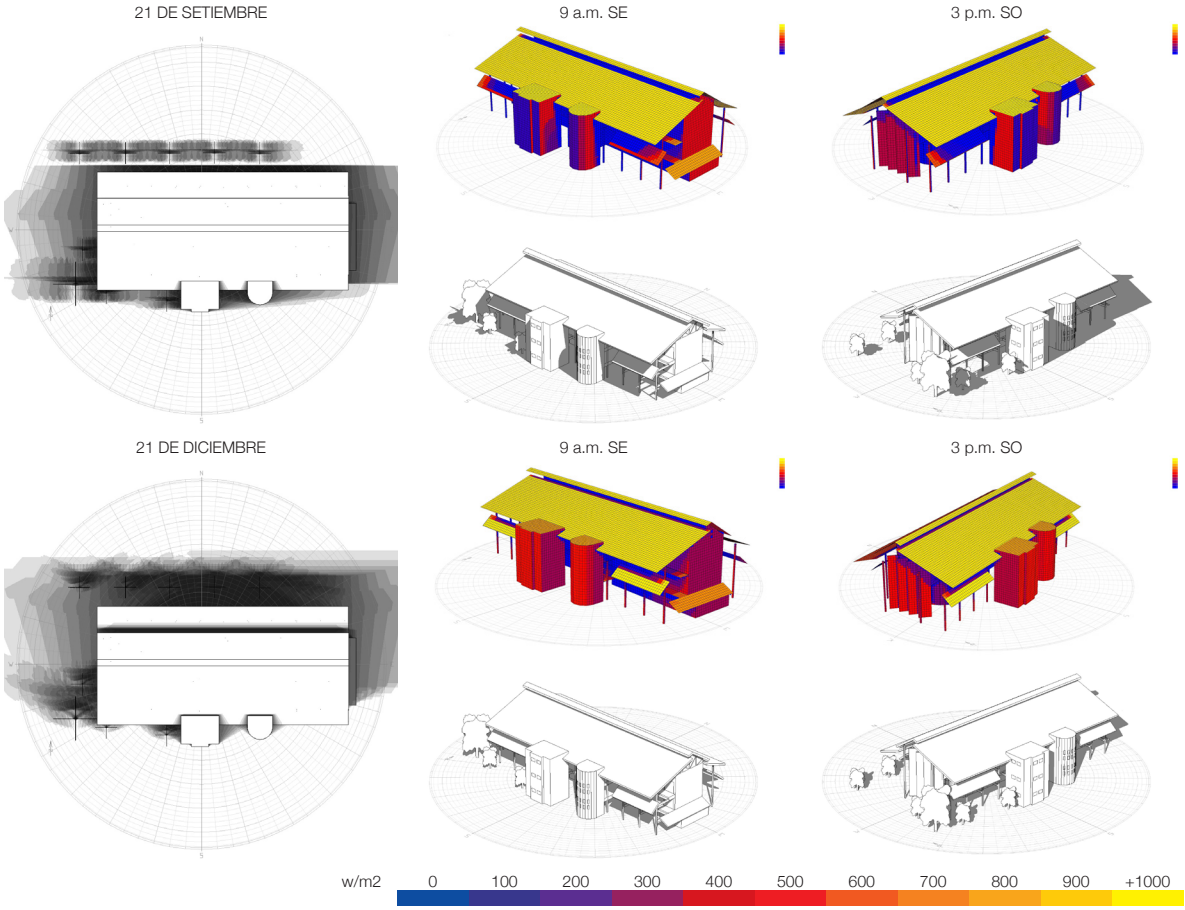
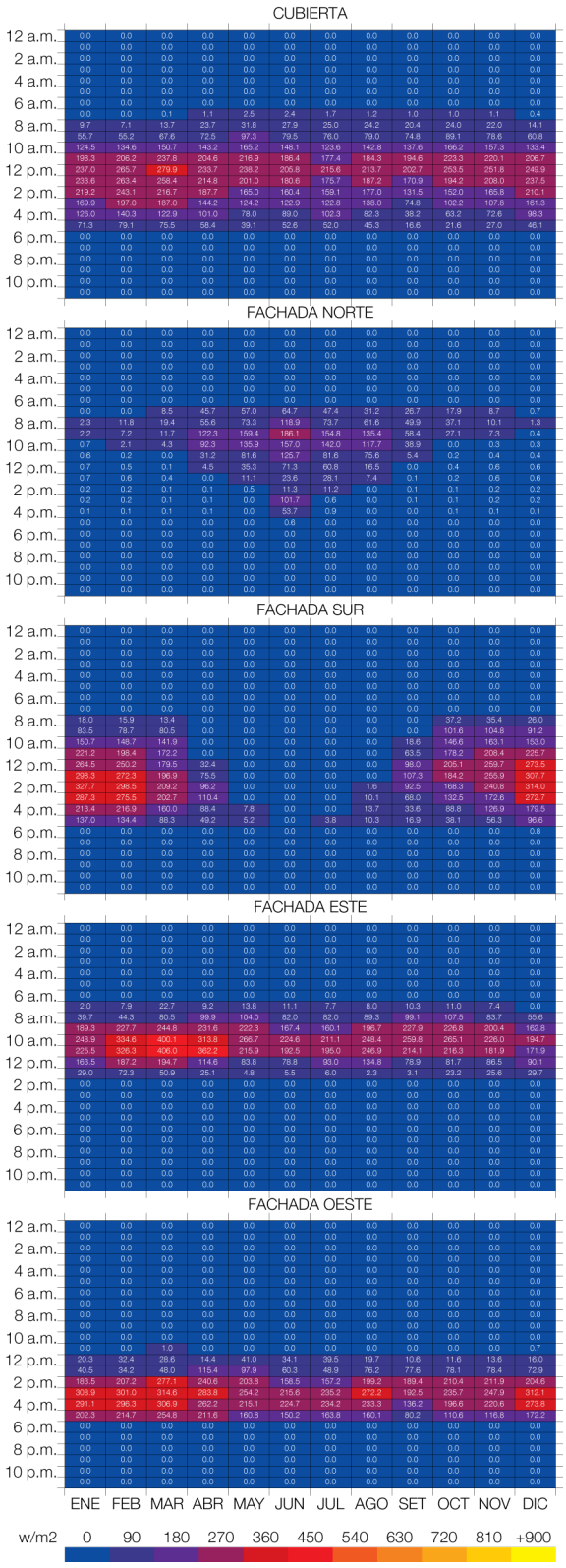


Figura 58. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de setiembre y solsticio de diciembre. Elaboración propia.



Radiación. La cubierta recibe mensualmente entre 10 y 11 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 280 w/m2. Recibe una mayor incidencia en los meses de enero a marzo; y una menor incidencia durante los meses de junio a octubre. Durante el día, los valores máximos ocurren alrededor del mediodía, entre las 11 a.m. y las 2 p.m.

La fachada Norte recibe mensualmente entre 1 y 10 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 186.1 w/m2. Recibe una mayor incidencia cuando el sol se encuentra al Norte, durante los meses de mayo a julio; y una menor incidencia cuando el sol se encuentra al Sur, durante los meses de noviembre a enero. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 8 y las 11 a.m.

La fachada Sur recibe mensualmente entre 0 y 10 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 327.7 w/m2. Recibe una mayor incidencia cuando el sol se encuentra al Sur, durante los meses de diciembre a febrero; y una menor incidencia cuando el sol se encuentra al Norte, durante los meses de mayo a julio. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 12 y las 4 p.m.

La fachada Este recibe mensualmente entre 6 y 7 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 406 w/m2. Recibe una mayor incidencia durante los meses de febrero a abril; y una menor incidencia durante los meses

Figura 59. Incidencia anual de radiación por componente. Elaboración propia.

de junio y julio. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 9 y las 11 a.m.

La fachada Oeste recibe mensualmente 6 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 314.6 w/m2. Recibe una mayor incidencia durante los meses de febrero a abril; y una menor incidencia durante los meses de setiembre a noviembre. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 2 y las 5 p.m.

Vientos. El terreno inmediato al edificio es relativamente plano, por lo que no incide de manera importante en el comportamiento de los vientos locales, los cuales provienen predominantemente del Este.

Sin embargo, el entorno que rodea el edificio es urbano, denso y de baja escala, con la existencia de masa vegetal, por lo que los vientos son calmos debido a la diversidad de obstáculos que encuentran.

A la altura del primer nivel, fluyen a través de calles, avenidas y parqueos, con velocidades que no superan los 0.9 m/s. A mayor altura, se aceleran debido a la baja escala del entorno, aunque no sobrepasan 1.1 m/s. Al aproximarse a las fachadas reducen su velocidad por debajo de los 0.5 m/s.

Debido a la orientación del edificio, los vientos generan presión positiva en las fachadas Norte, Sur y Este, y presión negativa en la fachada Oeste. Sin embargo el mal dimensionamiento de aberturas y la baja velocidad del aire no afecta el interior del edificio.

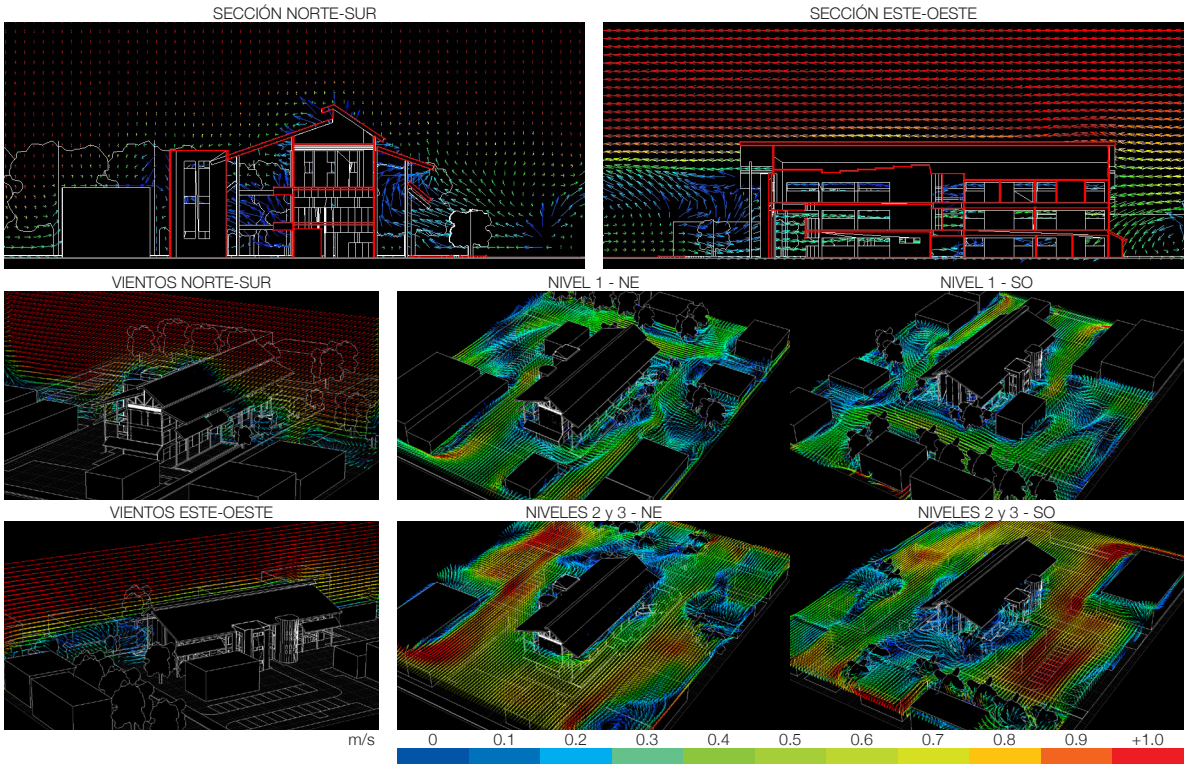


Figura 60. Simulación de vientos locales predominantes. Elaboración propia.

2.2.2 ÁREA DE SALUD MORA-PALMICHAL (ASMP), CIUDAD COLÓN

Construido en el 2015. El edificio es de carácter institucional, con un horario laboral de lunes a jueves de 7 a.m. a 4 p.m., y viernes de 7 a.m. a 3 p.m. Cubre a una población aproximada de 33.500 habitantes.

Figura 61. Área de Salud Mora-Palmichal (ASMP), Ciudad Colón. Fotografías tomadas por autores.

Contexto y vegetación. Se encuentra ubicado en una zona residencial, a un kilómetro al Norte del centro urbano de Ciudad Colón. El entorno inmediato consiste en lotes pequeños ocupados con casas de habitación de un nivel, un condominio de viviendas de dos niveles ubicado al Este, y algunos lotes baldíos en las colindancias Oeste y Norte.

La vegetación en la propiedad es muy escasa. En los alrededores de los módulos C y D no hay zonas verdes sino superficies cementicias tipo plazas, las cuales cuentan con pocos árboles pequeños ubicados de forma dispersa.

La baja altura de los mismos no provee sombreamiento al edificio. Además, las edificaciones vecinas no generan sombra durante las horas más críticas de soleamiento.

Configuración. Tiene una configuración de dos bloques rectangulares paralelos, unidos mediante un conector, con eje longitudinal en sentido Norte-Sur, y una rotación de 39° hacia el Oeste.

Los ingresos principales se ubican en la parte central de las fachadas largas, orientados hacia plazas internas del conjunto. Las fachadas cortas cuentan con accesos secundarios a bodegas y atención de emergencias.

Está constituido por dos niveles de 4.76 m de altura.

Los módulos C y D tienen una huella de 1557.0 m2. El conjunto total de edificios suman una huella aproximada de 3817.0 m2, que representa un 30.4% de cobertura, en un lote de 12549.7 m2. Las áreas exteriores tienen un 19.0% de zonas verdes, y 50.6% de superficies asfaltadas y cementicias correspondientes a calles, parqueos y sendas peatonales.

La mayor parte de las áreas exteriores son superficies de concreto y asfalto. Esto provoca aumento de radiación reflejada hacia las envolventes y por ende ganancias de calor en lo interno de los edificios.

Sistema constructivo. Corresponde a es-

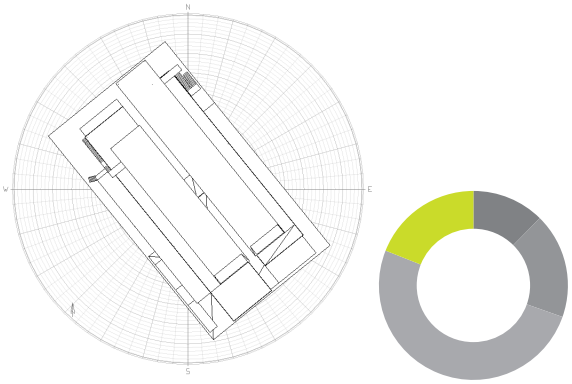
Figura 62. Fotografía satelital del entorno inmediato. Imagen tomada de Google maps.

tructura primaria en concreto armado, con cerramientos en mampostería y muros cortina en fachadas principales.

Las cubiertas se estructuran a partir de cerchas de tubo estructural, con lámina metálica que representa un 82.2% del área total de cubiertas. El 3.7% corresponde al conector, que es una losa de concreto impermeabilizada, mientras que el 14.1% corresponde a aleros perimetrales de policarbonato, que sirven como protección para aceras y rampas.

Envolvente. La envolvente perimetral tiene un área total de 2884.8 m2, de los cuales sólo el 2.9% son aberturas, de manera que no hay una adecuada renovación de aire.

Los materiales predominantes son el concreto, con un 65.6%; el vidrio en muros cortina y ventanas, con un 12.5%; y el fibrocemento en tapicheles y precintas, con 19.7% de cobertura.



COBERTURA DEL LOTE	m2	%
HUELLA DEL EDIFICIO	1557.0	12.4%
OTROS EDIFICIOS	2260.0	18.0%
CALLES, PARQUEOS Y OTROS	6348.8	50.6%
ZONA VERDE	2383.9	19.0%
ÁREA TOTAL	12549.7	100.0%

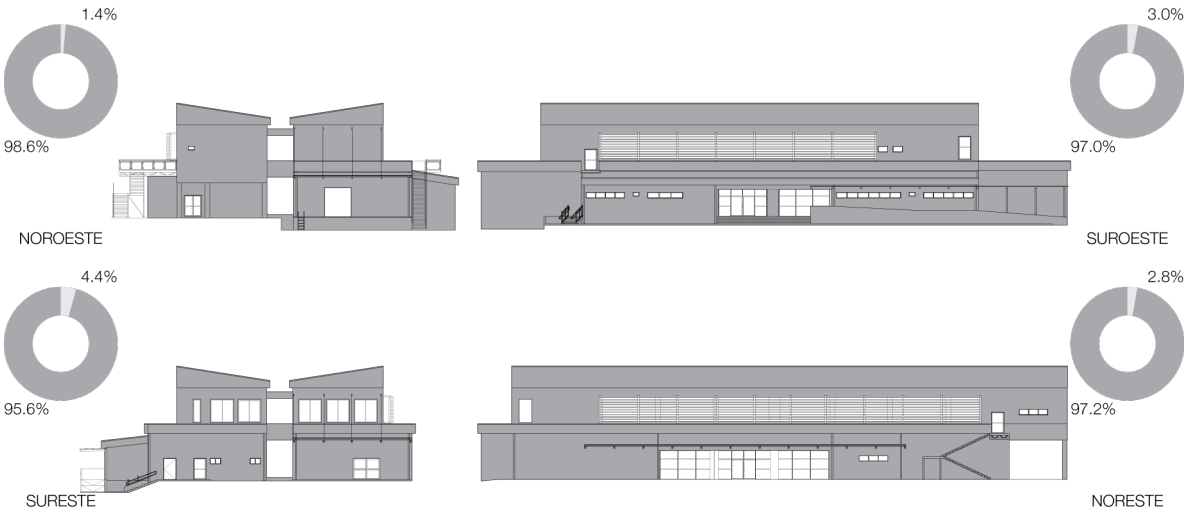
Figura 63. Tabla de áreas y porcentajes de cobertura del lote. Elaboración propia.

El volumen de aire interno de ambos módulos suma 6747.3 m3. La renovación de aire es mínima por el hermetismo del edificio, debido a la dependencia de aire acondicionado.

Las fachadas Noreste y Suroeste representan un 79.1% del total de la envolvente. Son las fachadas más largas, y cuentan tan solo con 2.8% y 3.0% de aberturas, respectivamente. En ambas fachadas predomina el uso de concreto con 60.4% y 69.1%, respectivamente, por lo que las ganancias de calor por transferencias de material son significativas.

La fachada Noroeste representa un 10.6% del total de la envolvente. Prevalece el uso del concreto con un 75.0%. Tan solo el 1.4% de la fachada corresponde a aberturas, principalmente puertas, lo cual es deficiente para suplir las necesidades de renovación de aire interno. Esta fachada es la más crítica en cuanto a iluminación y ventilación natural se refiere.

La fachada Sureste representa un 10.2% del total de la envolvente. Predomina el uso de concreto con un 61.6%. Las aberturas corresponden apenas a un 4.4%, insuficientes para satisfacer las necesidades de renovación de aire interno. Las principales ganancias de calor por lo tanto, corresponden a las propiedades de transferencia de calor del concreto.



FACHADAS	NORESTE	38.3%	SURESTE	10.2%	SUROESTE	40.9%	NOROESTE	10.6%	ENVOLVENTE TOTAL	100.0%
MATERIAL	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%
CONCRETO	666.6	60.4%	182.1	61.6%	814.2	69.1%	230.0	75.0%	1892.9	65.6%
FIBROCEMENTO	232.9	21.1%	58.1	19.7%	231.6	19.7%	46.7	15.2%	569.4	19.7%
VIDRIO	198.6	18.0%	18.7	6.3%	124.4	10.6%	17.7	5.8%	359.4	12.5%
METAL	6.0	0.5%	36.5	12.4%	8.4	0.7%	12.3	4.0%	63.2	2.2%
ÁREA TOTAL	1104.1	100.0%	295.5	100.0%	1178.6	100.0%	306.6	100.0%	2884.8	100.0%
ABERTURAS	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%
LLENOS	1073.6	97.2%	282.6	95.6%	1142.9	97.0%	302.4	98.6%	2801.5	97.1%
VACÍOS	30.6	2.8%	12.9	4.4%	35.7	3.0%	4.2	1.4%	83.4	2.9%
ÁREA TOTAL	1104.1	100.0%	295.5	100.0%	1178.6	100.0%	306.6	100.0%	2884.8	100.0%

Figura 64. Despliegue de la envolvente. Elaboración propia.

Soleamiento. Cerca del 21 de marzo, el sol alcanza su punto más alto sobre el horizonte, el cenit, por lo que los rayos solares se encuentran perpendiculares a la superficie terrestre. Esto significa una concentración de cargas térmicas en superficies horizontales (cubierta, losa y pavimentos), las cuales alcanzan los 1100 wh/m2, y una disminución de la incidencia solar principalmente en fachadas orientadas al Norte y Sur.

La incidencia solar directa es mayor durante las tardes, por lo que el valor máximo al Noreste es de 330 wh/m2, mientras al Suroeste es de 440 wh/m2.

Cerca del 21 de junio, los rayos solares alcanzan su punto más bajo al Norte, con una inclinación de 13.5° con respecto al cenit. Esto significa el aumento de cargas térmicas, aunque en menor medida, para las fachadas Noreste y Noroeste, las cuales alcanzan los 450 wh/m2. La incidencia solar en superficies horizontales se reduce, con valores máximos de 900 wh/m2.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Noreste es de 450 wh/m2, mientras al Suroeste es de

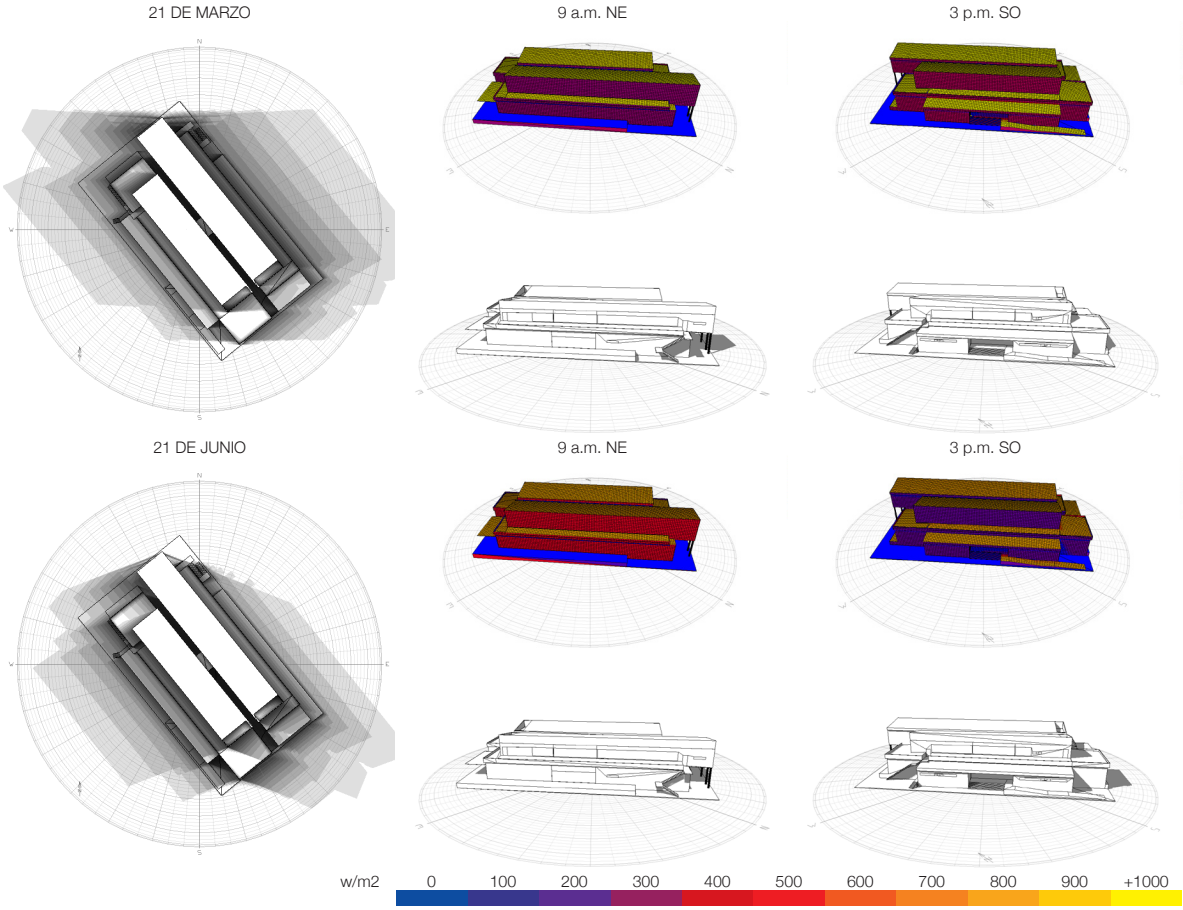


Figura 65. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de marzo y solsticio de junio. Elaboración propia.

270 wh/m2.

Cerca del 21 de setiembre, el sol alcanza una vez más su punto más alto sobre el horizonte. Esto significa nuevamente, una concentración de cargas térmicas en superficies horizontales, las cuales alcanzan los 900 wh/m2, y una disminución de la incidencia solar principalmente en fachadas orientadas al Norte y Sur.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Noreste es de 270 wh/m2, mientras al Suroeste es de 180 wh/m2.

Cerca del 21 de diciembre, los rayos solares alcanzan su punto más bajo al Sur, con una inclinación de 33.5º con respecto al cenit. Esto significa el aumento de cargas térmicas para las fachadas orientadas al Sur, alcanzando los 540 wh/m2. La incidencia solar en superficies horizontales se reduce, con valores máximos de 900 wh/m2.

La incidencia solar directa es mayor durante las tardes, por lo que el valor máximo al Noreste es de 90 wh/m2, mientras al Suroeste es de 540 wh/m2.

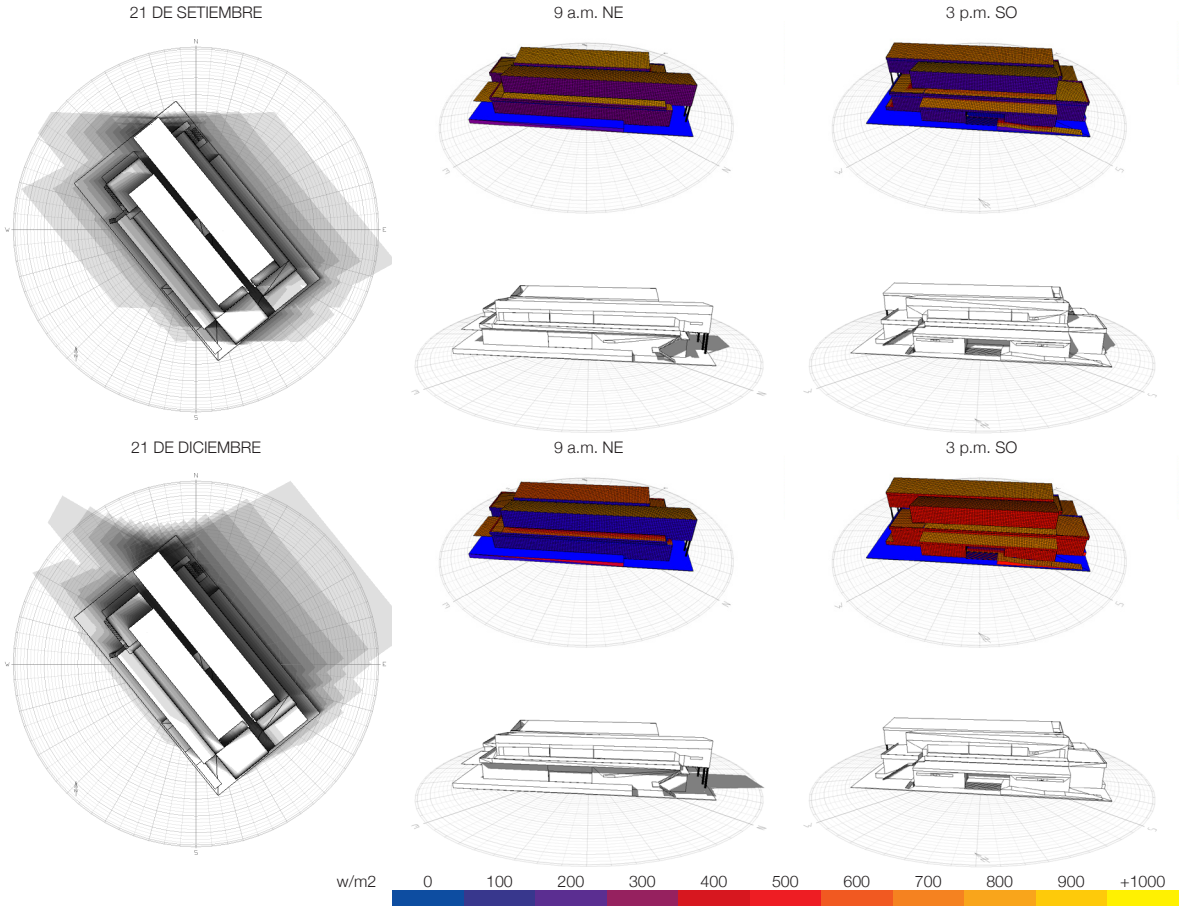
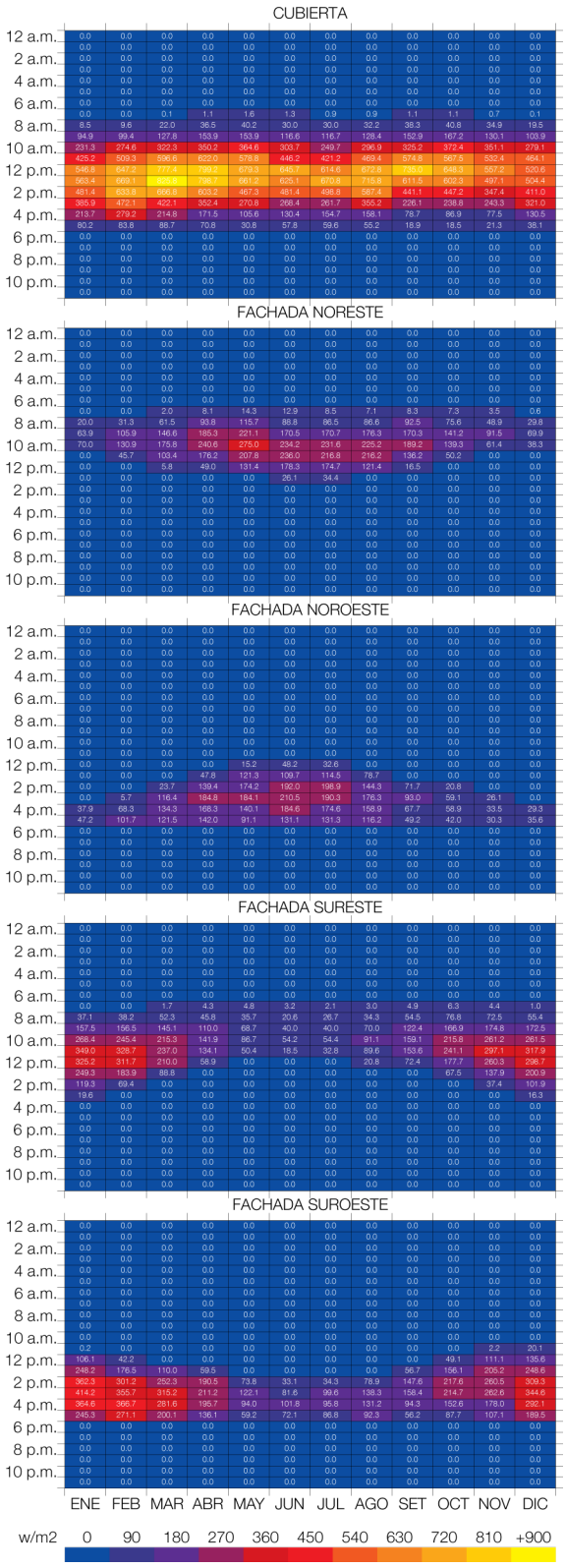


Figura 66. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de setiembre y solsticio de diciembre. Elaboración propia.



Radiación. La cubierta recibe mensualmente entre 10 y 11 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 825.8 w/m2. Recibe una mayor incidencia alrededor de los equinoccios; y una menor incidencia durante los meses de noviembre a enero. Durante el día, los valores máximos ocurren alrededor del mediodía, entre las 11 a.m. y las 2 p.m.

La fachada Noroeste recibe mensualmente entre 2 y 6 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 210.5 w/m2. Recibe una mayor incidencia cuando el sol se encuentra al Norte, durante los meses de mayo a julio; y una menor incidencia cuando el sol se encuentra al Sur, durante los meses de noviembre a enero. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 2 y las 4 p.m.

La fachada Sureste recibe mensualmente entre 5 y 9 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 349.0 w/m2. Recibe una mayor incidencia cuando el sol se encuentra al Sur, durante los meses de diciembre a febrero; y una menor incidencia cuando el sol se encuentra al Norte, durante los meses de mayo a julio. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 10 a.m. y la 1 p.m.

La fachada Noreste recibe mensualmente entre 3 y 7 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 275.0 w/m2. Recibe una mayor incidencia durante los meses de abril y mayo; y una menor incidencia durante

Figura 67. Incidencia anual de radiación por componente. Elaboración propia.

los meses de diciembre y enero. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 9 y las 11 a.m.

La fachada Suroeste recibe mensualmente entre 4 y 7 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 414.2 w/m2. Recibe una mayor incidencia durante los meses de diciembre a febrero; y una menor incidencia durante los meses de junio y julio. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 2 y las 4 p.m.

Vientos. La topografía del contexto es plana y no incide de manera importante en el comportamiento de los vientos locales, los cuales provienen predominantemente del Sureste.

Sin embargo, las edificaciones que rodean los módulos C y D, actúan como barreras para los vientos, disminuyendo considerablemente la velocidad de los mismos.

A la altura del primer nivel, se canalizan a través de espacios abiertos, con velocidades que no superan los 0.5 m/s. A mayor altura, se aceleran debido a la baja escala del entorno construido, sobrepasando levemente el 1.0 m/s de velocidad.

Debido a la orientación del edificio, los vientos generan presión positiva en las fachadas Noreste y Sureste, y presión negativa en las fachadas Noroeste y Suroeste. Esto podría provocar la circulación del aire, especialmente en fachadas Noreste y Sureste debido a la falta de obstáculos. Sin embargo la escasez de aberturas, impide que el aire circule al interior del edificio.

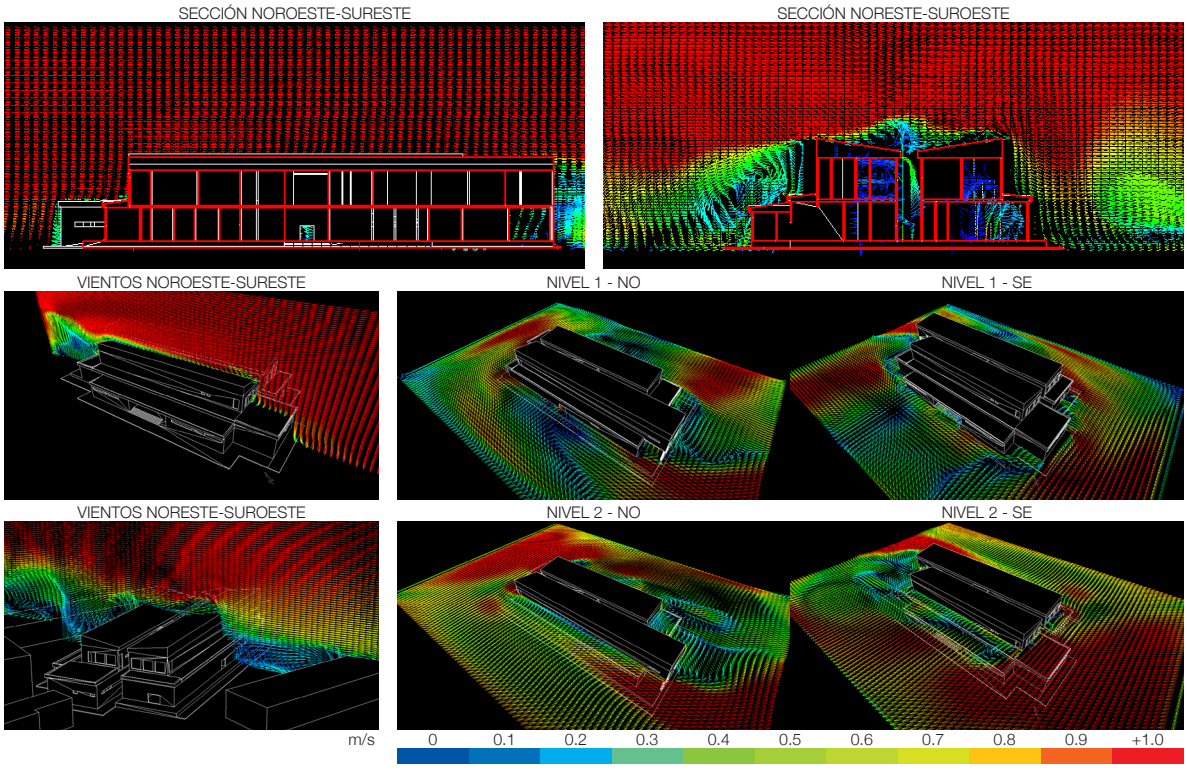


Figura 68. Simulación de vientos locales predominantes. Elaboración propia.

2.2.3 ESCUELA CENTRAL DE ATENAS (ECA)

Su construcción inicia en el año 1953. El edificio es de carácter institucional, con un horario lectivo de lunes a viernes de 7 a.m. a 3 p.m. Cuenta con un total de 92 empleados a tiempo completo, y 807 alumnos, además de un promedio diario de visitas de 40 personas ajenas a la institución.

Figura 69. Escuela Central de Atenas (ECA). Fotografías tomadas por autores.

Contexto y vegetación. Se encuentra ubicada al centro de Atenas, en una zona comercial, residencial y recreativa. Cuenta con dos patios internos de área considerable, con vegetación pequeña o zacate. Su entorno inmediato posee poca vegetación de gran tamaño. Al costado Este, se encuentra una quebrada, al Norte se ubican espacios recreativos y al Sur se encuentra un pequeño jardín con árboles de tamaño mediano.

Pese a la escasez de vegetación de mayor altura, las superficies de jardines cubiertas de zacate contribuyen a la absorción de radiación directa y a un menor porcentaje de reflexión hacia el edificio en los niveles inferiores.

La escuela es la edificación de mayor altura en la zona, por lo que no existe protección o sombreamiento al edificio proveniente del entorno construido. A excepción de la vegetación al Sur, las fachadas restantes no poseen ningún tipo de protección que ayude a mitigar de forma directa la incidencia de los rayos solares.

Configuración. Tiene una configuración de un bloque rectangular con patio central y eje largo en sentido Este-Oeste.

El ingreso principal se ubica en el costado Norte, orientado hacia la calle principal. La fachada Este colinda con viviendas y la Oeste con una calle de asfalto. La fachada posterior Sur, está orientada hacia un jardín propiedad de la escuela.

Está constituido por dos niveles de 4.0 m y 4.5 m de altura y un vacío central de doble altura que coincide con las áreas de pasillos en el primer y segundo nivel.

El edificio posee una huella aproximada de 3882.0 m2, que representa el 32.9% de cobertura, en un lote de 11804.1 m2. De las áreas exteriores, el 40.8% corresponde a zonas verdes que rodean el edificio principal. El 2.6% corresponde al parqueo; el 6.0% a una plazoleta; el 1.5% corresponde al acceso peatonal; el 0.3% corresponde a pasillos externos y el 15.9% restante corresponde a edificaciones secundarias como el comedor, so-

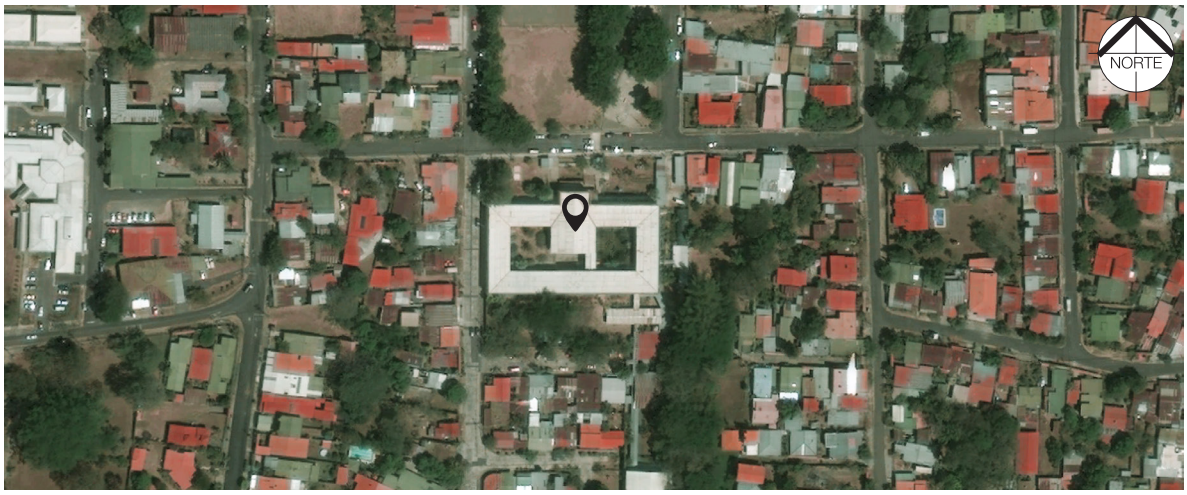


Figura 70. Fotografía satelital del entorno inmediato. Imagen tomada de Google maps.

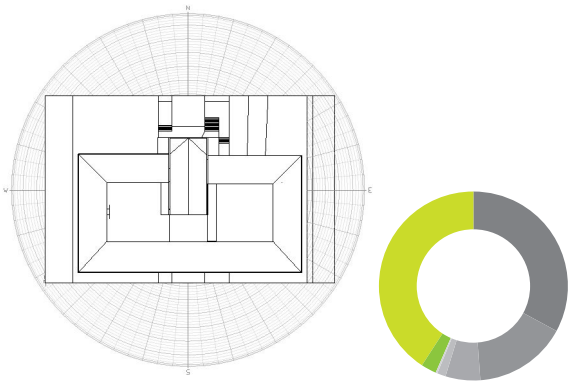
das y algunas aulas especiales.

Las áreas exteriores corresponden casi en su totalidad a superficies naturales que propician la absorción de la radiación incidente.

Sistema constructivo. Corresponde a columnas y vigas de concreto armado y cerramientos en mampostería.

Las cubiertas se estructuran a partir de cerchas de tubo estructural, cubiertas de lámina metálica ondulada que representa un 94.2% del área total de cubiertas. El 5.8% restante, corresponde a una 4 losas de concreto ubicadas en los pasillos y accesos principales al edificio.

Envolvente. La envolvente perimetral tiene un área total de 2380.7 m2, de los cuales sólo el 2.8% corresponden a aberturas de puertas y ventanas. Lo cual es insuficiente para permitir la renovación de aire de forma natural debido a la cantidad de niños.



COBERTURA DEL LOTE	m2	%
HUELLA DEL EDIFICIO	3882.0	32.9%
EDIFICIOS SECUNDARIOS	1880.4	15.9%
PLAZOLETA	703.2	6.0%
ACCESO PEATONAL	173.0	1.5%
PASILLO EXTERNO	35.0	0.3%
PARQUEO	310.0	2.6%
ZONA VERDE	4820.5	40.8%
ÁREA TOTAL	11804.1	100.0%

Figura 71. Tabla de áreas y porcentajes de cobertura del lote. Elaboración propia.

Los materiales predominantes son el concreto, con un 79.4%, el vidrio en ventanas, con un 18.1%; y el 2.5% restante corresponde a puertas metálicas.

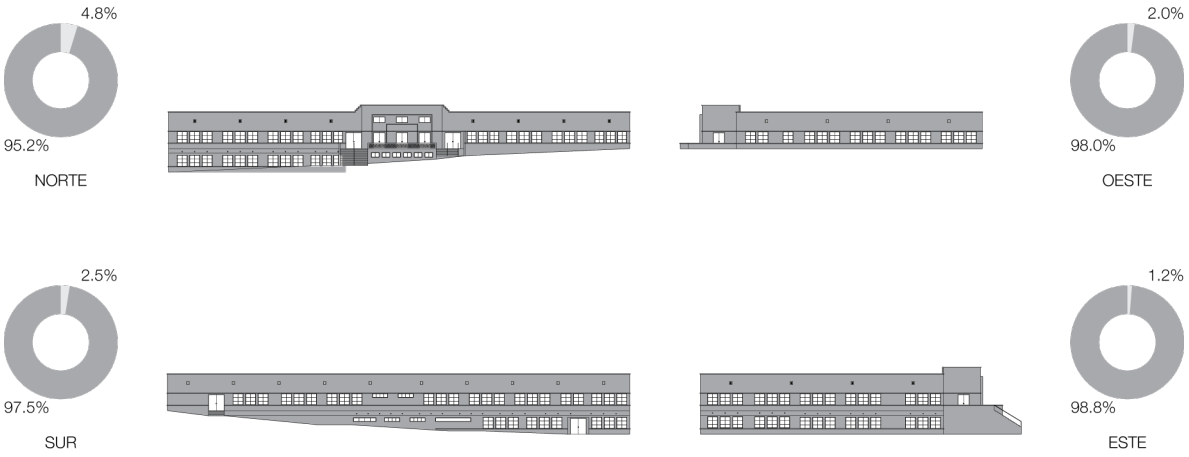
El volumen de aire interno alcanza los 26029.9 m3. Debido a la poca renovación de aire, el aire caliente circula manteniendo las altas temperaturas del interior, las cuales se regulan mediante abanicos de pie.

Las fachadas Este y Oeste representan un 37.5% del total de la envolvente. Cuentan apenas con 1.2% y 2.0% de aberturas respectivamente, correspondientes a puertas y ventanas. Predomina el uso de concreto con un 79.7% al Este, y un 82.1% al Oeste, por lo que las ganancias de calor por transferencia del material son las de mayor relevancia.

La fachada Norte representa un 31.0% del total de la envolvente. Predomina el uso de concreto con un 76.8% y vidrio un 18.7% de la fachada. Las aberturas de puertas y ventanas corresponden a un 4.8% que en su mayoría son ventanas. Las principales ganancias de calor corresponden a las propiedades de transferencia de calor del concreto, y al paso de la radiación a través del vidrio.

La fachada Sur representa un 31.5% del total de la envolvente. Predomina el uso de concreto con un 80.6%, seguido por el uso de vidrio con un 17.3%. Las aberturas de puertas y ventanas

corresponden apenas a un 2.5%. Las principales ganancias de calor por lo tanto, corresponden a las propiedades de transferencia de calor del concreto, y al paso de la radiación a través del vidrio.



FACHADAS	NORTE	31.0%	SUR	31.5%	ESTE	23.5%	OESTE	14.0%	ENVOLVENTE TOTAL	100.0%
MATERIAL	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%
CONCRETO	567.5	76.8%	603.5	80.6%	446.6	79.7%	273.0	82.1%	1890.6	79.4%
VIDRIO	138.1	18.7%	129.8	17.3%	108.0	19.3%	54.0	16.2%	430.0	18.1%
OTRO (PUERTAS)	32.9	4.5%	15.8	2.1%	5.7	1.0%	5.7	1.7%	60.1	2.5%
ÁREA TOTAL	738.5	100.0%	749.2	100.0%	560.3	100.0%	332.7	100.0%	2380.7	100.0%
ABERTURAS	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%
LLENOS	703.4	95.2%	730.5	97.5%	553.3	98.8%	326.0	98.0%	2313.2	97.2%
VACÍOS	35.1	4.8%	18.7	2.5%	7.0	1.2%	6.7	2.0%	67.5	2.8%
ÁREA TOTAL	738.5	100.0%	749.2	100.0%	560.3	100.0%	332.7	100.0%	2380.7	100.0%

Figura 72. Despliegue de la envolvente. Elaboración propia.

Soleamiento. Cerca del 21 de marzo, el sol alcanza su punto más alto sobre el horizonte, el cenit, por lo que los rayos solares se encuentran perpendiculares a la superficie terrestre. Esto significa una concentración de cargas térmicas en superficies horizontales (cubierta y pavimentos), las cuales alcanzan los 1000 wh/m2, y una disminución de la incidencia solar principalmente en fachadas Norte y Sur.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 700 wh/m2, mientras al Oeste es de 300 wh/m2.

Cerca del 21 de junio, los rayos solares alcanzan su punto más bajo al Norte, con una inclinación de 13.5° con respecto al cenit. Esto significa el aumento de cargas térmicas, aunque en menor medida, para la fachada Norte, la cual alcanza los 200 wh/m2. La incidencia solar en superficies horizontales se reduce, con valores máximos de 500 wh/m2.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 350 wh/m2, mientras al Oeste es de 100

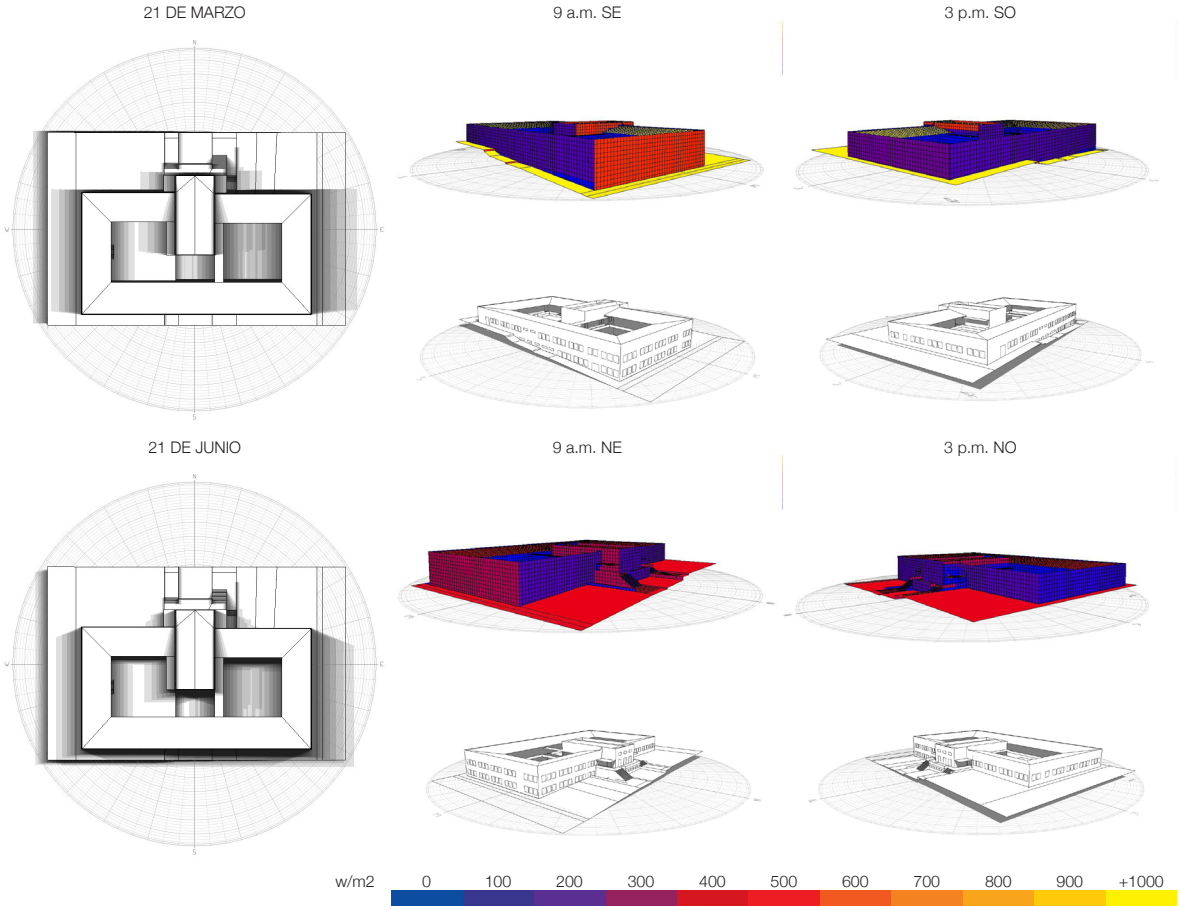


Figura 73. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de marzo y solsticio de junio. Elaboración propia.

wh/m2.

Cerca del 21 de setiembre, el sol alcanza una vez más su punto más alto sobre el horizonte. Esto significa nuevamente, una concentración de cargas térmicas en superficies horizontales, las cuales alcanzan los 900 wh/m2, y una disminución de la incidencia solar principalmente en fachadas Norte y Sur.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 600 wh/m2, mientras al Oeste es de 180 wh/m2.

Cerca del 21 de diciembre, los rayos solares alcanzan su punto más bajo al Sur, con una inclinación de 33.5º con respecto al cenit. Esto significa el aumento de cargas térmicas para la fachada Sur, alcanzando los 360 wh/m2. La incidencia solar en superficies horizontales se reduce, con valores máximos de 600 wh/m2.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 420 wh/m2, mientras al Oeste es de 300 wh/m2.

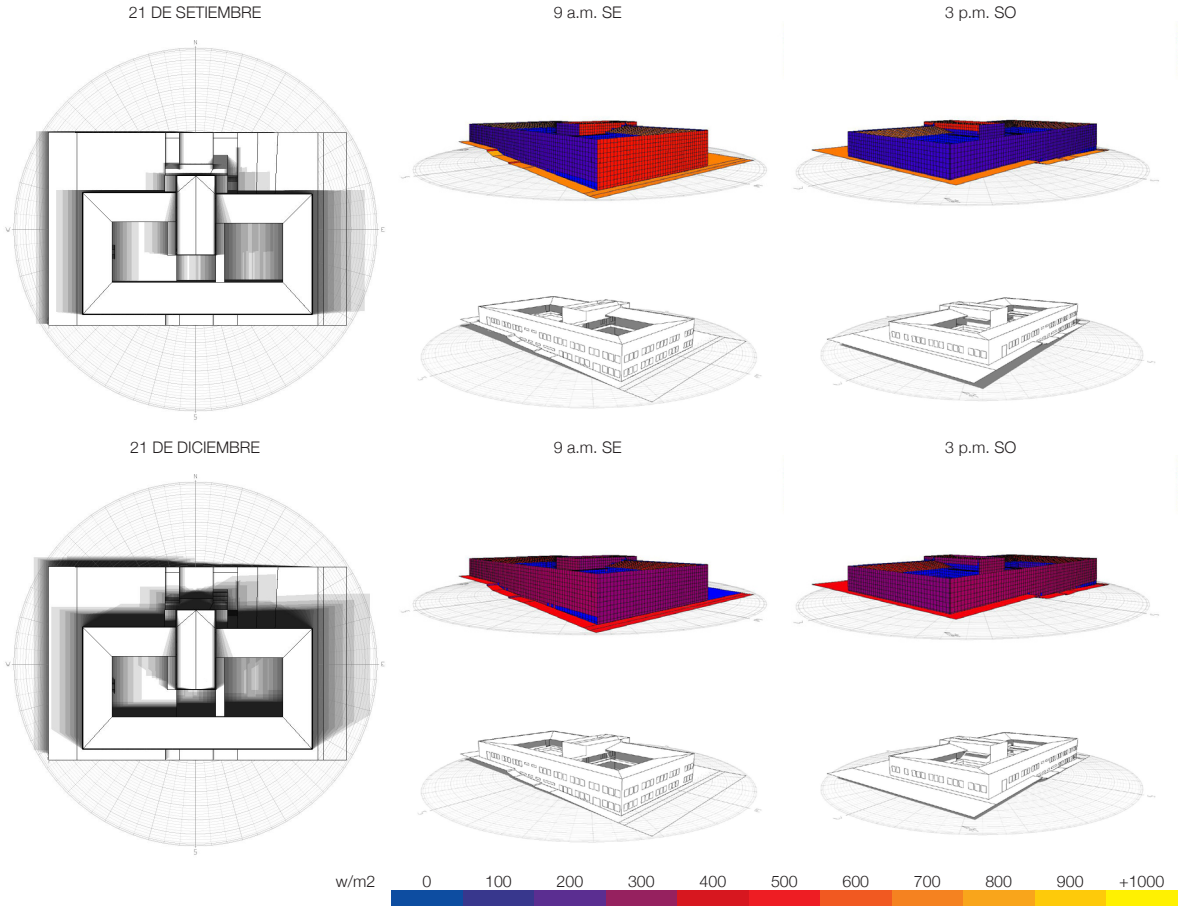
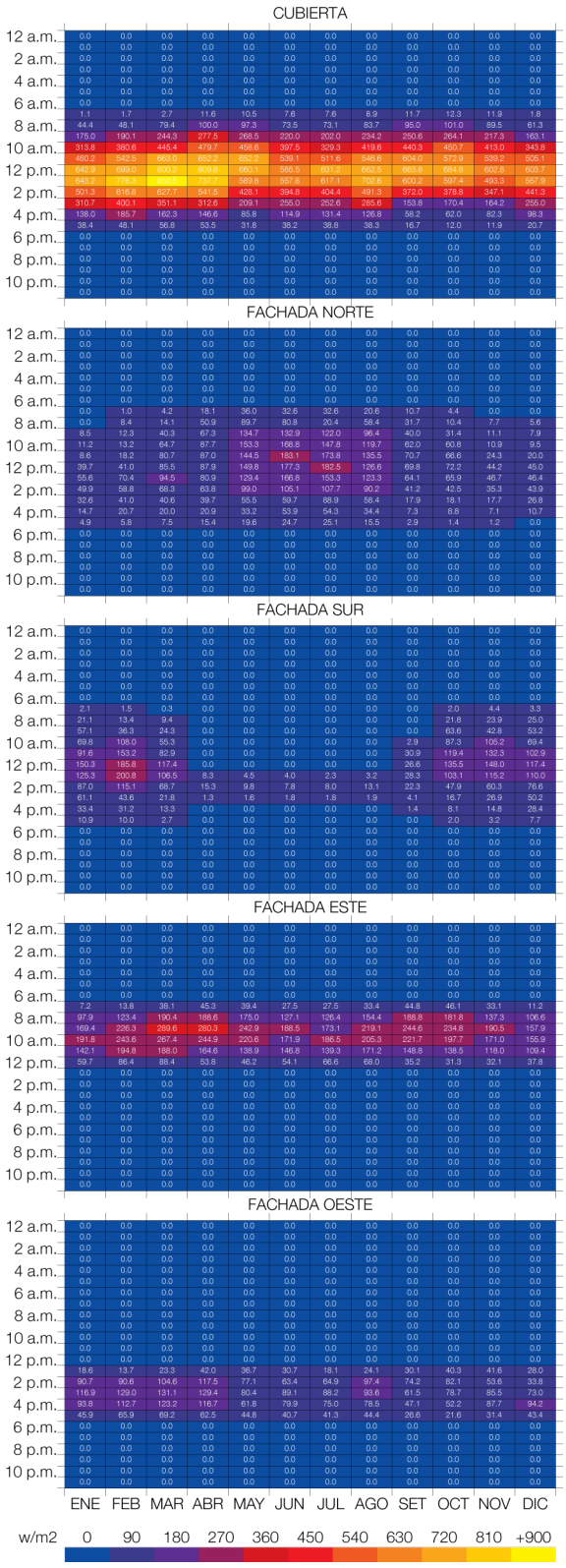


Figura 74. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de setiembre y solsticio de diciembre. Elaboración propia.



Radiación. La cubierta recibe mensualmente entre 10 y 11 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 850.5 w/m2. Recibe una mayor incidencia alrededor de los equinoccios; y una menor incidencia durante los meses de noviembre a enero. Durante el día, los valores máximos ocurren alrededor del mediodía, entre las 11 a.m. y las 2 p.m.

La fachada Norte recibe mensualmente entre 9 y 11 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 183.7 w/m2. Recibe una mayor incidencia cuando el sol se encuentra al Norte, durante los meses de mayo a julio; y una menor incidencia cuando el sol se encuentra al Sur, durante los meses de noviembre a febrero. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 8 y las 2 p.m.

La fachada Sur recibe mensualmente entre 3 y 11 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 200.8 w/m2. Recibe una mayor incidencia durante los meses de octubre y marzo; y una menor incidencia durante los meses de abril y setiembre. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 11 a.m y las 2 p.m.

La fachada Este recibe mensualmente 6 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 289.5 w/m2. Recibe una mayor incidencia durante los meses de febrero a abril; y una menor incidencia durante los meses de junio y julio. Durante el día, los valores máximos ocurren

Figura 75. Incidencia anual de radiación por componente. Elaboración propia.

entre las 9 y las 11 a.m.

La fachada Oeste recibe mensualmente 5 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 131.0 w/m2. Recibe una mayor incidencia durante los meses de febrero a abril, y una menor incidencia durante el mes de setiembre. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 3 y las 5 p.m.

Vientos. El terreno inmediato al edificio es relativamente inclinado con una pendiente en dirección Oeste-Este, pero no llega a incidir de manera importante en el comportamiento de los vientos locales; los cuales provienen predominantemente del Noreste.

Sin embargo, el entorno que rodea el edificio es urbano y de baja escala, por lo que los vientos son calmos debido a la diversidad de obstáculos que encuentran.

A la altura del primer nivel, se canalizan a través de calles y bloques residenciales con velocidades que no superan los 0.5 m/s. A mayor altura, se aceleran debido a la baja escala del entorno construido, aunque no sobrepasan los 1.1 m/s.

Debido a la orientación del edificio, los vientos generan presión positiva en las fachadas Norte y Este, y presión negativa en la fachada Oeste. Sin embargo la baja velocidad del aire no afecta el interior del edificio.

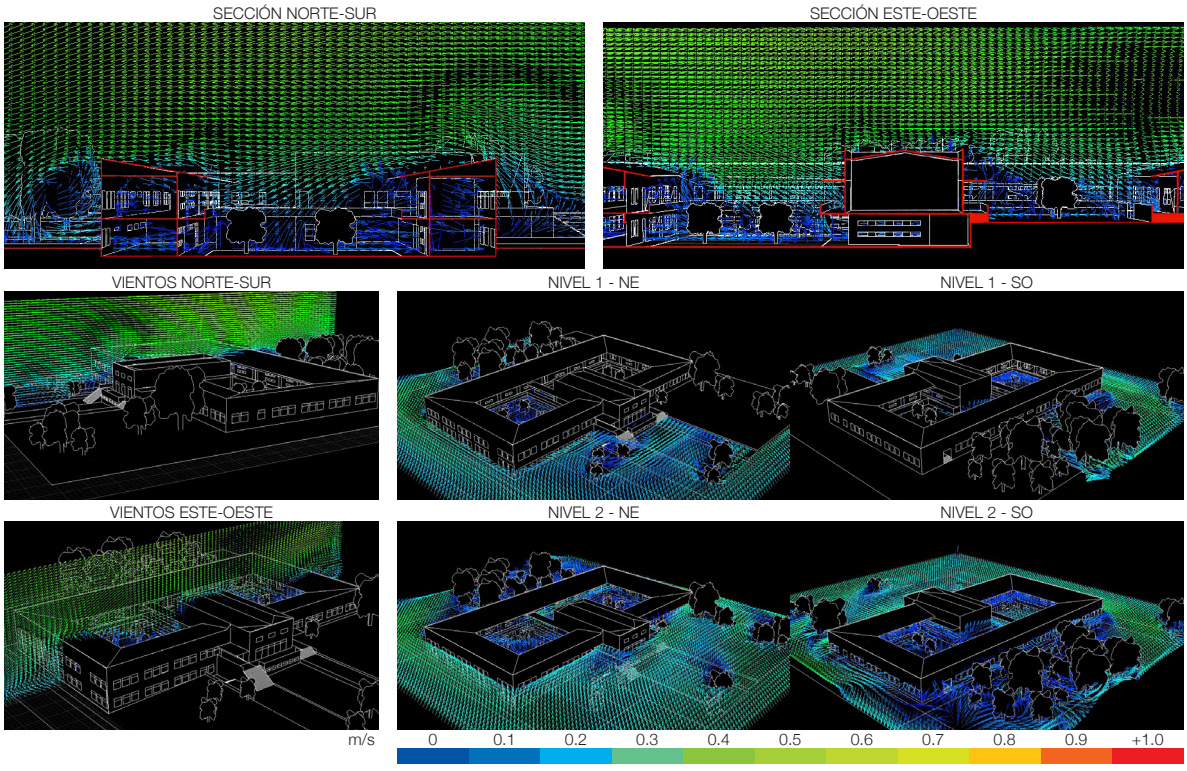


Figura 76. Simulación de vientos locales predominantes. Elaboración propia.

2.2.4 PALACIO MUNICIPAL DE OROTINA (PMO)

Su construcción se realiza en la administración 1970-1974. El edificio es de caracter institucional, con un horario laboral de lunes a jueves de 7 a.m. a 4 p.m. y viernes de 7 a.m. a 3 p.m. Cuenta con un total de 113 empleados a tiempo completo.

Figura 77. Palacio Municipal de Orotina (PMO). Fotografías tomadas por autores.

Contexto y vegetación. Se encuentra ubicado al costado Sur del parque central de Orotina, en una zona de actividad comercial e institucional. Su entorno inmediato consiste en otros edificios institucionales, comercios de un nivel, y el parque central. Carece de vegetación cercana, a excepción de la existente en el parque central.

No existe vegetación inmediata al edificio debido a la densidad de las edificaciones aledañas, cuya huella ocupa casi la totalidad de los lotes donde se ubican. Cuenta con algunos arbustos de poca altura en su fachada Oeste.

Debido a la escasez de vegetación inmediata, la vegetación más cercana no provee sombreamiento al edificio. De igual forma, la baja altura de las construcciones cercanas genera que la radiación que incide en sus cubiertas, sea reflejada a las superficies de la envolvente del Palacio Municipal.

Configuración. Tiene una configuración de un sólo bloque rectangular con eje largo en sentido Norte-Sur, y una rotación de 8° hacia el Este.

El ingreso principal al edificio se ubica en el costado Norte, orientado hacia la calle principal. Las fachadas Este y Sur son colindantes con vivienda y comercios vecinos. La fachada Oeste es la más larga y está orientada hacia la calle. Está constituido por dos niveles de 3.5 m de altura.

El edificio posee una huella aproximada de 634.0 m2, que representa el 86.9% de cobertura, en un lote de 729.4 m2. Las áreas exteriores, están conformadas por un pasillo adyacente a la fachada Oeste y gradas y rampas de acceso en fachadas Norte y Oeste, que corresponde al 9.9% de cobertura. Las áreas exteriores son de concreto, algunas enchapadas en mosaico y otras en su estado natural. Tres maceteros en la fachada Oeste, representan el área ocupada por vegetación con un 3.2% de cobertura.

Las áreas exteriores corresponden casi en su totalidad a superficies de concreto que generan un aumento de la radiación reflejada hacia las

Figura 78. Fotografía satelital del entorno inmediato. Imagen tomada de Google maps.

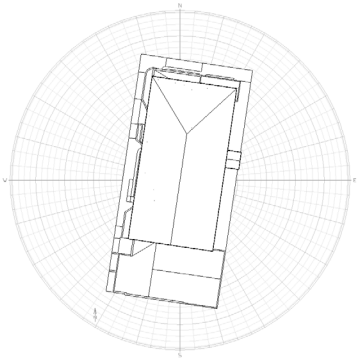
envolventes del Palacio Municipal, y por lo tanto, ganancias de calor al interior de los espacios.

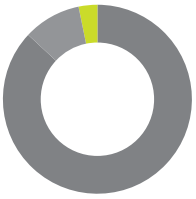
Sistema constructivo. Corresponde a muros y columnas de concreto armado, con cerramientos originales en mampostería y modificaciones posteriores en sistema liviano.

La cubierta se estructura a partir de cerchas de tubo estructural, cubiertas de lámina metálica ondulada que representa un 99% del área total de cubiertas. El porcentaje restante, menor a un 1%, corresponde a una losa de concreto del acceso de carga y descarga al costado Oeste.

Envolvente. La envolvente perimetral tiene un área total de 882.8 m2, de los cuales 11.6% corresponde a ventanas sin posibilidad de apertura, y solo un 2.3% de aberturas permite el paso del aire, lo cual es insuficiente para la renovación de aire de forma natural.

Los materiales predominantes son el concreto, con 77.4%, el vidrio con un 11.6% y el fibrocemento con un 7.3% de cobertura.





COBERTURA DEL LOTE	m2	%
HUELLA DEL EDIFICIO	634.0	86.9%
ACCESO PEATONAL	72.0	9.9%
ZONA VERDE	23.4	3.2%
ÁREA TOTAL	729.4	100.0%

Figura 79. Tabla de áreas y porcentajes de cobertura del lote. Elaboración propia.

El volumen de aire interno alcanza los 2447.5 m3. Debido a que no hay renovación de aire, el aire caliente circula manteniendo las altas temperaturas del interior. El edificio posee aire acondicionado casi en su totalidad.

Las fachadas Este y Oeste representan un 65.0% del total de la envolvente. Son mayormente ciegas por colindancia en el primer nivel, y cuentan sólo con 3.0% de aberturas al Oeste. Predomina el uso de concreto con un 85.9% al Este, y un 76.4% al Oeste, por lo que las ganancias de calor por transferencia del material son las de mayor relevancia.

La fachada Norte representa un 13.9% del total de la envolvente. Predomina el uso de concreto con un 43.6%, seguido de vidrio con un 39.6% en puertas y ventanas. Las ventanas son fijas y las puertas permanecen cerradas debido al uso de aire acondicionado. Estas no satisfacen las necesidades de renovación de aire interno, pero sí permiten el paso de luz natural y cargas térmicas por radiación a través del vidrio.

La fachada Sur representa un 21.2% del total de la envolvente. Predomina el uso de concreto con un 88.2%. El porcentaje de ventanas es de 1.8% y de aberturas apenas a un 0.6%, insuficientes para satisfacer las necesidades de renovación de aire interno. Las principales ganancias de calor por lo tanto, corresponden a las propiedades de transferencia de calor del concreto, y al paso de la radiación a través del vidrio.

FACHADAS	NORTE	13.9%	SUR	21.2%	ESTE	31.8%	OESTE	33.2%	ENVOLVENTE TOTAL	100.0%
MATERIAL	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%
CONCRETO	53.3	43.6%	164.9	88.2%	240.8	85.9%	224.1	76.4%	683.0	77.4%
FIBROCEMENTO	10.1	8.2%	18.8	10.0%	18.3	6.5%	17.1	5.8%	64.3	7.3%
VIDRIO	48.4	39.6%	3.3	1.8%	21.3	7.6%	29.5	10.1%	102.5	11.6%
OTRO (PUERTAS)	10.6	8.7%	-	-	-	-	8.7	3.0%	19.3	2.2%
METAL	-	-	-	-	-	-	11.7	4.0%	11.7	1.3%
MADERA	-	-	-	-	-	-	2.1	0.7%	2.1	0.2%
ÁREA TOTAL	122.3	100.0%	187.0	100.0%	280.4	100.0%	293.2	100.0%	882.8	100.0%
ABERTURAS	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%
LLENOS	111.7	91.3%	185.9	99.4%	280.4	100.0%	284.5	97.0%	862.4	97.7%
VACÍOS	10.6	8.7%	1.1	0.6%	0	0%	8.7	3.0%	20.4	2.3%
ÁREA TOTAL	122.3	100.0%	187.0	100.0%	280.4	100.0%	293.2	100.0%	882.8	100.0%

Figura 80. Despliegue de la envolvente. Elaboración propia.

Soleamiento. Cerca del 21 de marzo, el sol alcanza su punto más alto sobre el horizonte, el cenit, por lo que los rayos solares se encuentran perpendiculares a la superficie terrestre. Esto significa una concentración de cargas térmicas en superficies horizontales (cubierta y pavimentos), las cuales alcanzan los 1100 wh/m2, y una disminución de la incidencia solar principalmente en fachadas Norte y Sur.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 660 wh/m2, mientras al Oeste es de 330 wh/m2.

Cerca del 21 de junio, los rayos solares alcanzan su punto más bajo al Norte, con una inclinación de 13.5° con respecto al cenit. Esto significa el aumento de cargas térmicas, aunque en menor medida, para la fachada Norte, la cual alcanza los 330 wh/m2. La incidencia solar en superficies horizontales se reduce, con valores máximos de 660 wh/m2.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 440 wh/m2, mientras al Oeste es de 220

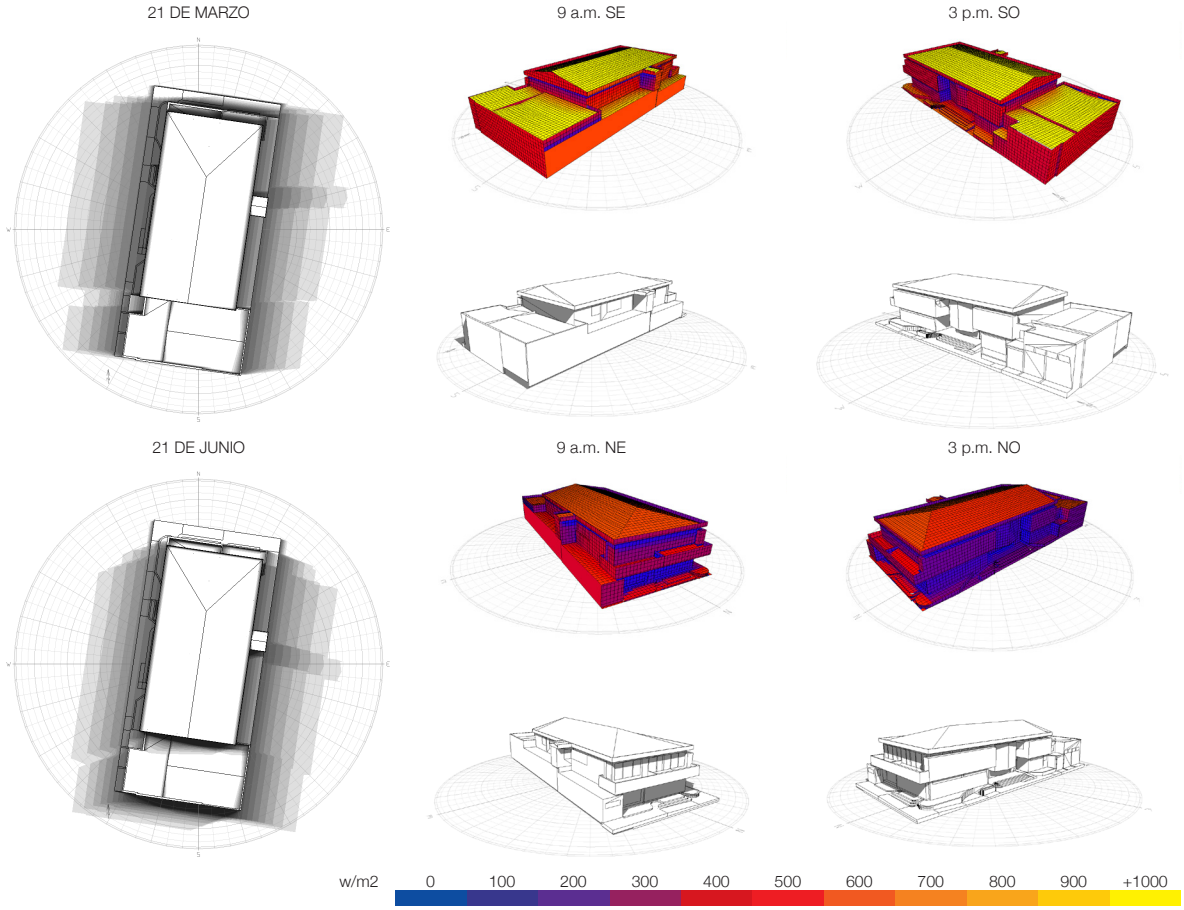


Figura 81. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de marzo y solsticio de junio. Elaboración propia.

wh/m2.

Cerca del 21 de setiembre, el sol alcanza una vez más su punto más alto sobre el horizonte. Esto significa nuevamente, una concentración de cargas térmicas en superficies horizontales, las cuales alcanzan los 1100 wh/m2, y una disminución de la incidencia solar principalmente en fachadas Norte y Sur.

La incidencia solar directa es mayor durante las tardes, por lo que el valor máximo al Este es de 440 wh/m2, mientras al Oeste es de 550 wh/m2.

Cerca del 21 de diciembre, los rayos solares alcanzan su punto más bajo al Sur, con una inclinación de 33.5º con respecto al cenit. Esto significa el aumento de cargas térmicas para la fachada Sur, alcanzando los 660 wh/m2. La incidencia solar en superficies horizontales se reduce, con valores máximos de 880 wh/m2.

La incidencia solar directa es mayor durante las tardes, por lo que el valor máximo al Este es de 660 wh/m2, mientras al Oeste es de 770 wh/m2.

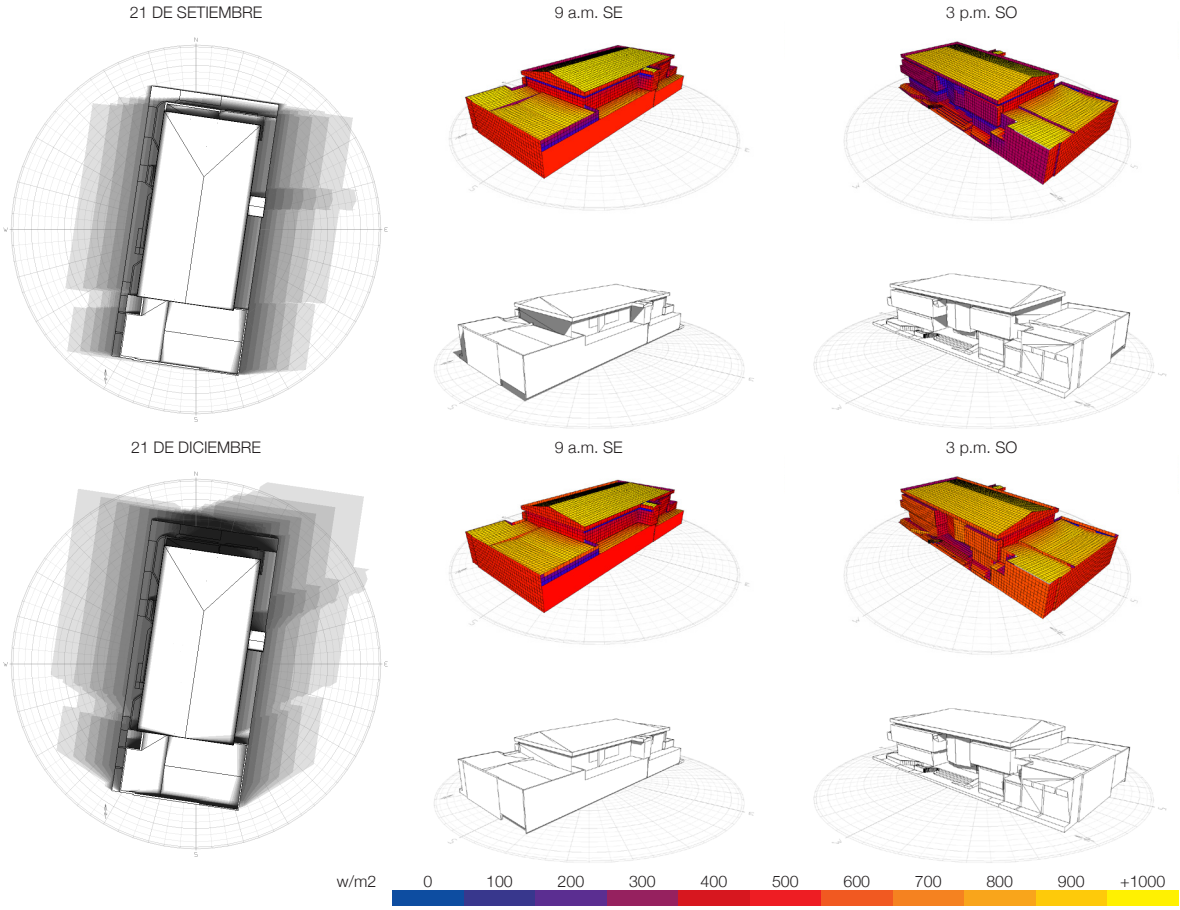
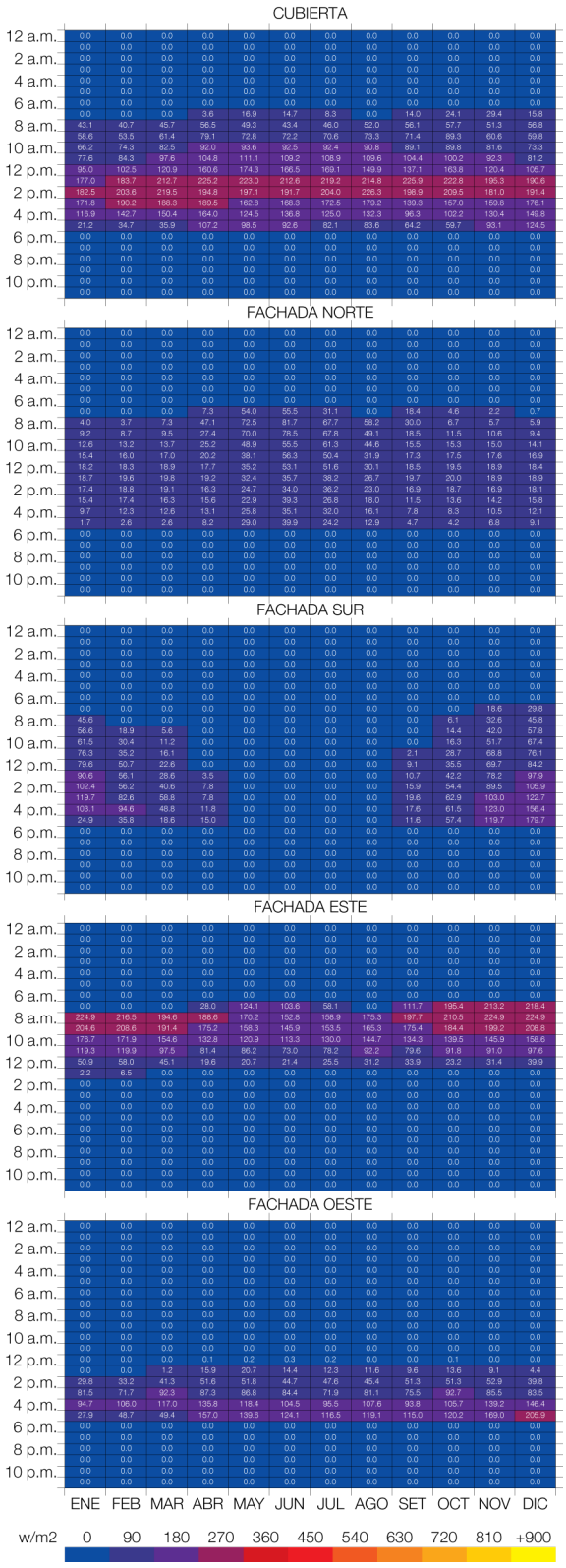


Figura 82. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de setiembre y solsticio de diciembre. Elaboración propia.



Radiación. La cubierta recibe mensualmente entre 9 y 10 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 226.3 w/m2. Recibe una mayor incidencia en los meses de abril y mayo; y una menor incidencia durante los meses de enero y febrero. Durante el día, los valores máximos ocurren alrededor del mediodía, entre las 12 y las 2 p.m.

La fachada Norte recibe mensualmente entre 9 y 10 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 81.7 w/m2. Recibe una mayor incidencia cuando el sol se encuentra al Norte, durante los meses de abril a julio; y una menor incidencia cuando el sol se encuentra al Sur, durante los meses de noviembre a enero. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 8 y las 10 a.m.

La fachada Sur recibe mensualmente entre 0 y 9 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 179.7 w/m2. Recibe una mayor incidencia cuando el sol se encuentra al Sur, durante los meses de noviembre y diciembre; y una menor incidencia cuando el sol se encuentra al Norte, durante los meses de mayo a agosto. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 3 y las 5 p.m.

La fachada Este recibe mensualmente entre 5 y 6 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 218.4 w/m2. Recibe una mayor incidencia durante los meses de octubre a diciembre; y una menor incidencia durante

Figura 83. Incidencia anual de radiación por componente. Elaboración propia.

los meses de junio a agosto. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 8 y las 9 a.m.

La fachada Oeste recibe mensualmente entre 4 y 5 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 205.9 w/m2. Recibe una mayor incidencia durante los meses de noviembre y diciembre; y una menor incidencia durante los meses de enero y febrero. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 3 y las 5 p.m.

Vientos. El terreno inmediato al edificio es relativamente plano, por lo que no incide de manera importante en el comportamiento de los vientos locales, los cuales provienen predominantemente del Noreste.

Sin embargo, los vientos que inciden no solamente son de muy baja velocidad sino que también encuentran diversidad de obstáculos debido a que el entorno que rodea el edificio es urbano, denso y de baja escala.

Se canalizan a través de calles y avenidas, con velocidades que no superan los 0.3 m/s.

Debido a la orientación del edificio, los vientos generan presión positiva en las fachadas Oeste y Sur, y presión negativa en la fachada Norte. Sin embargo la baja velocidad del aire no afecta el interior del edificio.

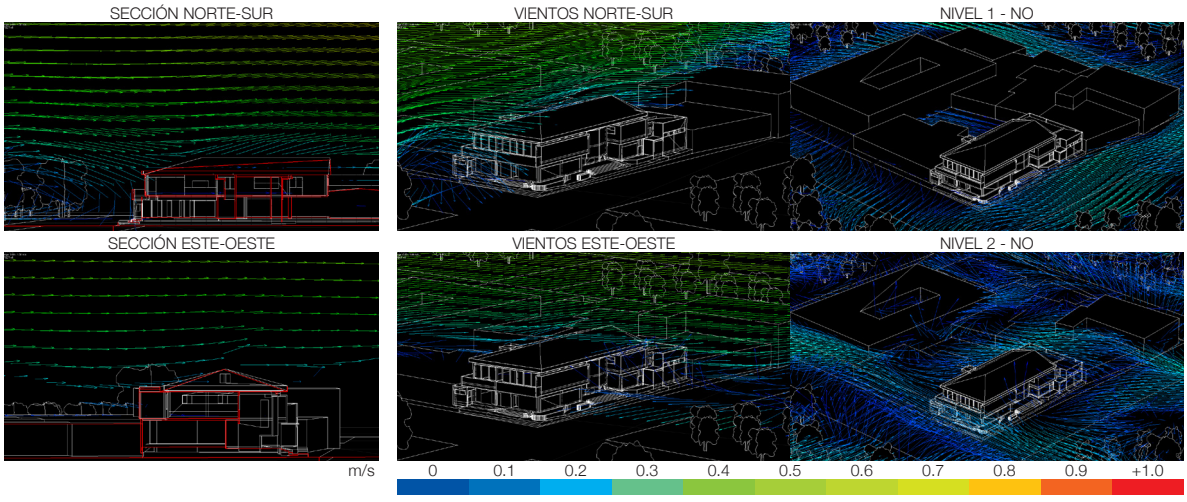


Figura 84. Simulación de vientos locales predominantes. Elaboración propia.

2.2.5 PALACIO MUNICIPAL DE ESPARZA (PME)

Su construcción inicia en el 2014 y finaliza en el 2015. El edificio es de carácter institucional, con un horario laboral de lunes a jueves de 7 a.m. a 4 p.m. y viernes de 7 a.m. a 3 p.m. Cuenta con un total de 118 empleados a tiempo completo, y se atiende un promedio diario de 100 a 125 personas.

Figura 85. Palacio Municipal de Esparza (PME). Fotografías tomadas por autores.

Contexto y vegetación. Se encuentra ubicado en una zona principalmente residencial, en el centro de la ciudad de Esparza. Las masas de vegetación más importantes se encuentran hacia el Suroeste. Sin embargo el entorno inmediato consiste en lotes pequeños ocupados con casas de habitación de un nivel, donde los jardines y la vegetación son casi nulos.

La vegetación inmediata al edificio es muy escasa. Únicamente cuenta con zacate block en el parqueo frontal, y recibe sombreamiento de un almendro de playa ubicado al Noroeste, en el lote vecino.

Debido a la escasez y baja altura, la vegetación cercana no provee sombreamiento al edificio. De igual forma, la baja altura de las construcciones cercanas ocasiona que la radiación que incide en las cubiertas, sea reflejada hacia las superficies de la envolvente del Palacio Municipal.

Configuración. Tiene una configuración de un sólo bloque rectangular con eje longitudinal en sentido Norte-Sur, y una rotación de 21° hacia el Este.

El ingreso principal se ubica en el costado Norte, orientado hacia la calle principal. Las fachadas Este y Oeste corresponden a colindancias con lotes vecinos. La fachada posterior Sur, está orientada hacia un patio cubierto de adoquines y rodeado por muros de concreto.

Está constituido por tres niveles de 4.0 m de altura y un vacío central de triple altura que coincide con las áreas de atención al público, en el nivel inferior, y las áreas de circulación en los niveles superiores.

El edificio posee una huella aproximada de 503.6 m2, que representa el 43.5% de cobertura, en un lote de 1158.4 m2. Sin embargo de las áreas exteriores, el 23.2% que corresponde al patio posterior Sur, se encuentra cubierto de adoquines; el 24.1% que corresponde a accesos vehicular y peatonal, se encuentran cubiertos de concreto; y sólo un 9.2% que corresponde al

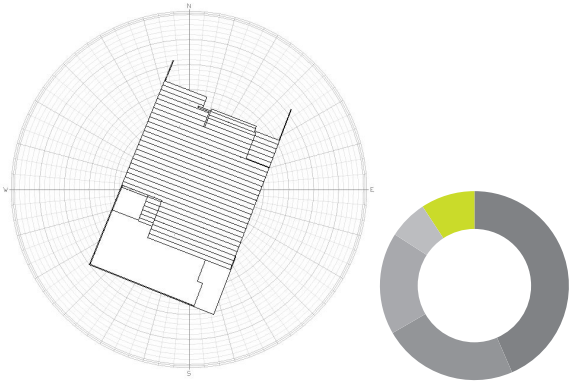
Figura 86. Fotografía satelital del entorno inmediato. Imagen tomada de Google maps.

parqueo frontal Norte, se encuentra cubierto de zacate block.

Las áreas exteriores corresponden casi en su totalidad a superficies de concreto que generan un aumento de la radiación reflejada hacia las envolventes Norte y Sur del Palacio Municipal, y por lo tanto, ganancias de calor al interior de los espacios.

Sistema constructivo. Corresponde a estructura primaria en concreto armado, cerramientos de mampostería y muros cortina en fachadas principales.

La cubiertas son curvas en su mayoría, y se estructuran a partir de cerchas de tubo estructural, cubiertas de lámina metálica ondulada que representa un 92.9% del área total de cubiertas. El 7.1% restante, corresponde a una losa de concreto que cubre las oficinas del patio posterior.



COBERTURA DEL LOTE	m2	%
HUELLA DEL EDIFICIO	503.6	43.5%
PATIO POSTERIOR	268.4	23.2%
ACCESO VEHICULAR	202.1	17.4%
ACCESO PEATONAL	77.4	6.7%
PARQUEO PÚBLICO	106.9	9.2%
ÁREA TOTAL	1158.4	100.0%

Figura 87. Tabla de áreas y porcentajes de cobertura del lote. Elaboración propia.

Envolvente. La envolvente perimetral tiene un área total de 1486.2 m2, de los cuales sólo el 3.9% corresponden a aberturas de puertas y ventanas, insuficientes para permitir la renovación de aire de forma natural.

Los materiales predominantes son el concreto, con un 64.9%; el vidrio en muros cortina y ventanas, con un 18.4%; y el fibrocemento en tapicheles, con un 15.4% de cobertura.

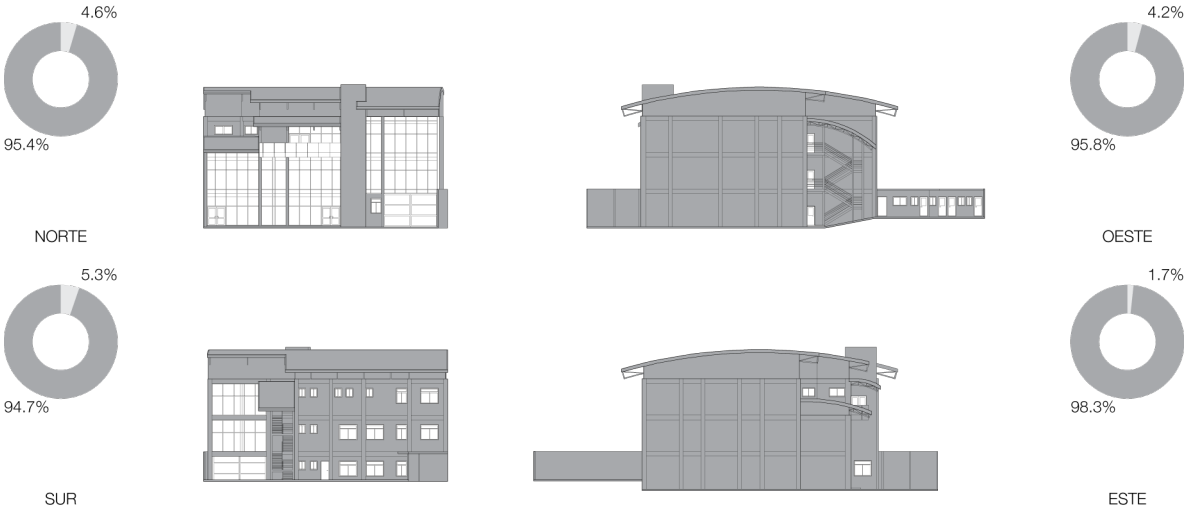
El volumen de aire interno alcanza los 4603.4 m3. Debido a que no hay renovación de aire, el aire caliente circula manteniendo las altas temperaturas del interior. El edificio posee aire acondicionado casi en su totalidad.

Las fachadas Este y Oeste representan un 54.0% del total de la envolvente. Son mayormente ciegas por colindancia, y cuentan apenas con un 1.7% y 4.2% de aberturas respectivamente, que en su mayoría se orientan al Oeste y corresponden a puertas. Predomina el uso de concreto con un 81.5% al Este, y un 79.6% al Oeste, por lo que las ganancias de calor por transferencia del material son las de mayor relevancia.

La fachada Norte representa un 23.6% del total de la envolvente. Predomina el uso de vidrio con un 51.0%, con aberturas que suman apenas un 4.6% de la fachada. Las aberturas corresponden en su mayoría a puertas, y son insuficientes para satisfacer las necesidades de renovación de aire interno, pero sí permiten el paso de luz natural y cargas térmicas por radiación a través del vidrio.

La fachada Sur representa un 22.4% del total

de la envolvente. Predomina el uso de concreto con un 58.8%, seguido por el uso de vidrio con un 24.0%. Las aberturas corresponden apenas a un 5.3%, insuficientes para satisfacer las necesidades de renovación de aire interno. Las principales ganancias de calor corresponden a las propiedades de transferencia de calor del concreto, y al paso de la radiación a través del vidrio.



FACHADAS	NORTE	23.6%	SUR	22.4%	ESTE	25.7%	OESTE	28.3%	ENVOLVENTE TOTAL	100.0%
MATERIAL	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%
CONCRETO	122.7	35.0%	195.3	58.8%	311.2	81.5%	335.2	79.6%	964.4	64.9%
FIBROCEMENTO	49.4	14.1%	53.3	16.0%	60.5	15.8%	66.1	15.7%	229.3	15.4%
VIDRIO	178.9	51.0%	79.7	24.0%	10.2	2.7%	4.6	1.1%	273.4	18.4%
OTRO (PUERTAS)	-	-	3.9	1.2%	-	-	15.3	3.6%	19.2	1.3%
ÁREA TOTAL	350.9	100.0%	332.2	100.0%	381.9	100.0%	421.2	100.0%	1486.2	100.0%
ABERTURAS	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%
LLENOS	334.9	95.4%	314.8	94.7%	375.4	98.3%	403.6	95.8%	1428.7	96.1%
VACÍOS	16.0	4.6%	17.5	5.3%	6.5	1.7%	17.6	4.2%	57.5	3.9%
ÁREA TOTAL	350.9	100.0%	332.2	100.0%	381.9	100.0%	421.2	100.0%	1486.2	100.0%

Figura 88. Despliegue de la envolvente. Elaboración propia.

Soleamiento. Cerca del 21 de marzo, el sol alcanza su punto más alto sobre el horizonte, el cenit, por lo que los rayos solares se encuentran perpendiculares a la superficie terrestre. Esto significa una concentración de cargas térmicas en superficies horizontales (cubierta, losa y pavimentos), las cuales alcanzan los 1000 wh/m2, y una disminución de la incidencia solar principalmente en fachadas Norte y Sur.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 700 wh/m2, mientras al Oeste es de 300 wh/m2.

Cerca del 21 de junio, los rayos solares alcanzan su punto más bajo al Norte, con una inclinación de 13.5° con respecto al cenit. Esto significa el aumento de cargas térmicas, aunque en menor medida, para la fachada Norte, la cual alcanza los 300 wh/m2. La incidencia solar en superficies horizontales se reduce, con valores máximos de 500 wh/m2.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 300 wh/m2, mientras al Oeste es de 100

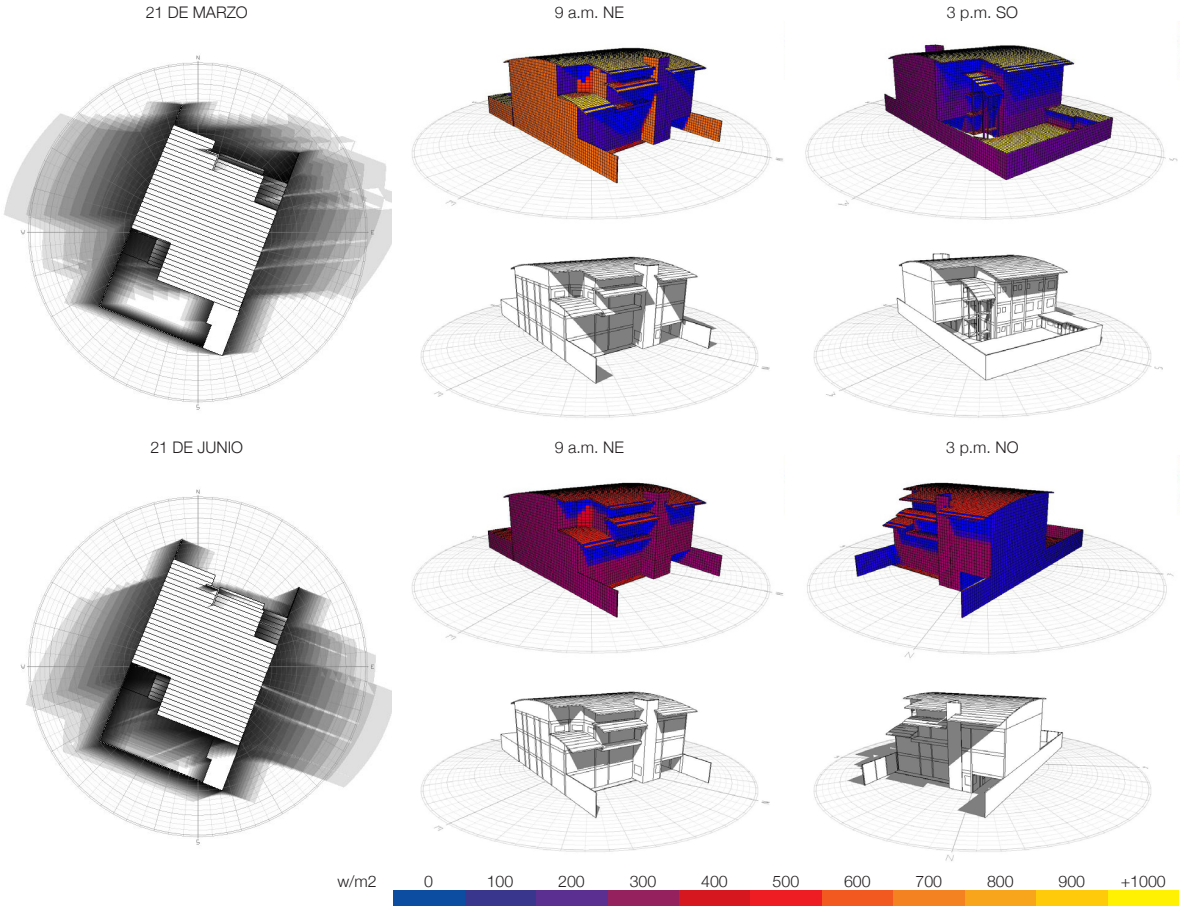


Figura 89. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de marzo y solsticio de junio. Elaboración propia.

wh/m2.

Cerca del 21 de setiembre, el sol alcanza una vez más su punto más alto sobre el horizonte. Esto significa nuevamente, una concentración de cargas térmicas en superficies horizontales, las cuales alcanzan los 1000 wh/m2, y una disminución de la incidencia solar principalmente en fachadas Norte y Sur.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 500 wh/m2, mientras al Oeste es de 100 wh/m2.

Cerca del 21 de diciembre, los rayos solares alcanzan su punto más bajo al Sur, con una inclinación de 33.5º con respecto al cenit. Esto significa el aumento de cargas térmicas para la fachada Sur, alcanzando los 400 wh/m2. La incidencia solar en superficies horizontales se reduce, con valores máximos de 800 wh/m2.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 500 wh/m2, mientras al Oeste es de 200 wh/m2.

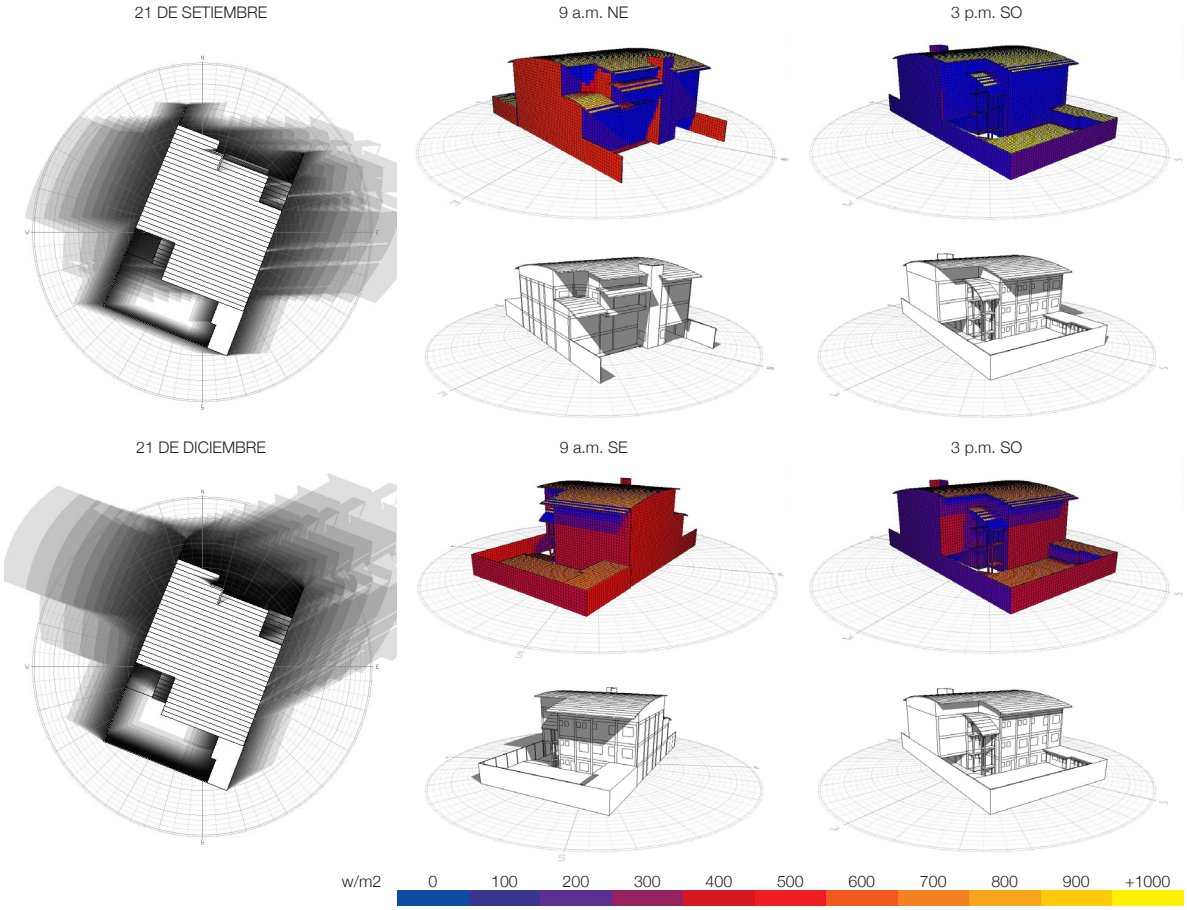
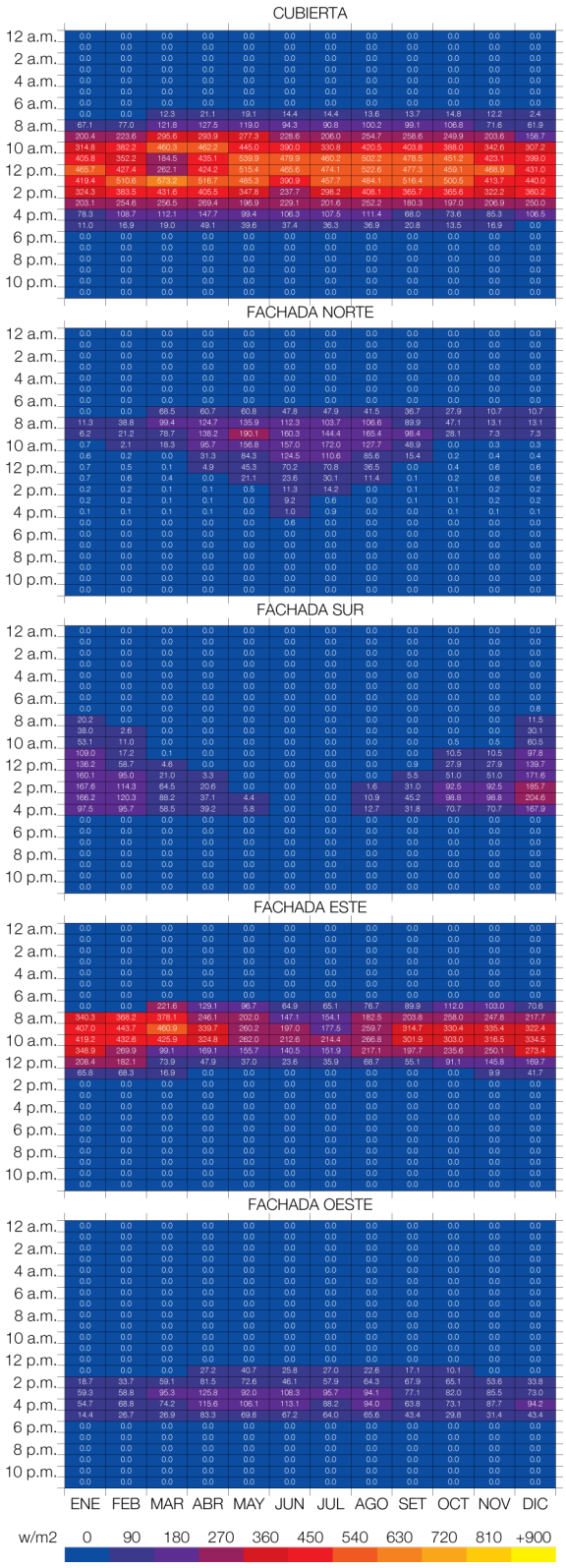


Figura 90. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de setiembre y solsticio de diciembre. Elaboración propia.



Radiación. La cubierta recibe mensualmente entre 10 y 11 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 573.2 w/m2. Recibe una mayor incidencia alrededor de los equinoccios; y una menor incidencia durante los meses de noviembre a enero. Durante el día, los valores máximos ocurren alrededor del mediodía, entre las 11 a.m. y las 2 p.m.

La fachada Norte recibe mensualmente entre 2 y 10 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 190.1 w/m2. Recibe una mayor incidencia cuando el sol se encuentra al Norte, durante los meses de mayo a julio; y una menor incidencia cuando el sol se encuentra al Sur, durante los meses de noviembre a enero. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 8 y las 11 a.m.

La fachada Sur recibe mensualmente entre 0 y 10 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 204.6 w/m2. Recibe una mayor incidencia cuando el sol se encuentra al Sur, durante los meses de diciembre y enero; y una menor incidencia cuando el sol se encuentra al Norte, durante los meses de mayo a julio. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 2 y las 4 p.m.

La fachada Este recibe mensualmente entre 6 y 7 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 460.9 w/m2. Recibe una mayor incidencia durante los meses de enero a marzo; y una menor incidencia durante los

Figura 91. Incidencia anual de radiación por componente. Elaboración propia.

meses de junio y julio. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 9 y las 11 a.m.

La fachada Oeste recibe mensualmente entre 4 y 5 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 125.8 w/m2. Recibe una mayor incidencia durante los meses de abril a junio; y una menor incidencia durante los meses de enero y febrero. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 3 y las 5 p.m.

Vientos. El terreno inmediato al edificio es relativamente plano, por lo que no incide de manera importante en el comportamiento de los vientos locales, los cuales provienen predominantemente del Noreste.

Sin embargo, el entorno que rodea el edificio es urbano, denso y de baja escala, por lo que los vientos son calmos debido a la diversidad de obstáculos que encuentran.

A la altura del primer nivel, se canalizan a través de calles y avenidas, con velocidades que no superan los 0.5 m/s. A mayor altura, se aceleran debido a la baja escala del entorno construido, aunque no sobrepasan el 1.0 m/s.

Debido a la orientación del edificio, los vientos generan presión positiva en las fachadas Norte y Este, y presión negativa en las fachadas Sur y Oeste. Esto podría provocar la circulación del aire a través de las aberturas del edificio, especialmente en fachadas Norte y Sur, debido a la falta de obstáculos. Sin embargo la falta de aberturas, tanto de entrada como de salida, no permite que el aire circule al interior del edificio.

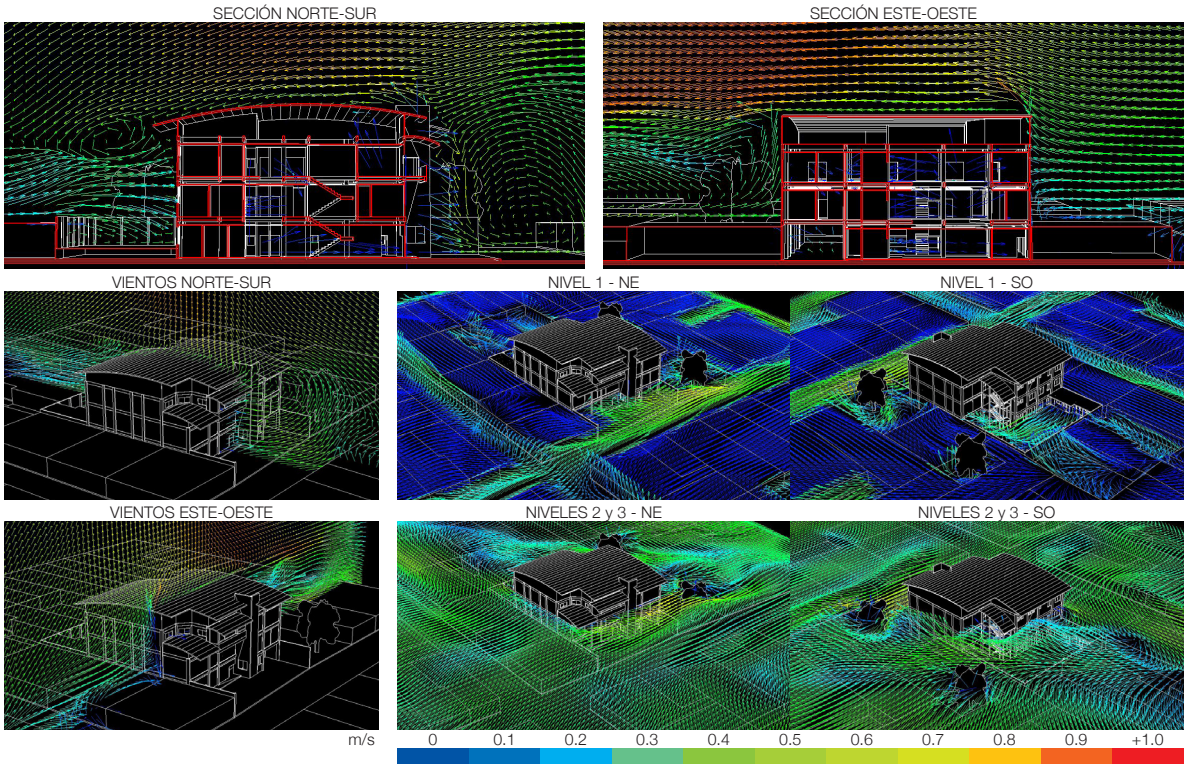


Figura 92. Simulación de vientos locales predominantes. Elaboración propia.

2.2.6 MINISTERIO DE SALUD DE CHACARITA (MSC), PUNTARENAS

Su construcción inicia en el 2010 y finaliza en el 2015. El edificio es de carácter institucional, con un horario laboral de lunes a jueves de 7 a.m. a 4 p.m., y viernes de 7 a.m. a 3 p.m. Cuenta con un total de 70 empleados a tiempo completo, y se atiende un promedio diario de 20 a 50 personas.

Figura 93. Ministerio de Salud de Chacarita (MSC), Puntarenas. Fotografías tomadas por autores.

Contexto y vegetación. Se encuentra ubicado en una zona principalmente residencial, frente a una calle de lastre paralela a la carretera principal. El entorno inmediato consiste en lotes medianos ocupados con casas de habitación de un nivel al Oeste, una servidumbre de lastre con salida al mar al Este y la zona de protección del mar al Sur. Todos los lotes colindantes cuentan con escasa vegetación.

La vegetación inmediata al edificio es de baja altura. Cuenta con un jardín de plantas ornamentales pequeñas en los costados Este y Oeste. La baja altura de la vegetación cercana no provee sombreamiento al edificio.

Configuración. Tiene una configuración de un sólo bloque rectangular con eje longitudinal de Norte-Sur.

El ingreso principal se ubica en el costado Norte, orientado hacia la calle principal. Las fachadas Este y Oeste corresponden a áreas de jardín. La fachada posterior Sur, está orientada hacia el mar.

Está constituido por dos niveles de 3.2 m de altura y un vacío central de doble altura que coincide con las áreas de circulación.

El edificio posee una huella aproximada de 176.2 m2, que corresponde al 11.5% de cobertura, en un lote de 1537.5 m2. El resto del lote es área verde y parqueos.

Las áreas exteriores corresponden en su mayoría a superficies de arena y aceras de concreto. Esto provoca aumento de radiación reflejada hacia las envolventes y por ende ganancias de calor en lo interno del edificio.

Sistema constructivo. Corresponde a muros y columnas de concreto armado con cerramientos y particiones internas en mampostería.

La estructura de techo es de cerchas de tubo estructural, cubiertas con láminas metálicas que conforman el 100% del área total de cubiertas.

Envolvente. La envolvente perimetral tiene un área total de 493.3 m2, de los cuales sólo el

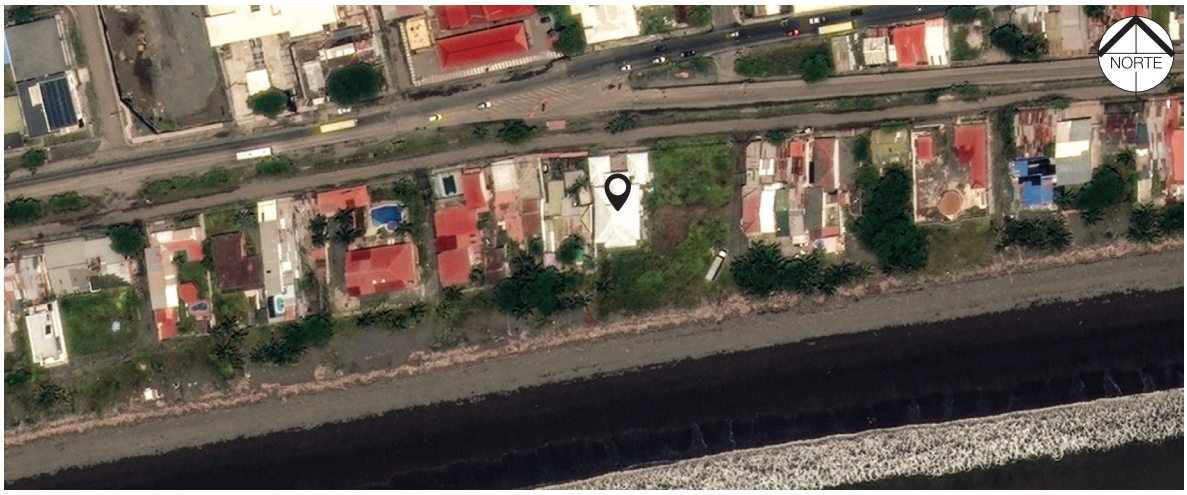


Figura 94. Fotografía satelital del entorno inmediato. Imagen tomada de Google maps.

14.4% corresponden a aberturas de puertas y ventanas las cuales no es permitido abrir, por lo que no se propicia la renovación de aire de forma natural.

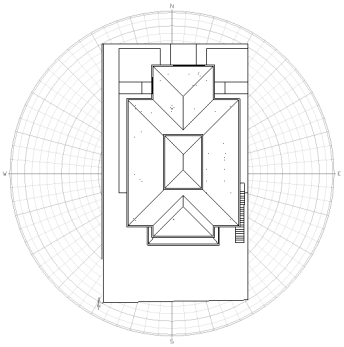
Los materiales predominantes son el concreto, con un 71.4% y el vidrio en puertas y ventanas, con un 18.5%. El fibrocemento en precintas representa un 8.4%; y el metal en las salidas de emergencia, un 1.7%.

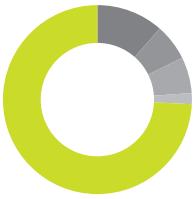
El volumen de aire interno alcanza los 930.6 m3. Debido a que no hay renovación de aire, el aire caliente circula manteniendo las altas temperaturas del interior.

Las fachadas Este y Oeste representan un 60.0% del total de la envolvente. Cuentan con 13.0% y 12.3% de aberturas respectivamente, que corresponden a puertas y ventanas. Predomina el uso de concreto con un 69.4% al Este, y un 73.6% al Oeste, por lo que las ganancias de calor por transferencia del material son las de mayor relevancia.

La fachada Norte representa el 20.4% del total de la envolvente. El 15.5% corresponde a aberturas, insuficientes para satisfacer las necesidades de renovación de aire interno. El material predominante es el concreto, con un 70.5%. Las principales ganancias de calor corresponden a las propiedades de transferencia de calor del concreto y al paso de la radiación a través del vidrio.

La fachada Sur representa un 19.7% del total de la envolvente. El 18.8% corresponde a aberturas, insuficientes para satisfacer las necesidades de renovación de aire interno. Los materiales predominantes son el concreto, con un 71.8% y el vidrio en ventanas con un 20.2%.





COBERTURA DEL LOTE	m2	%
HUELLA DEL EDIFICIO	176.2	11.5%
PARQUEO	95.9	6.2%
ACCESO VEHICULAR	95.3	6.2%
ACCESO PEATONAL	29.0	1.9%
ZONA VERDE	1141.2	74.2%
ÁREA TOTAL	1537.5	100.0%

Figura 95. Tabla de áreas y porcentajes de cobertura del lote. Elaboración propia.

FACHADAS	NORTE	20.4%	SUR	19.7%	ESTE	30.0%	OESTE	30.0%	ENVOLVENTE TOTAL	100.0%
MATERIAL	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%
CONCRETO	70.8	70.5%	69.6	71.8%	102.7	69.4%	108.9	73.6%	352.0	71.4%
FIBROCEMENTO	7.8	7.8%	7.8	8.0%	12.9	8.7%	12.9	8.7%	41.3	8.4%
VIDRIO	21.8	21.8%	19.6	20.2%	29.6	20.0%	20.5	13.8%	91.4	18.5%
METAL	-	-	-	-	2.9	1.9%	5.8	3.9%	8.6	1.7%
ÁREA TOTAL	100.4	100.0%	96.9	100.0%	148.0	100.0%	148.0	100.0%	493.3	100.0%
ABERTURAS	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%	m2	%
LLENOS	84.8	84.5%	78.7	81.2%	128.8	87.0%	129.8	87.7%	422.1	85.6%
VACÍOS	15.6	15.5%	18.3	18.8%	19.2	13.0%	18.3	12.3%	71.3	14.4%
ÁREA TOTAL	100.4	100.0%	96.9	100.0%	148.0	100.0%	148.0	100.0%	493.3	100.0%

Figura 96. Despliegue de la envolvente. Elaboración propia.

Soleamiento. Cerca del 21 de marzo, el sol alcanza su punto más alto sobre el horizonte, el cenit, por lo que los rayos solares se encuentran perpendiculares a la superficie terrestre. Esto significa una concentración de cargas térmicas en superficies horizontales (cubierta y pavimentos), las cuales alcanzan los 900 wh/m2, y una disminución de la incidencia solar principalmente en fachadas Norte y Sur.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 540 wh/m2, mientras al Oeste es de 270 wh/m2.

Cerca del 21 de junio, los rayos solares alcanzan su punto más bajo al Norte, con una inclinación de 13.5° con respecto al cenit. Esto significa el aumento de cargas térmicas, aunque en menor medida, para la fachada Norte, la cual alcanza los 90 wh/m2. La incidencia solar en superficies horizontales se mantiene, con valores máximos de 900 wh/m2.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 450 wh/m2, mientras al Oeste es de 180

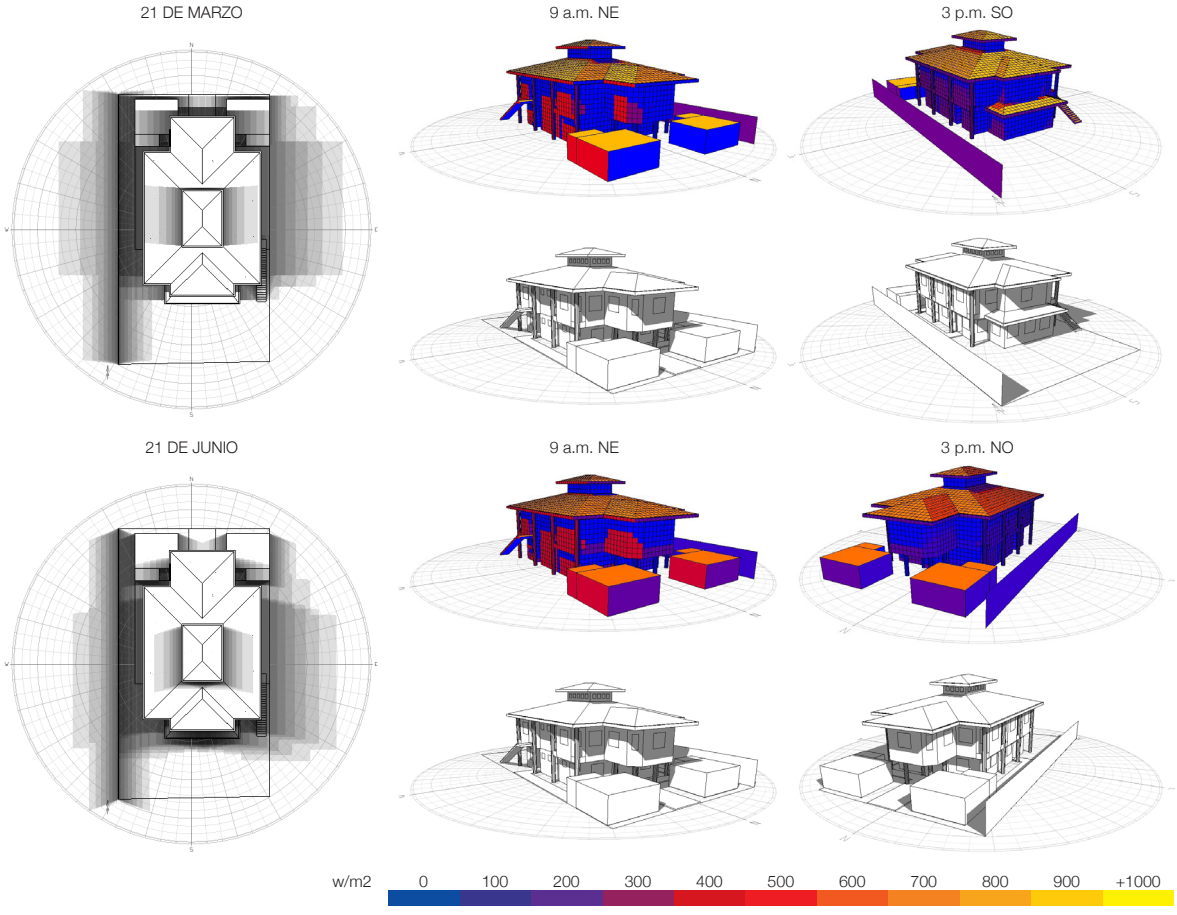


Figura 97. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de marzo y solsticio de junio. Elaboración propia.

wh/m2.

Cerca del 21 de setiembre, el sol alcanza una vez más su punto más alto sobre el horizonte. Esto significa nuevamente, una concentración de cargas térmicas en superficies horizontales, las cuales alcanzan los 900 wh/m2, y una disminución de la incidencia solar principalmente en fachadas Norte y Sur.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 630 wh/m2, mientras al Oeste es de 180 wh/m2.

Cerca del 21 de diciembre, los rayos solares alcanzan su punto más bajo al Sur, con una inclinación de 33.5º con respecto al cenit. Esto significa el aumento de cargas térmicas para la fachada Sur, alcanzando los 490 wh/m2. La incidencia solar en superficies horizontales se reduce, con valores máximos de 700 wh/m2.

La incidencia solar directa es mayor durante las mañanas, por lo que el valor máximo al Este es de 560 wh/m2, mientras al Oeste es de 140 wh/m2.

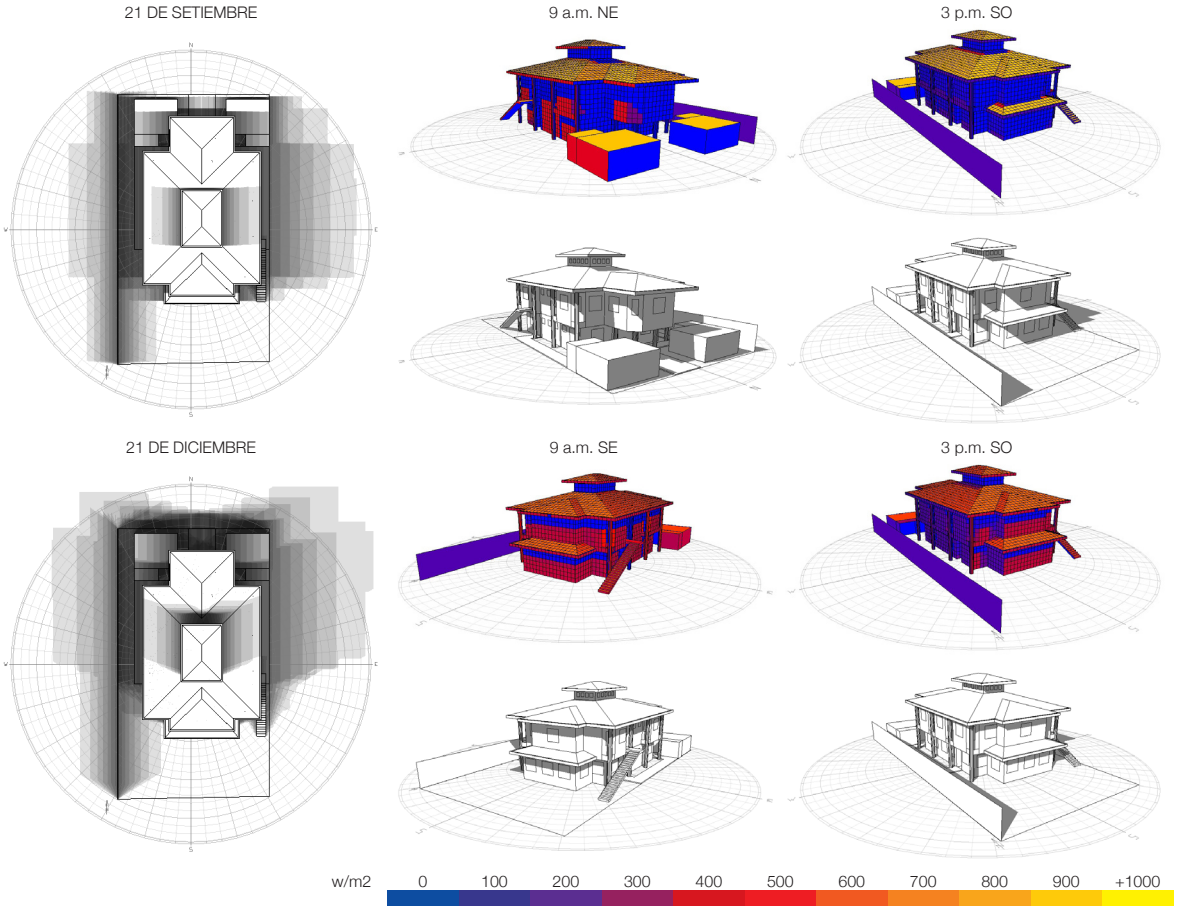
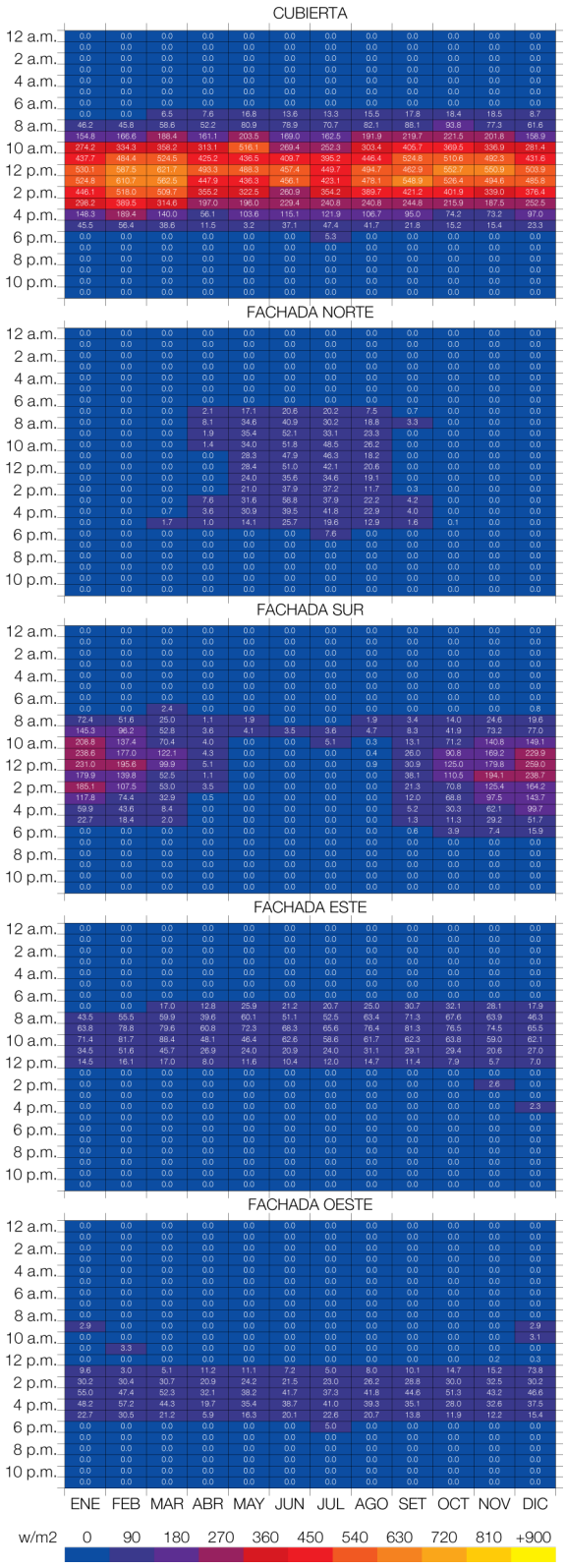


Figura 98. Proyección de sombras y radiación máxima sobre fachadas, durante equinoccio de setiembre y solsticio de diciembre. Elaboración propia.



Radiación. La cubierta recibe mensualmente entre 10 y 11 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 621.7 w/m2. Recibe una mayor incidencia alrededor de los equinoccios; y una menor incidencia durante los meses de noviembre a enero. Durante el día, los valores máximos ocurren alrededor del mediodía, entre las 11 a.m. y las 2 p.m.

La fachada Norte recibe mensualmente entre 2 y 11 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 58.8 w/m2. Recibe una mayor incidencia cuando el sol se encuentra al Norte, durante los meses de mayo a agosto; y una menor incidencia cuando el sol se encuentra al Sur, durante los meses de noviembre a febrero. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 8 a.m. y las 3 p.m.

La fachada Sur recibe mensualmente entre 0 y 10 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 259.0 w/m2. Recibe una mayor incidencia durante los meses de octubre y febrero; y una menor incidencia cuando el sol se encuentra al Norte, durante los meses de mayo a julio. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 9 a.m. y las 3 p.m.

La fachada Este recibe mensualmente entre 5 y 6 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 88.4 w/m2. Recibe una mayor incidencia durante los meses de febrero y marzo, y agosto a octubre; y una menor incidencia durante los meses de abril a junio. Durante el día,

Figura 99. Incidencia anual de radiación por componente. Elaboración propia.

los valores máximos ocurren entre las 8 y las 11 a.m.

La fachada Oeste recibe mensualmente entre 4 y 5 horas de radiación solar directa, con valores horarios que alcanzan los 57.1 w/m2. Recibe una mayor incidencia durante los meses de enero a marzo y octubre; y una menor incidencia durante los meses de abril y mayo. Durante el día, los valores máximos ocurren entre las 3 y las 5 p.m.

Vientos. El terreno inmediato al edificio es relativamente plano, por lo que no incide de manera importante en el comportamiento de los vientos locales, los cuales provienen predominantemente del Sur.

Sin embargo, el entorno que rodea el edificio a pesar de ser urbano no es denso y recibe la influencia de la brisa marina al Sur.

A la altura del primer nivel, las velocidades no superan los 0.5 m/s. A mayor altura, se aceleran debido a la baja escala del entorno construido, sobrepasando el 1.0 m/s.

Debido a la orientación del edificio, los vientos generan presión positiva en las fachadas Sur, y presión negativa en la fachada Norte. Esto podría provocar la circulación del aire a través de las aberturas del edificio, especialmente en fachadas Norte y Sur. Sin embargo, la falta de aberturas y la imposibilidad de abrir ventanas por directriz interna, no permite que el aire circule al interior del edificio.

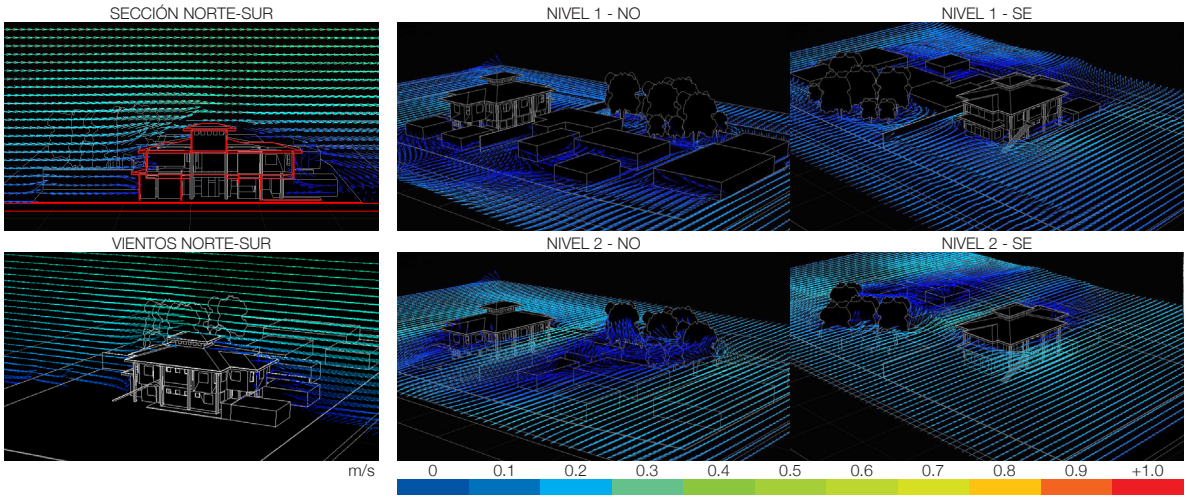


Figura 100. Simulación de vientos locales predominantes. Elaboración propia.

2.3 ANÁLISIS MICRO ESCALA

2.3.1 ESCUELA MUNICIPAL DE ARTES INTEGRADAS (EMAI), SANTA ANA

La toma de datos climáticos en el interior y exterior del edificio, permite evaluar la capacidad de la envolvente para amortiguar las condiciones climáticas externas. En el caso de Santa Ana, se determinó que abril es el mes más crítico en cuanto a condiciones de confort. Por este motivo se realizan dos mediciones a finales del mes de abril.

La primera consiste en el biomonitoreo prolongado de temperatura, humedad, e iluminación, por un período de dos semanas. Y la segunda consiste en la toma manual de temperatura, humedad, temperatura media radiante, velocidad del viento, CO2, temperatura de los materiales, y nivel de ruido e iluminación.

Los resultados se evalúan mediante hojas de cálculo, para determinar las horas del día que se encuentran dentro de los rangos de bienestar determinados por el CBA.

Para el EMAI se hace una diferencia según la intensidad de actividades de los espacios monitoreados. Se utiliza un met de 3.33, para los espacios con actividad de intensidad modarada, y de 1.22 para los espacios con actividad sedentaria. En ambos casos se utiliza un clo de 0.70, según la norma ISO 7730-2005.

Para los espacios con actividad de intensidad moderada, se identifica un área de bienestar, delimitada por temperaturas que oscilan entre los 25.4ºC y 20.0ºC, con un 20% de humedad relativa, y los 24.2ºC y 19.5ºC, con un 80% de humedad relativa.

Para los espacios con actividad sedentaria, se identifica un área de bienestar delimitada por temperaturas que oscilan entre los 29.4ºC y 23.5ºC, con un 20% de humedad relativa, y los 26.9ºC y 22.8ºC, con un 80% de humedad rela-

ACT. SED.	ZONA DE BIENESTAR ALGO SECA																				
T MAX (ºC)	29.4	29.4	29.3	29.3	29.2	29.2	29.2	29.1	29.1	29.0	29.0	29.0	28.9	28.9	28.8	28.8	28.8	28.7	28.7	28.6	28.6
T MIN (ºC)	23.5	23.5	23.5	23.5	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.2	23.2	23.2	23.2
H MED (%)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	ZONA DE BIENESTAR SALUDABLE																				
T MAX (ºC)	28.6	28.6	28.5	28.5	28.4	28.4	28.3	28.3	28.2	28.2	28.2	28.1	28.1	28.0	28.0	27.9	27.9	27.8	27.8	27.7	27.7
T MIN (ºC)	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
H MED (%)	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	ZONA DE BIENESTAR ALGO HÚMEDA																				
T MAX (ºC)	27.7	27.7	27.6	27.6	27.5	27.5	27.5	27.4	27.4	27.3	27.3	27.3	27.2	27.2	27.1	27.1	27.1	27.0	27.0	26.9	26.9
T MIN (ºC)	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.9	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8
H MED (%)	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80

Figura 101. Zonas de bienestar determinadas por el CBA, para los espacios con actividad sedentaria. Elaboración propia.

ACT. MOD.	ZONA DE BIENESTAR ALGO SECA																				
T MAX (ºC)	25.4	25.4	25.4	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.0	25.0	25.0
T MIN (ºC)	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9
H MED (%)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	ZONA DE BIENESTAR SALUDABLE																				
T MAX (ºC)	25.0	25.0	25.0	24.9	24.9	24.9	24.9	24.9	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.6	24.6	24.6
T MIN (ºC)	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7
H MED (%)	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
	ZONA DE BIENESTAR ALGO HÚMEDA																				
T MAX (ºC)	24.6	24.6	24.6	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.2	24.2	24.2
T MIN (ºC)	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.6	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
H MED (%)	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80

Figura 102. Zonas de bienestar determinadas por el CBA, para los espacios con actividad de intensidad moderada. Elaboración propia.

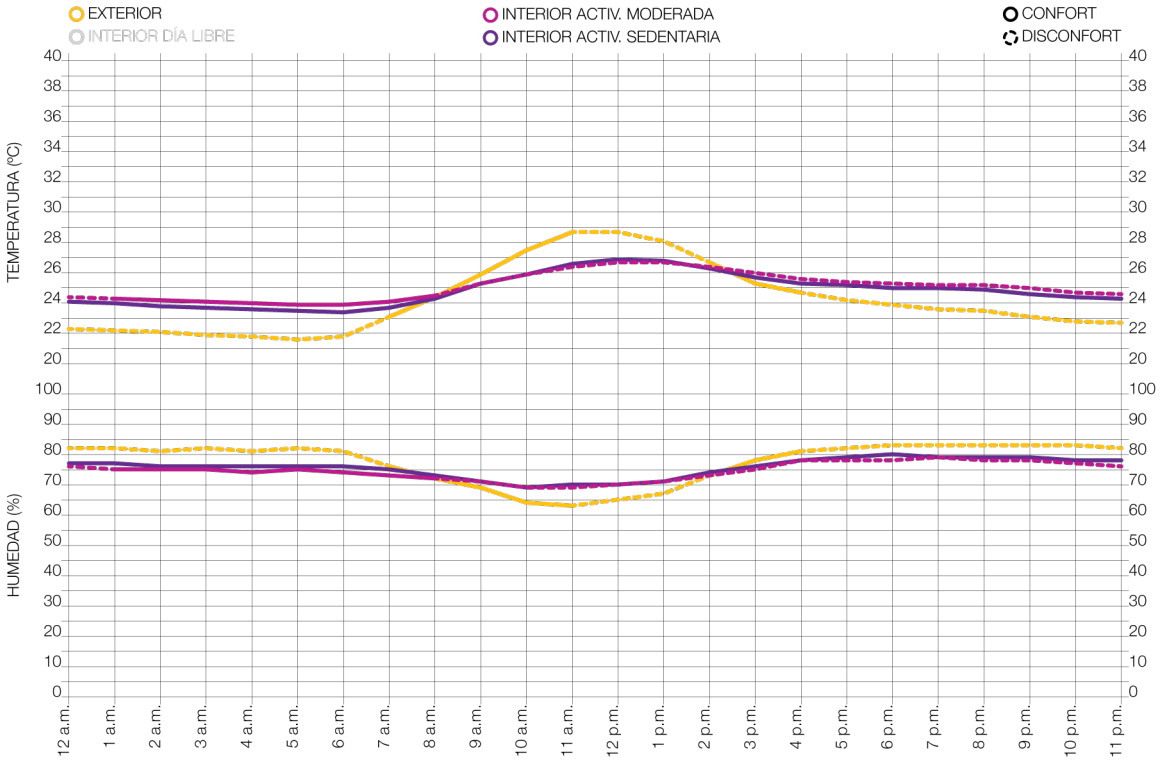
tiva.

Exterior. Durante el biomonitoreo prolongado, la temperatura media al exterior del edificio es de 24.2ºC. La máxima se registra alrededor de la 12 p.m. con 31.4ºC, mientras que la mínima se registra alrededor de las 5 a.m. con 19.8ºC. El rango de oscilación es de 11.6ºC.

En el mismo período, la humedad relativa registra una media de 77%. Con una máxima de 92% y una mínima de 52%, para un rango de oscilación de 40 puntos porcentuales.

Según estas condiciones, la humedad media se acerca al rango saludable, pero resultan algo húmedas para la salud (60-80%) entre las 7 y 11 a.m. y de 2 a 4 p.m. De 4 p.m. a 6 a.m. las condiciones resultan excesivamente húmedas (80-100%). Las temperaturas son altas durante el día, principalmente de 9 a.m. a 3 p.m. donde superan los 25°C.

Espacios internos, actividad moderada. Al interior del edificio y en los espacios con actividad moderada, la temperatura media es de 25.0ºC. Esto es 0.8ºC mayor que la media exterior. La máxima se registra alrededor de la 12 p.m. con



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (%)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	24.2	31.4	19.8	11.6	77	92	52	40	6	18
	25.1	28.6	21.2	7.4	75	89	60	29	7	17
	24.8	28.9	21.1	7.8	76	91	58	33	24	0

Figura 103. Día tipo interior-exterior, biomonitoreo prolongado EMAI. Elaboración propia.

28.6ºC, mientras que la mínima se alcanza alrededor de las 8 a.m. con 21.2ºC. El rango de oscilación se reduce con respecto al exterior, siendo de 7.4ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 75%. Esto es 2 puntos porcentuales menor a la media exterior. La máxima alcanza el 89% mientras que la mínima alcanza el 60%. El rango de oscilación se reduce con respecto al exterior, siendo de 29 puntos porcentuales.

Bajo estas condiciones, la humedad media se mantiene ligeramente sobre el rango saludable durante la mayor parte del día, mientras que las temperaturas ascienden. Las horas de confort disminuyen, abarcando de la 1 a las 7 a.m., con condiciones de bienestar algo húmedas (60-80%). Sin embargo esto no coincide con el horario de uso.

Espacios internos, actividad sedentaria. Al interior del edificio y en los espacios con actividad sedentaria, la temperatura media es de 24.8ºC. Esto es 0.6ºC mayor que la media exterior, y 0.2ºC menor que en los espacios con actividad moderada. La máxima se registra alrededor de las 12 y 1 p.m. con 28.9ºC, mientras que la mínima se alcanza entre las 5 a.m. y 7 a.m. con 21.1ºC. El rango de oscilación se reduce con respecto al exterior, pero aumenta con respecto a los espacios con actividad moderada, siendo de 7.8ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 76%. Esto es 1.9 puntos porcentuales menor a la media exterior, y 1 punto porcentual mayor a los espacios con actividad moderada. La máxima alcanza el 91% mientras que la mínima alcanza el 58%. El rango de oscilación disminuye con respecto al exterior, y aumenta con respecto a los espacios de actividad moderada, con 33 puntos porcentuales.

Bajo estas condiciones, la humedad media se mantiene cerca del rango saludable, mientras que las temperaturas ascienden. Las horas de confort se extienden durante todo el día, pero con condiciones de bienestar algo húmedas para la salud (60-80%).

Conclusiones. En general, la temperatura media es más baja que la externa durante el día y más alta durante la noche. La humedad media asciende por encima de la externa durante el día, sin embargo se mantiene dentro de los límites de bienestar algo húmedo (60-80%). Esto implica que la envolvente logra disminuir el impacto de las condiciones externas. Las horas críticas son a partir de las 8 a.m. y hasta la 1 a.m.

Mediciones manuales. En cuanto a las mediciones manuales, la temperatura media de los espacios internos varía entre los 28.0ºC y los 27.6ºC, con rangos de oscilación de 1.3ºC a 3.1ºC. Mientras que la media exterior es de 28.1ºC, con un rango de oscilación de 2.8ºC.

Se confirma que la temperatura tiende a aumentar en todos los espacios. La mínima se registra a las 9 a.m., con 25.8ºC en el taller de artes plásticas (TA-N2), mientras que la máxima se registra a las 1 p.m., con 29.5ºC en el pasillo externo (EX-N3), seguido por 28.9ºC en varios espacios (TB-N2, TA-N2 y SR-N3).

La temperatura del tercer nivel se mantiene por encima de la exterior, principalmente después del medio día.

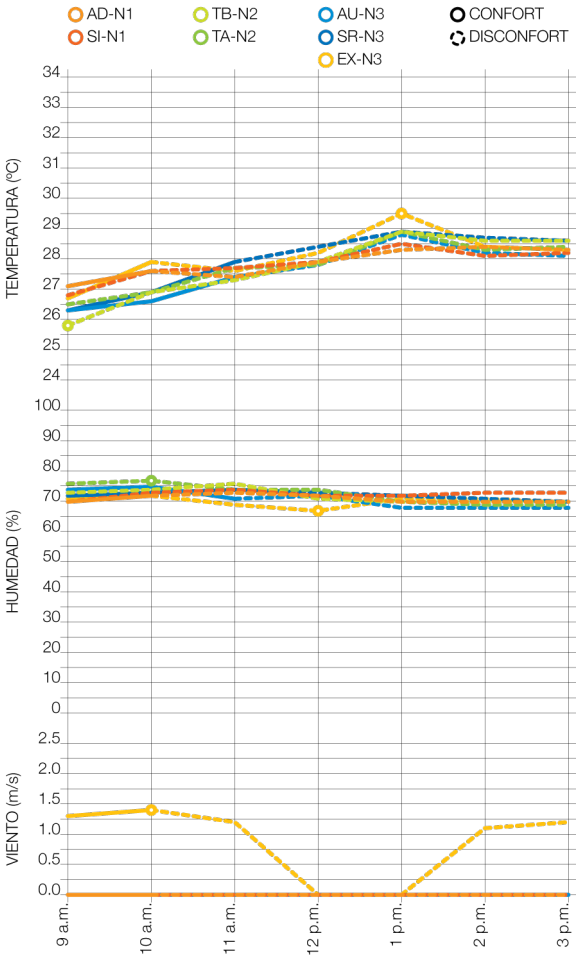
Con respecto a la humedad, la media varía entre el 71% y el 73% en los espacios internos, con rangos de oscilación de 3 a 8 puntos porcentuales. Mientras que la media exterior es de 70%, con un rango de oscilación de 5 puntos porcentuales.

La humedad presenta el comportamiento inverso a la temperatura. La máxima se registra a las 10 a.m., con 77% en el taller de artes plásticas (TA-N2), mientras que la mínima se registra a las 12 p.m., con 67% en el pasillo externo (EX-N3).

La humedad interna es menor que la externa hasta la 1 p.m., a excepción de la sala de instrumentos y la sala de reuniones (SI-N1, SR-N3). Sin embargo tiende a mantenerse por encima del 60%. Los espacios internos se encuentran levemente por encima del rango de bienestar saludable, con condiciones algo húmedas para la salud (60-80%).

Ninguno de los espacios internos registra movimiento del aire, mientras que el exterior registra 1.4 m/s.

Conclusiones. En general, las condiciones de todos los espacios se mantienen dentro de la zona de bienestar algo húmeda, durante las 7 horas registradas. La velocidad de los vientos en espacios internos es nula, aumentando la sensación de calor.



	TEMPERATURA (ºC)				HUMEDAD RELATIVA (%)			
	T MED	T MAX	T MIN	Δ	H MED	H MAX	H MIN	Δ
	27.9	28.4	27.1	1.3	71	73	70	3
	27.8	28.5	26.8	1.7	72	74	70	4
	27.7	28.9	25.8	3.1	72	76	70	6
	27.8	28.9	26.5	2.4	73	77	69	8
	27.6	28.8	26.3	2.5	71	75	68	7
	28.1	29.5	26.7	2.8	70	72	67	5
	28.1	29.5	26.7	2.8	70	72	67	5

Figura 104. Mediciones manuales por espacio, EMAI. Elaboración propia.

Biomonitoreo por espacios. Los espacios monitoreados en el EMAI son la oficina administrativa y la sala de instrumentos, en el primer nivel (AD-N1, SI-N1); el taller de baile y el taller de artes plásticas en el segundo nivel (TB-N2, TA-N2); el auditorio, la sala de reuniones y el pasillo externo en el tercer nivel (AU-N3, SR-N3, EX-N3).

EX-N3 Pasillo externo. Ubicado en el exterior del edificio, en la parte posterior Sur, la cual recibe entre 0 y 10 horas diarias de radiación directa a lo largo del año. Consiste en un espacio abierto que recorre el tercer nivel en sentido Este-Oeste.

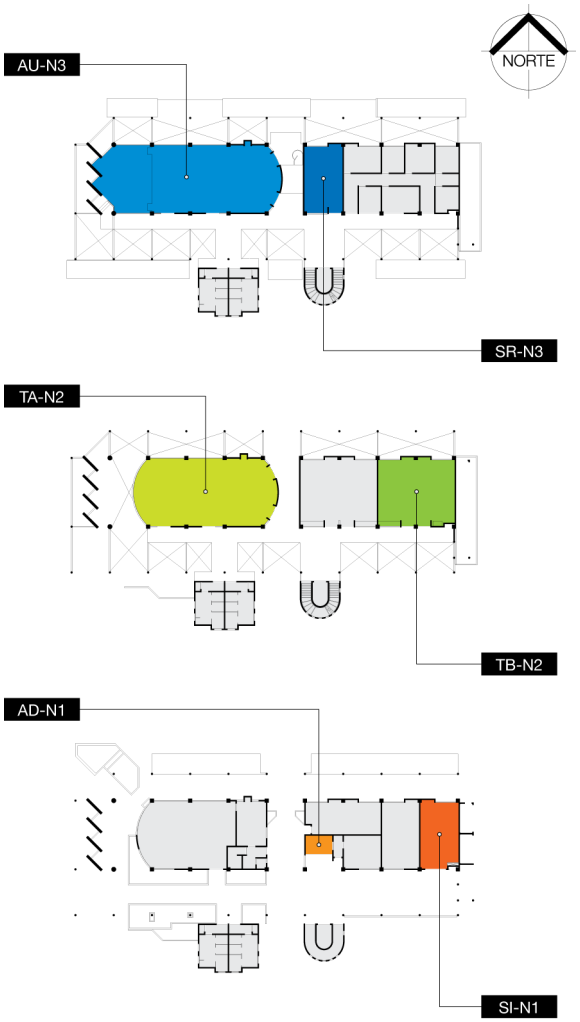


Figura 105. Plantas de ubicación de los espacios monitoreados, EMAI. Elaboración propia.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 24.2ºC. La máxima se registra alrededor de las 12 p.m. con 31.4ºC, y la mínima alrededor de las 5 a.m. con 19.8ºC, para un rango de oscilación de 11.6ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 77%. La máxima se registra alrededor de las 5 a.m. con 92%, y la mínima entre 10 y 11 a.m. con 52%, para un rango de oscilación de 40 puntos porcentuales.

Presenta condiciones de bienestar sólo durante 6 horas al día, de 7 a 11 a.m. y de 2 a 4 p.m. Sin embargo se mantiene en condiciones algo húmedas para la salud.

Mediciones manuales. Registra un movimiento promedio del aire de 0.9 m/s. Es el único espacio que registra movimiento del aire debido a su característica de pasillo externo, pero registra los valores más altos de temperatura en materiales, con un promedio de 30.4ºC en piso, 45.4ºC en cielos y 30.1ºC en paredes. La concentración promedio de CO2 es de 274 ppm.

Índice de Fanger. De acuerdo al índice de Fanger, se considera térmicamente satisfactorio un voto medio estimado (PMV) de -0.5 a 0.5 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) menor al 10%.

Para evaluar este espacio se considera un met de 2.0 y un clo de 0.8, así como la velocidad del aire, temperatura y humedad media re-

gistrados. El resultado es un voto medio estimado (PMV) de 1.0 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 26% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

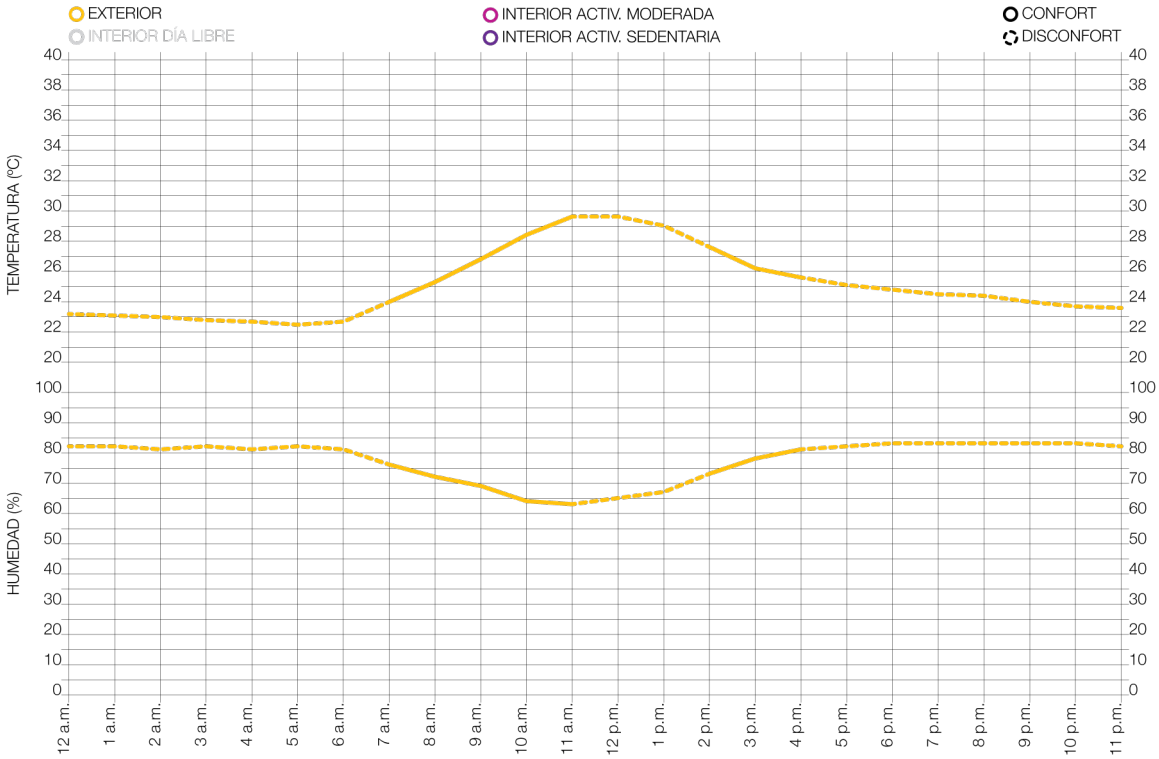
AD-N1 Oficina administrativa. Ubicada en el primer nivel del edificio, en la parte posterior Sur, la cual consiste principalmente en una pared de concreto con vidrio que recibe entre 0 y 10 horas diarias de radiación directa a lo largo del año. Consiste en un espacio cerrado, ocupado por 4 personas diariamente. Se caracteriza por desarrollar actividad sedentaria.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 25.7ºC. La máxima se registra entre las 12 y las 2 p.m con 27.9ºC, y la mínima alrededor de las 7 a.m. con 22.7ºC, para un rango de oscilación de 5.2ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 72%. La máxima se registra alrededor de las 6 p.m. con 82%, y la mínima alrededor de las 10 a.m. con 58%, para un rango de oscilación de 24 puntos porcentuales.

Las condiciones son confortables durante las 24 horas del día, pero algo húmedas para la salud.

En general, la temperatura media es mayor a la exterior, mientras que la humedad media es menor. Presenta el mayor valor de temperatura media, y el menor valor de humedad media, junto



T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
24.2	31.4	19.8	11.6	77	92	52	40	6	18

Figura 106. Día tipo EX-N3, biomonitoreo prolongado EMAI. Elaboración propia.

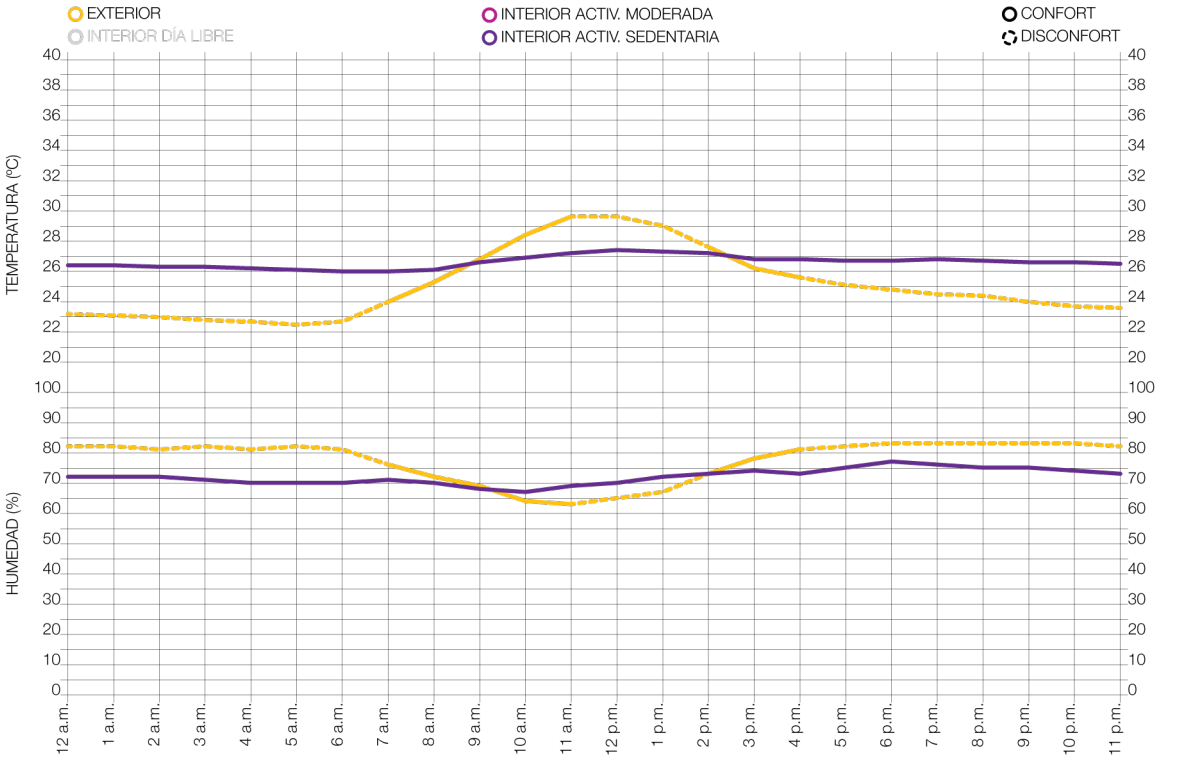
con SI-N1. Sin embargo, es uno de los espacios con mayor cantidad de horas de confort, al igual que SR-N3.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire debido a que las ventanas permanecen cerradas la mayor parte del día; o a pesar de permanecer abiertas, no captan el aire. Registra los valores más bajos de temperatura en materiales, con un promedio de 27.9ºC en piso, 28.3ºC en cielos y 27.7ºC en paredes. La concentración promedio de CO2 es de 312 ppm.

Índice de Fanger. Para evaluar este espacio se considera un met de 1.0 y un clo de 0.8, así como la velocidad del aire, temperatura y humedad media registrados. El resultado es un voto medio estimado (PMV) de 0.7 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 15% que sitúan el espacio en el área de confort extendida (menos del 20% de insatisfechos).

SI-N1 Sala de instrumentos. Ubicada en el primer nivel del edificio, en el extremo del mismo. La fachada Este consiste en una pared cerrada de concreto, que recibe entre 6 y 7 horas diarias de radiación directa. Las fachadas Norte y Sur son respectivamente, de vidrio y de concreto en su mayoría, y reciben entre 0 y 10 horas diarias de radiación directa a lo largo del año.

Debido a sus características de bodega, el



T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
25.7	27.9	22.7	5.2	72	82	58	24	24	0

Figura 107. Día tipo AD-N1, biomonitoreo prolongado EMAI. Elaboración propia.

espacio libre es reducido. Se caracteriza por desarrollar actividades de intensidad moderada.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 25.7ºC. La máxima se registra alrededor de las 2 p.m. con 28.4ºC, y la mínima alrededor de las 7 a.m. con 21.9ºC, para un rango de oscilación de 6.5ºC.

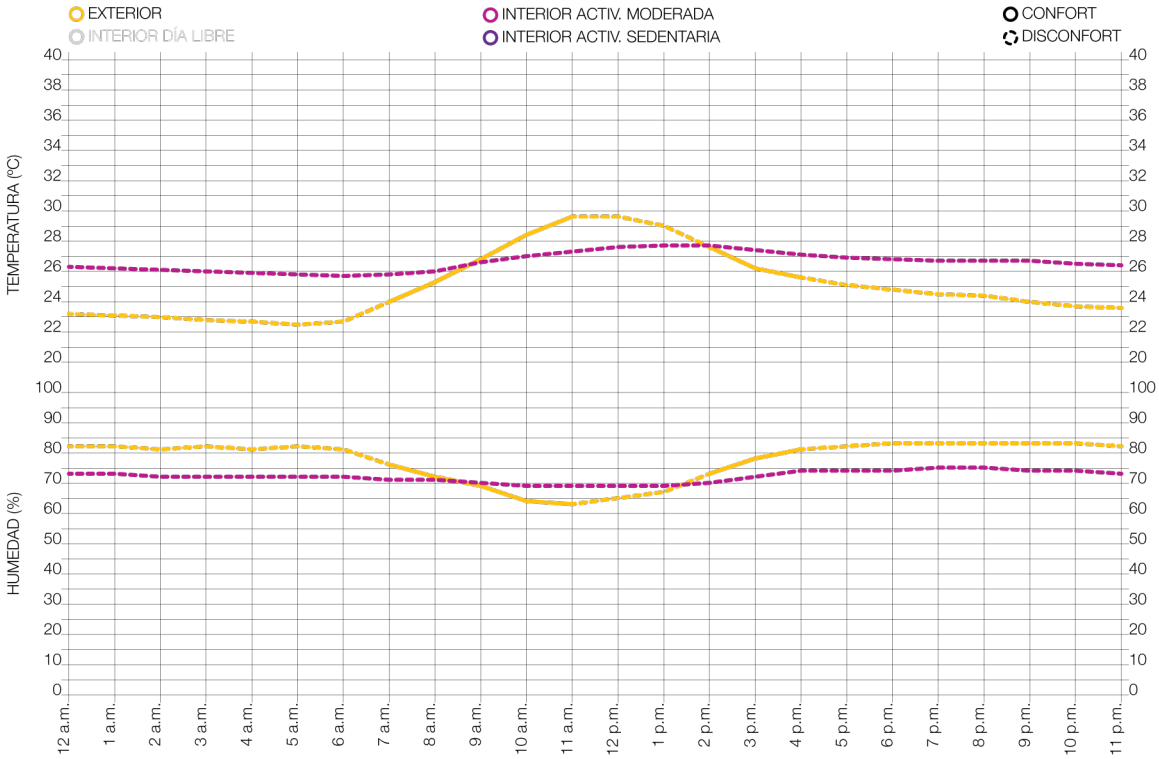
En cuanto a la humedad, la media es de 72%. La máxima se registra entre 6 y 8 p.m. con 81%, y la mínima alrededor de las 12 y 4 p.m. con 62%, para un rango de oscilación de 19 puntos porcentuales.

Presenta condiciones de disconfort durante las 24 horas del día.

En general, la temperatura media es mayor a la exterior, mientras que la humedad media es menor. Presenta el mayor valor de temperatura media, y el menor valor de humedad media, junto con AD-N1. Es el espacio con menor cantidad de horas de confort, incluso en relación al exterior.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 287 ppm. Los únicos medios de renovación del aire son la puerta principal y las ventanas abatibles presentes en ventanerías de las fachadas Norte y Sur.

Índice de Fanger. Para evaluar este espacio se considera un met de 1.8 y un clo de 0.8, así



T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (%)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
25.7	28.4	21.9	6.5	72	81	62	19	0	24

Figura 108. Día tipo SI-N1, biomonitoreo prolongado EMAI. Elaboración propia.

como la velocidad del aire, temperatura y humedad media registrados. El resultado es un voto medio estimado (PMV) de 1.4 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 46% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

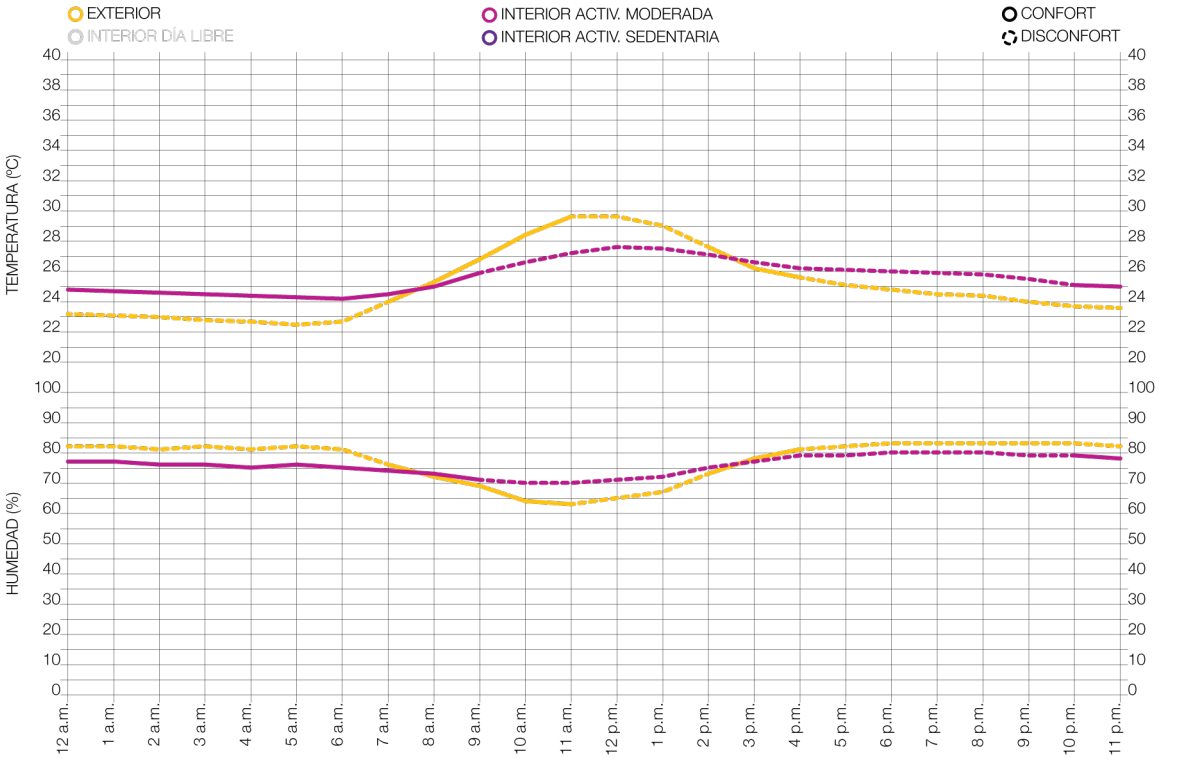
TB-N2 Taller de baile. Ubicado en el segundo nivel del edificio, en la parte central del mismo. Las fachadas Norte y Oeste están constituidas principalmente por ventanería, y reciben respectivamente, entre 1 y 10 horas, y 6 horas diarias de radiación directa a lo largo del año. La fachada Sur es de concreto con ventanas, y recibe entre 0 y 10 horas diarias de radiación directa a lo largo del año.

Es uno de los espacios que recibe mayor cantidad de público. Se caracteriza por desarrollar actividades de intensidad moderada.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 24.7ºC. La máxima se registra alrededor de las 2 p.m. con 28.5ºC y la mínima alrededor de las 8 a.m. con 21.2ºC, para un rango de oscilación de 7.3ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 76%. La máxima se registra entre 8 y 9 p.m. con 86%, y la mínima alrededor de las 11 a.m. con 60%, para un rango de oscilación de 26 puntos porcentuales.

Presenta condiciones de bienestar algo hú-



T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
24.7	28.5	21.2	7.3	76	86	60	26	11	13

Figura 109. Día tipo TB-N2, biomonitoreo prolongado EMAI. Elaboración propia.

medas para la salud, entre 10 p.m. y 9 a.m. Sin embargo, esto sólo coincide en dos horas con el horario de uso del espacio.

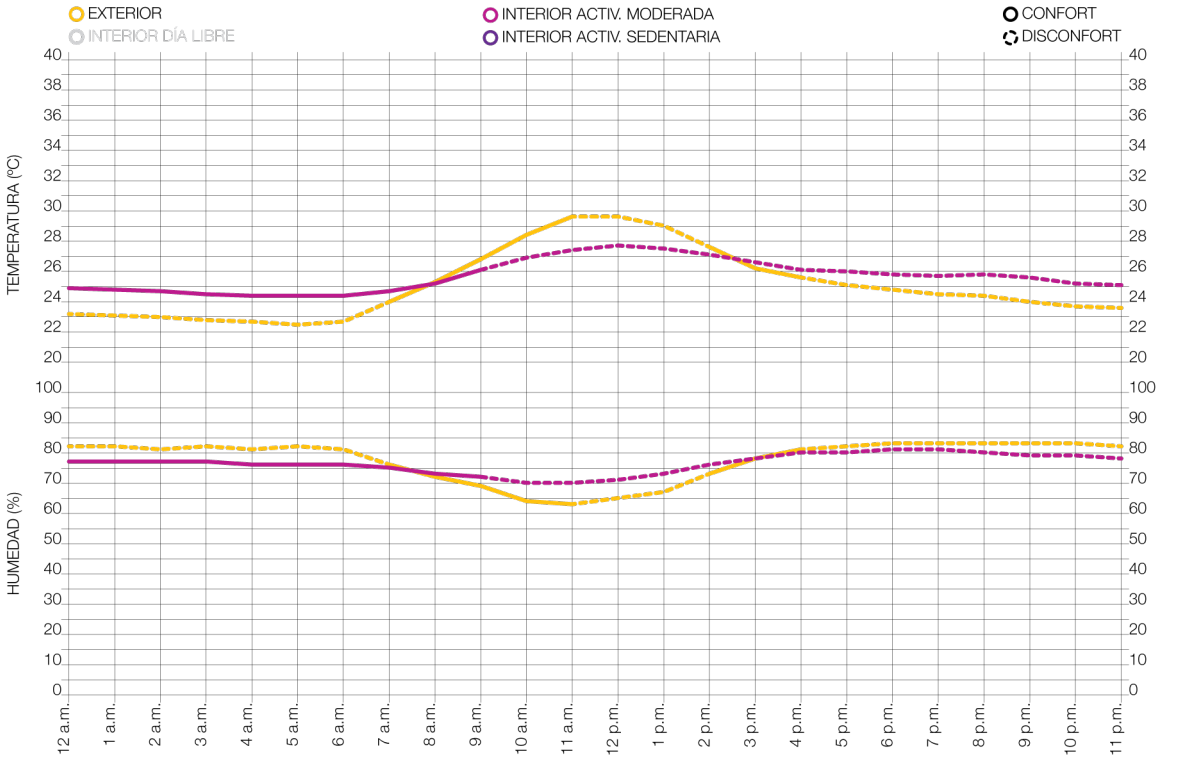
En general, la temperatura media es mayor a la exterior, mientras que la humedad media es ligeramente menor. Después de AU-N3, presenta uno de los mayores valores de humedad media, junto con TA-N2 y SR-N3.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 681 ppm, con un mínimo de 244 ppm y un máximo de 1480 ppm, siendo este el espacio con el segundo mayor registro, después de AU-N3, debido a la cantidad de usuarios y a las actividades realizadas.

Índice de Fanger. Para evaluar este espacio se considera un met de 3.3 y un clo de 0.6, así como la velocidad del aire, temperatura y humedad media registrados. El resultado es un voto medio estimado (PMV) de 2.3 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 88% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

TA-N2 Taller de artes plásticas. Ubicado en el segundo nivel del edificio. Las fachadas Norte y Sur son respectivamente, de vidrio y de concreto en su mayoría, y reciben entre 0 y 10 horas diarias de radiación directa a lo largo del año.

Es uno de los espacios que recibe mayor



T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
24.8	28.6	22.3	6.3	76	89	60	29	10	14

Figura 110. Día tipo TA-N2, biomonitoreo prolongado EMAI. Elaboración propia.

cantidad de público. Se caracteriza por desarrollar actividades de intensidad moderada.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 24.8ºC. La máxima se registra alrededor de las 12 p.m. con 28.6ºC, y la mínima alrededor de las 5 a.m. con 22.3ºC, para un rango de oscilación de 6.3ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 76%. La máxima se registra alrededor de las 5 p.m. con 89%, y la mínima entre 10 y 11 a.m. con 60%, para un rango de oscilación de 29 puntos porcentuales.

Presenta condiciones de bienestar algo húmedas para la salud, entre 11 p.m. y 9 a.m. Sin embargo, esto sólo coincide en dos horas con el horario de uso del espacio.

En general, la temperatura media es mayor a la exterior, mientras que la humedad media es ligeramente menor. Presenta uno de los mayores valores de temperatura media, después de AD-N1 y SI-N1; y uno de los mayores valores de humedad media, después de AU-N3.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 289 ppm. Los medios de renovación del aire son dos puertas y las ventanas abatibles ubicadas en ventanerías de las fachadas Norte y Sur.

Índice de Fanger. Para evaluar este espacio se considera un met de 1.0 y un clo de 0.8, así como la velocidad del aire, temperatura y humedad media registrados. El resultado es un voto medio estimado (PMV) de 0.4 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 8% que sitúan el espacio dentro del área de confort.

AU-N3 Auditorio. Ubicado en el tercer nivel del edificio. Las fachadas Norte y Oeste están constituidas principalmente por ventanería, y reciben reciben respectivamente, entre 1 y 10 horas, y 6 horas diarias de radiación directa a lo largo del año. La fachada Sur es de concreto con ventanas, y recibe entre 0 y 10 horas diarias de radiación directa a lo largo del año.

Es el espacio que recibe mayor cantidad de usuarios, pudiendo superar las 100 personas. Se caracteriza por desarrollar actividad sedentaria.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 24.2ºC. La máxima se registra alrededor de las 12 p.m. con 28.9ºC, y la mínima entre 5 y 7 a.m. con 21.1ºC, para un rango de oscilación de 7.8ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 79%. La máxima se registra entre 5 y 6 p.m. con 91%, y la mínima alrededor de las 11 a.m. con 58%, para un rango de oscilación de 33 puntos porcentuales.

Presenta condiciones de bienestar de 12 a 3 a.m. y de 7 a.m. a 4 p.m., pero en condiciones algo húmedas para la salud.

En general, la temperatura media es igual a la exterior, mientras que la humedad media es mayor. Presenta el mayor valor de humedad media.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 1029 ppm, con un mínimo de 338 ppm y un máximo de 1925 ppm, siendo este el espacio

con mayor registro, debido a la cantidad de usuarios en horas de la tarde.

La calidad del aire se considera aceptable para un espacio cerrado con concentraciones de CO2 de 350 a 1000 ppm, de 1000 a 2000 ppm se considera aire de baja calidad, y de 2000 a 5000 ppm se considera aire viciado.

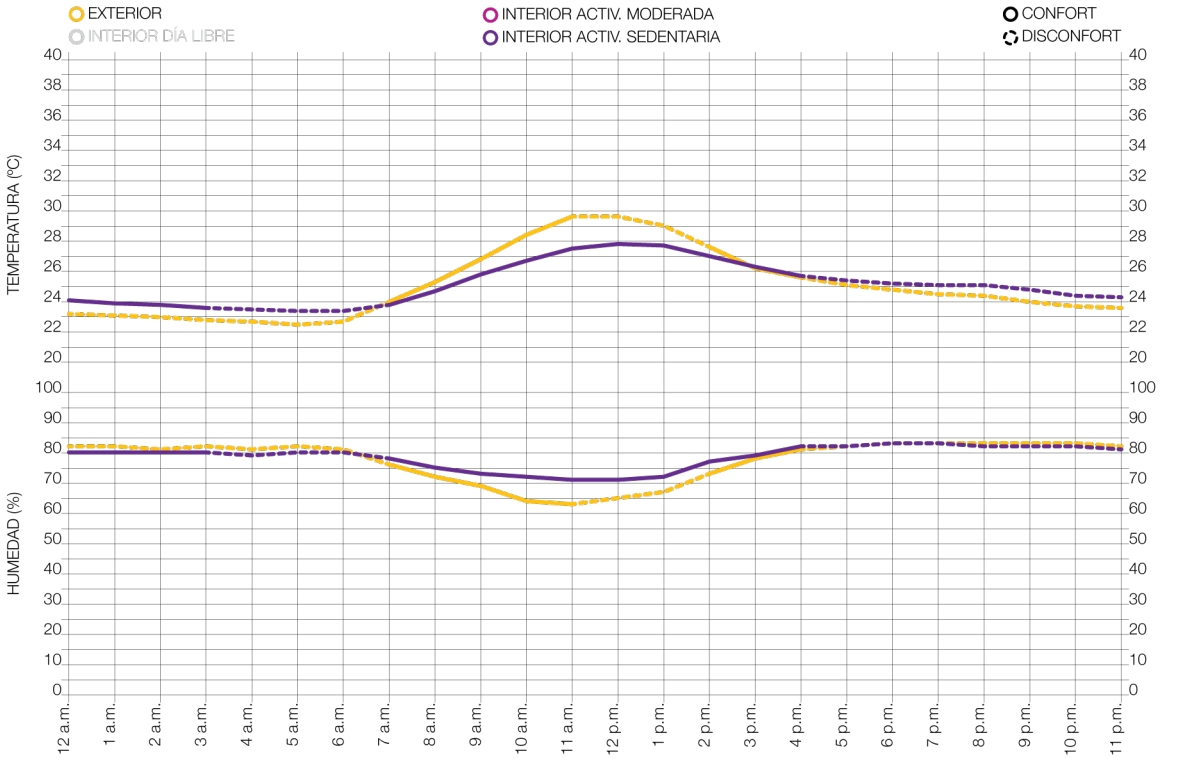
Índice de Fanger. Para evaluar este espacio se considera un met de 1.0 y un clo de 0.8, así como la velocidad del aire, temperatura y humedad media registrados. El resultado es un voto medio estimado (PMV) de 0.2 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 6% que sitúan el espacio dentro del área de confort.

SR-N3 Sala de reuniones. Ubicada en el tercer nivel del edificio. Las fachadas Norte y Sur son respectivamente, de vidrio y de concreto en su mayoría, y reciben entre 0 y 10 horas diarias de radiación directa a lo largo del año.

Consiste en un espacio cerrado que puede ser ocupado por hasta 30 personas. Se caracteriza por desarrollar actividad sedentaria.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 24.6ºC. La máxima se registra alrededor de la 1 p.m. con 28.9ºC, y la mínima alrededor de las 6 a.m. con 21.4ºC, para un rango de oscilación de 7.5ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de



T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
24.2	28.9	21.1	7.8	79	91	58	33	12	12

Figura 111. Día tipo AU-N3, biomonitoreo prolongado EMAI. Elaboración propia.

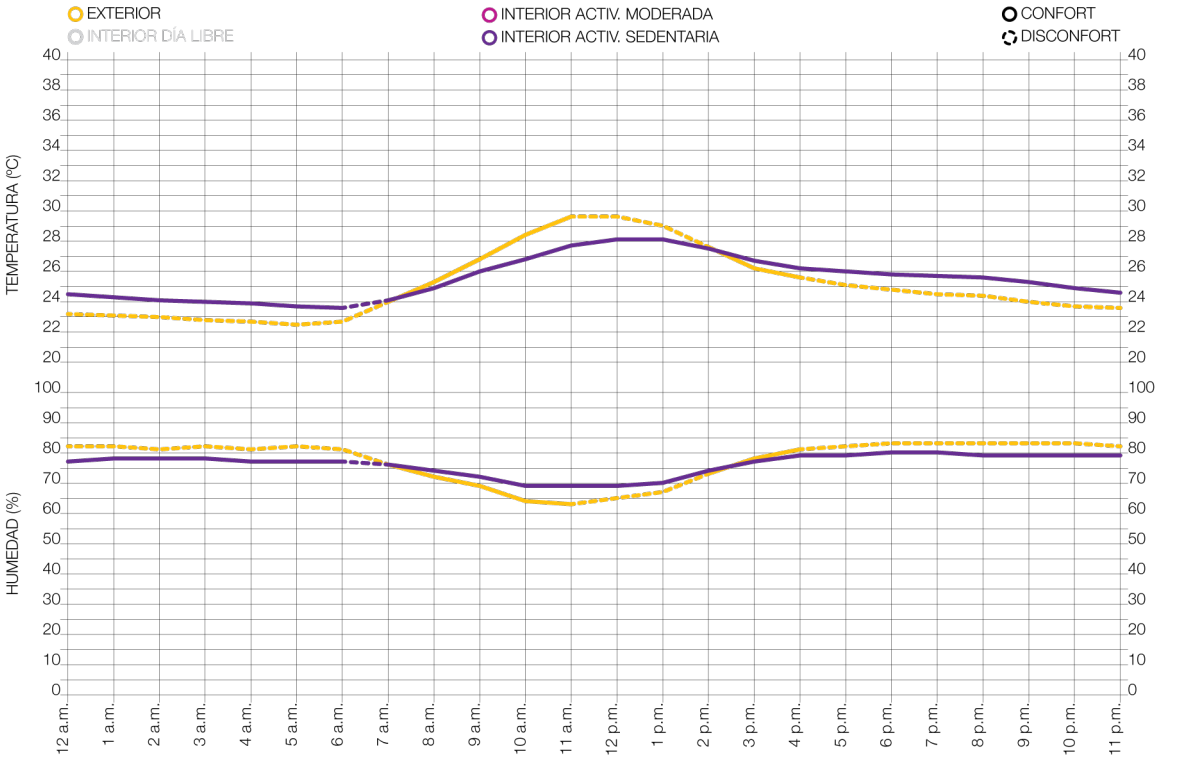
76%. La máxima se registra entre 1 y 3 a.m. y nuevamente a las 11 p.m. con 88%, y la mínima alrededor de las 10 a.m. con 60%, para un rango de oscilación de 28 puntos porcentuales.

Presenta condiciones de bienestar saludable durante la mayor parte del día, con sólo 1 hora de disconfort entre 6 y 7 a.m. Sin embargo, se mantiene en condiciones algo húmedas para la salud.

En general, la temperatura media es mayor a la exterior, mientras que la humedad media es ligeramente menor. Después de AU-N3, presenta uno de los mayores valores de humedad media, junto con TB-N2 y TA-N2. Sin embargo, junto con AD-N1, es uno de los espacios con mayor cantidad de horas de confort.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 339 ppm. Los medios de renovación del aire son la puerta al pasillo y las ventanas abatibles ubicadas en ventanerías de las fachadas Norte y Sur.

Índice de Fanger. Para evaluar este espacio se considera un met de 1.0 y un clo de 0.8, así como la velocidad del aire, temperatura y humedad media registrados. El resultado es un voto medio estimado (PMV) de 0.3 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 7% que sitúan el espacio dentro del área de confort.



T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
24.6	28.9	21.4	7.5	76	88	60	28	23	1

Figura 112. Día tipo SR-N3, biomonitoreo prolongado EMAI. Elaboración propia.

2.3.2 ÁREA DE SALUD MORA-PALMICHAL (ASMP), CIUDAD COLÓN

La toma de datos climáticos en el interior y exterior del edificio, permite evaluar la capacidad de la envolvente para amortiguar las condiciones climáticas externas. En el caso de Ciudad Colón, se determinó que marzo y abril son los meses más críticos en cuanto a condiciones de confort. Sin embargo, se realizan dos mediciones durante el mes de mayo, debido a la disponibilidad de equipos de medición.

La primera consiste en el biomonitoreo prolongado de temperatura, humedad, e iluminación, por un período de dos semanas. Y la segunda consiste en la toma manual de temperatura, humedad, temperatura media radiante, velocidad del viento, CO2, temperatura de los materiales, y nivel de ruido e iluminación.

Los resultados se evalúan mediante hojas de cálculo, para determinar las horas del día que se encuentran dentro de los rangos de bienestar determinados por el CBA.

Exterior. Durante el biomonitoreo prolongado, la temperatura media al exterior del edificio es de 24.1°C. La máxima se registra alrededor de las 2 p.m. con 28.6°C, mientras que la mínima se registra alrededor de las 5 a.m. con 21.7°C. El rango de oscilación es de 6.9°C.

En el mismo período, la humedad relativa registra una media de 86%. Con una máxima de 93% y una mínima de 69%, para un rango de oscilación de 24 puntos porcentuales.

Bajo estas condiciones, la humedad media se mantiene fuera del rango saludable (40-60%). Únicamente entre las 10 a.m. y las 2 p.m., las condiciones son confortables pero algo húmedas para la salud (60-80%). El resto de las horas la humedad supera el 80%, con niveles mayores durante la noche.

Espacios internos, días libres. Cuando el edificio está desocupado se registra una temperatura media interna de 24.0°C, siendo esta 0.1°C menor que la media externa. La temperatura máxima es de 27.5°C y ocurre cerca del mediodía. La temperatura mínima se registra a las 4 a.m. con 22.4°C. El rango de oscilación es de 5.1°C.

La humedad media interna es de 76%, 10 puntos porcentuales menor que la media externa. La humedad máxima es de 87% y la mínima es de 63%. El rango de oscilación es de 24 puntos porcentuales.

Las humedades son altas, y en ningún momento se dan condiciones de bienestar saludable (40-60%). Sin embargo, a todas horas el edificio se encuentra dentro de la zona de bienestar algo húmeda para la salud. No obstante, hay que tomar en cuenta que estas condiciones ocurren cuando el edificio está cerrado y sin usuarios.

Espacios internos, días laborales. La temperatura media de los espacios sin aire acondicionado en ocupación es de 25.2°C. Esto es 1.1°C mayor que la media exterior, y 1.2°C mayor que en

ZONA DE BIENESTAR ALGO SECA																					
T MAX (ºC)	29.7	29.7	29.6	29.6	29.5	29.5	29.4	29.4	29.3	29.3	29.3	29.2	29.2	29.1	29.1	29.0	29.0	28.9	28.9	28.8	28.8
T MIN (ºC)	23.7	23.7	23.7	23.7	23.7	23.7	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5
H MED (%)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
ZONA DE BIENESTAR SALUDABLE																					
T MAX (ºC)	28.8	28.8	28.7	28.7	28.6	28.6	28.5	28.5	28.4	28.4	28.4	28.3	28.3	28.2	28.2	28.1	28.1	28.0	28.0	27.9	27.9
T MIN (ºC)	23.5	23.5	23.5	23.5	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.2	23.2	23.2	23.2
H MED (%)	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
ZONA DE BIENESTAR ALGO HÚMEDA																					
T MAX (ºC)	27.9	27.9	27.8	27.8	27.7	27.7	27.6	27.6	27.5	27.5	27.5	27.4	27.4	27.3	27.3	27.2	27.2	27.1	27.1	27.0	27.0
T MIN (ºC)	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.0	23.0	23.0	23.0	23.0
H MED (%)	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80

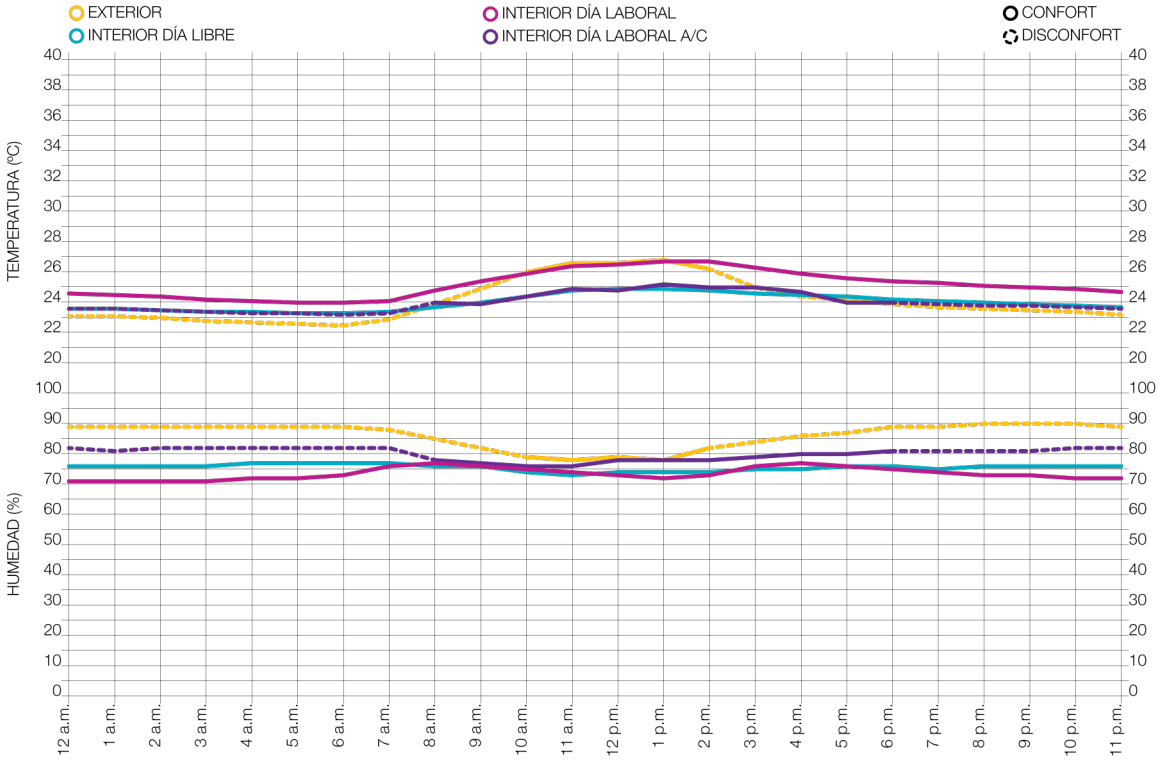
Figura 113. Zonas de bienestar determinadas por el CBA (refiérase al capítulo 2, sección 2.1.2 Ciudad Colón). Elaboración propia.

días libres. La temperatura máxima se da a las 2 p.m. con 28.6°C, y la mínima ocurre a las 5 a.m. con 22.7°C. El rango de oscilación es de 5.9°C. Se reduce 1.0°C con respecto al exterior, y aumenta 0.8°C con respecto a los días libres.

La humedad media es de 74%. Esto es 12 puntos porcentuales menor que la media exterior, y 2 puntos porcentuales menor que durante los días libres. La máxima y mínima es de 83% y 64% respectivamente. El rango de oscilación es de 19 puntos porcentuales, es decir 5 puntos porcentuales menor con respecto al exterior y a los días libres.

Las humedades son altas, y en ningún momento se dan condiciones de bienestar saludable (40-60%). Sin embargo, a todas horas el edificio se encuentra dentro de la zona de bienestar algo húmeda para la salud.

Espacios internos con A/C, días laborales. Al interior del edificio y en condiciones de ocupación, la temperatura media es de 24.0ºC para los espacios con aire acondicionado. Esto es 0.1ºC menor que la media exterior, y 1.2ºC menor que en los espacios sin aire acondicionado. La máxima



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	24.1	28.6	21.7	6.9	86	93	69	24	4	20
	24.0	27.5	22.4	5.1	76	87	63	24	24	0
	25.2	28.6	22.7	5.9	74	83	64	19	24	0
	24.0	26.8	21.3	5.5	80	90	61	29	10	14

Figura 114. Día tipo interior-exterior, biomonitoreo prolongado ASMP. Elaboración propia.

se registra alrededor de las 11 a.m. con 26.8ºC, mientras que la mínima se alcanza alrededor de las 10 a.m. con 21.3ºC. El rango de oscilación se reduce con respecto al exterior y a los días laborales sin aire acondicionado, pero aumenta con respecto a los días libres, siendo de 5.5ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 80%. Esto es 6 puntos porcentuales menor a la media exterior, pero 4 y 6 puntos porcentuales mayor que en los días libres y en los espacios sin aire acondicionado. La máxima alcanza el 90% mientras que la mínima alcanza el 61%. El rango de oscilación aumenta con respecto al exterior, a días libres y a los espacios sin aire acondicionado, con 29 puntos porcentuales.

Las humedades son altas, y en ningún momento se dan condiciones de bienestar saludable (40-60%). Sin embargo, entre las 8 a.m. y las 6 p.m. estos espacios se encuentran dentro de la zona de bienestar algo húmeda para la salud, esto es cuando se utiliza el aire acondicionado.

Conclusiones. Durante los días libres la temperatura media es más baja que la externa durante el día, y más alta durante la noche. La humedad media se mantiene dentro de los límites de bienestar algo húmedo (60-80%). Esto implica que la envolvente logra disminuir el impacto de las condiciones externas.

Durante los días laborales, la temperatura media se mantiene por encima de la externa durante la mayor parte del día. El uso de aire acondicionado ocasiona temperaturas más frescas, pero humedades más altas. Los mayores lapsos de bienestar se experimentan sin uso de aire acondicionado.

Mediciones manuales. En cuanto a las mediciones manuales, en los espacios internos la temperatura media varía entre los 27.5°C y los 28.7°C, con rangos de oscilación entre 1.7°C y 5.7°C. En el exterior la temperatura media es de 27.9°C, con un rango de oscilación de 3.8°C.

La temperatura se eleva en todos los espacios, conforme llega el mediodía y la tarde. La más baja ocurre a las 3 p.m., con 26.4°C, en la oficina de trabajo social (TS-N2), debido al aire acondicionado. La máxima se registra a la 1 p.m., con 29.1°C, en el pasillo de emergencias en el módulo C (PE-N2).

Los espacios del primer nivel experimentan mayores temperaturas y mayores rangos de oscilación en comparación con los del segundo nivel debido a la influencia de las superficies adyacentes al edificio, y a la mayor concentración de usuarios.

En cuanto a la humedad, la media varía entre el 74% y el 80% en los espacios internos, con rangos de oscilación de 19 a 29 puntos porcentuales. Mientras que la media exterior es de 86%, con un rango de oscilación de 24 puntos porcentuales.

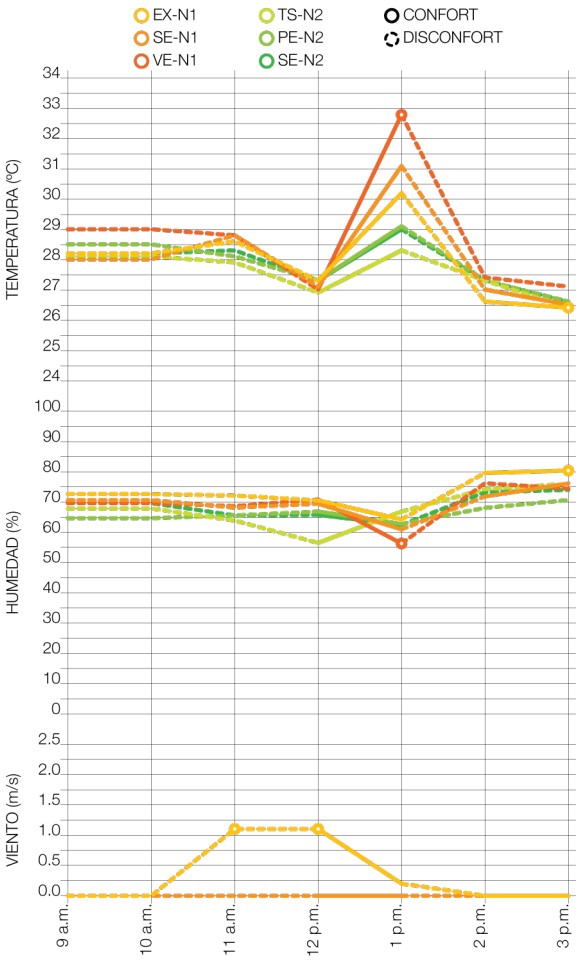
El comportamiento de la humedad y de la temperatura son inversos entre sí. La humedad máxima ocurre a las 3 p.m. con 77% en la sala de espera del primer nivel del módulo C (SE-N1). Y la mínima se registra a la 1 p.m. con 57% en el vestíbulo de emergencias del módulo D (VE-N1).

El promedio de las humedades internas es

menor que la externa. Sin embargo, superan el rango de bienestar saludable. Solo hay un espacio monitoreado el cual durante un único momento coincide con la relación de bienestar algo húmedo.

En todos los espacios internos la velocidad del viento es nula ya que todas las ventanas permanecen cerradas. La velocidad del viento promedio en el exterior es de 0.4 m/s.

Conclusiones. En general, todos los espacios se mantienen fuera de la zona de bienestar saludable, debido a que las humedades son en todo momento mayores al 60%.



	TEMPERATURA (ºC)				HUMEDAD RELATIVA (%)			
	T MED	T MAX	T MIN	Δ	H MED	H MAX	H MIN	Δ
	27.9	30.2	26.4	3.8	74	81	65	16
	28.1	31.1	26.5	4.6	70	77	61	15
	28.7	32.8	27.0	5.8	70	77	57	20
	27.6	28.3	26.4	1.9	68	76	57	20
	27.9	29.1	26.6	2.5	67	71	63	8
	27.8	29.0	26.6	2.4	69	74	63	12

Figura 115. Mediciones manuales por espacio, ASMP. Elaboración propia.

Biomonitoreo por espacios. Los espacios monitoreados en el ASMP son, en el módulo C, el área externa y la sala de espera en el primer nivel (EX-N1, SE-N1); la oficina de trabajo social, el pasillo de salida de emergencia y la sala de espera en el segundo nivel (TS-N2, PE-N2, SE-N2). En el módulo D se monitorea el vestíbulo de emergencias en el primer nivel (VE-N1).

EX-N1 Área externa. Ubicada al exterior del módulo C, en un amplio alero de la entrada principal Suroeste. La fachada consiste en un muro de concreto, que recibe entre 4 y 7 horas de radiación directa a lo largo del año. Consiste en un espacio externo de llegada, remetido en el volumen de la fachada.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 24.1ºC. La máxima se registra alrededor de las 2 p.m. con 28.6ºC, y la mínima entre 5 y 6 a.m. con 21.7ºC, para un rango de oscilación de 6.9ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 86%. La máxima se registra entre 9 p.m. y 4 a.m. con 93%, y la mínima entre 11 a.m. y 1 p.m. con 69%, para un rango de oscilación de 24 puntos porcentuales.

Las condiciones de bienestar se dan durante 4 horas, entre 10 a.m. y 2 p.m., con condiciones algo húmedas para la salud. El resto del día las condiciones son de disconfort.

Mediciones manuales. Registra un movimiento promedio del aire de 0.4 m/s. Al ser espacio externo registra valores bajos de temperatura de materiales, con un promedio de 27.7ºC en piso y 28.0ºC en paredes. La concentración promedio de CO2 es de 268 ppm.

Índice de Fanger. De acuerdo al índice de

Figura 116. Plantas de ubicación de los espacios monitoreados, ASMP. Elaboración propia.

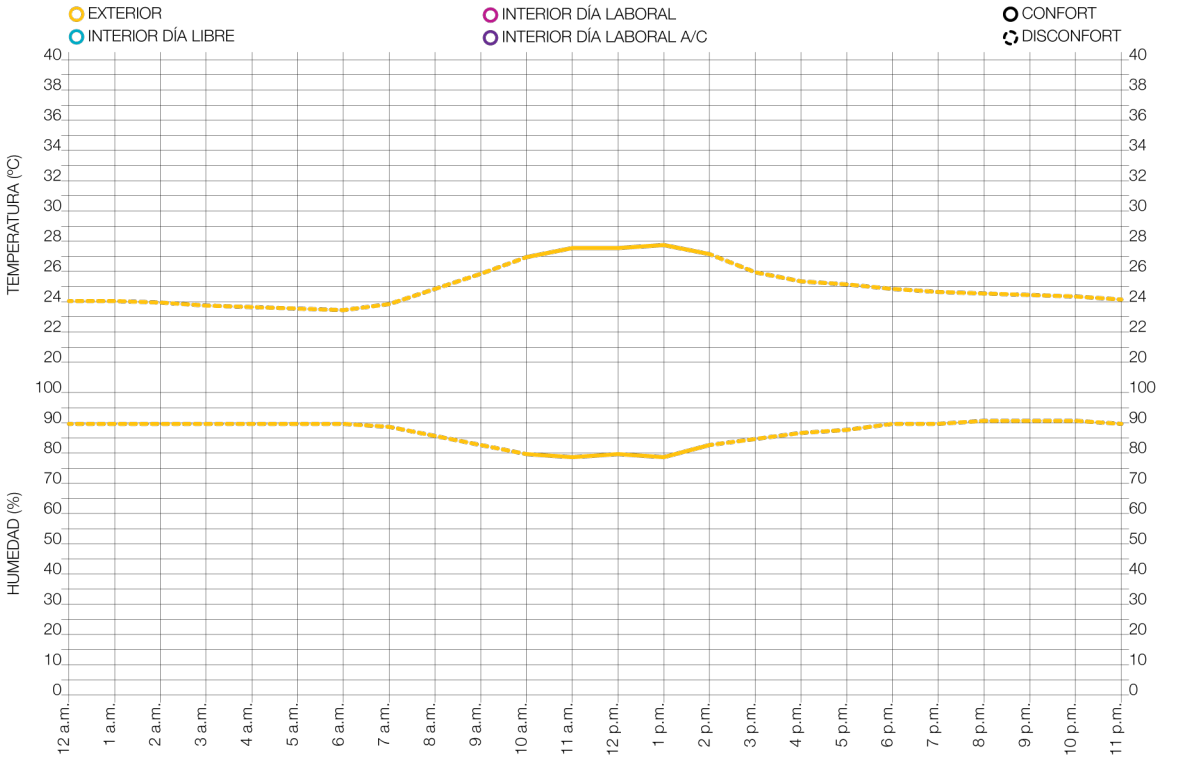
Fanger, se considera térmicamente satisfactorio un voto medio estimado (PMV) de -0.5 a 0.5 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) menor al 10%.

Para evaluar cada espacio se considera un met de 1.0 y un clo de 0.8 para actividad laboral sedentaria, así como la velocidad del aire, temperatura y humedad media registrados durante los días laborales del espacio respectivo. El resultado es un voto medio estimado (PMV) de 1.1 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 31% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

SE-N1 Sala de espera. Ubicado en el primer nivel del módulo C, en el espacio central. La fachada Suroeste consiste en un muro de concreto, el cual recibe entre 4 y 7 horas de radiación directa a lo largo del año. Mientras que la fachada Noreste consiste en un muro cortina, que recibe 2 horas de radiación directa a lo largo del año debido al auto sombreamiento del edificio.

Es uno de los espacios que recibe mayor cantidad de público. Comparte volumen de aire con algunos espacios anexos.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 23.0ºC durante los días libres, y de 23.6ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 12 p.m. con 24.2ºC, y la



T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
24.1	28.6	21.7	6.9	86	93	69	24	4	20

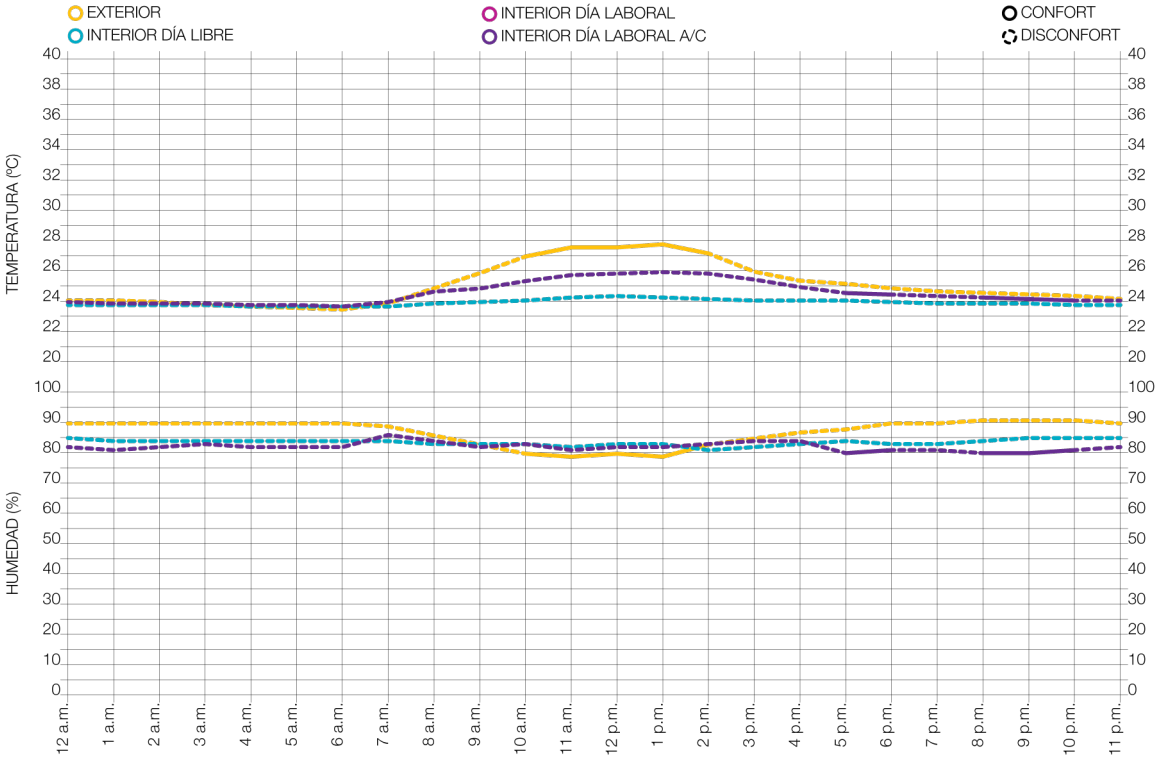
Figura 117. Día tipo EX-N1, biomonitoreo prolongado ASMP. Elaboración propia.

mínima alrededor de las 4 a.m. con 22.4ºC, para un rango de oscilación de 1.8ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de la 1 p.m. con 25.7ºC, y la mínima se registra entre 3 y 6 a.m. con 22.5ºC, para un rango de oscilación de 3.2ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 84% para los días libres, y de 82% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre 5 y 10 p.m. con 87%, y la mínima alrededor de las 12 p.m. con 76%, para un rango de oscilación de 11 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 6 p.m. con 90%, y la mínima a las 11 a.m. y entre 5 y 8 p.m. con 76%, para un rango de oscilación de 14 puntos porcentuales.

Tanto durante los días libres como los laborales, la humedad se mantiene cercana al 80%. Durante los días libres, las condiciones son de disconfort durante las 24 horas. Durante los días laborales, las horas de disconfort se reducen, con sólo 3 horas de bienestar algo húmedas, a las 5 p.m., y de 8 a 10 p.m.

En general, tanto la temperatura media como la humedad media, es menor a la exterior. En días libres, presenta el menor valor de temperatura me-



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	23.0	24.2	22.4	1.8	84	87	76	11	0	24
	23.6	25.7	22.5	3.2	82	90	76	14	3	21

Figura 118. Día tipo SE-N1, biomonitoreo prolongado ASMP. Elaboración propia.

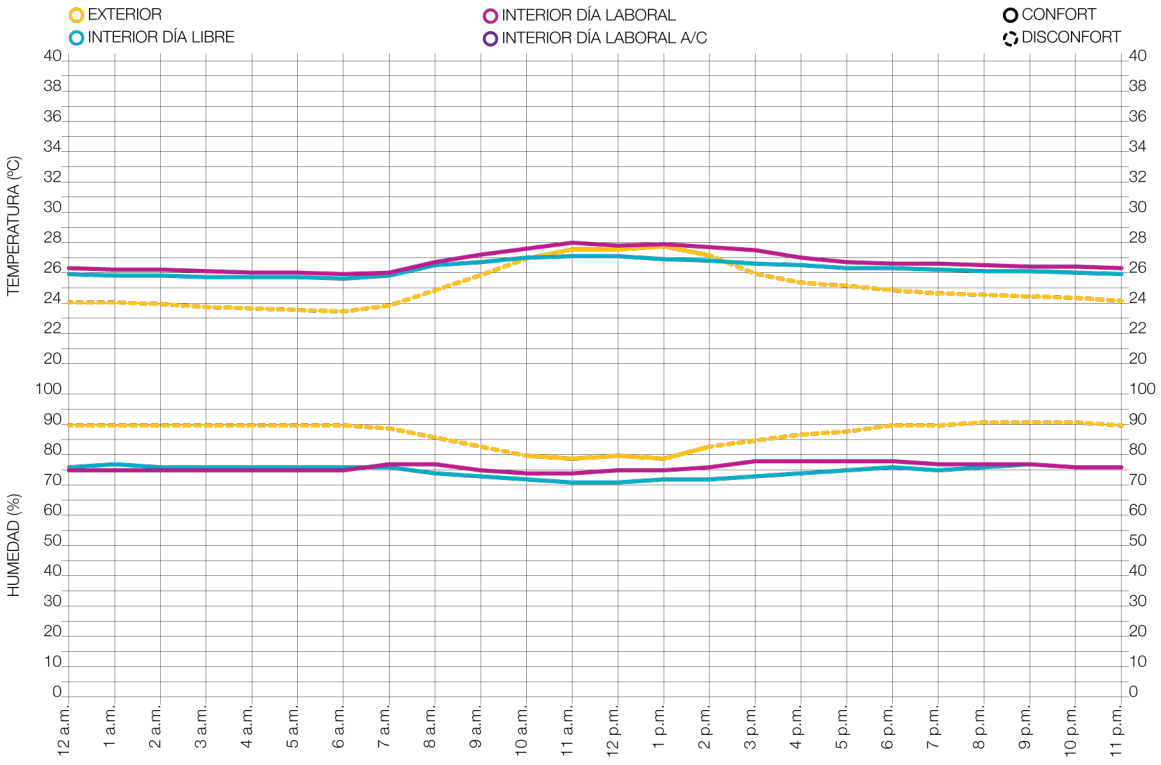
dia, y el mayor valor de humedad media; siendo el espacio con menor cantidad de horas de confort, incluso en relación al exterior. En días laborales, presenta el menor valor de temperatura media, y el mayor valor de humedad media; siendo el espacio con menor cantidad de horas de confort, incluso en relación al exterior.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire, sin embargo la calidad de aire es aceptable. La concentración promedio de CO2 es de 345 ppm. Las ventanas permanecen cerradas por uso del aire acondicionado.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 0.1 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 5% que sitúan el espacio dentro del área de confort.

VE-N1 Vestíbulo de emergencias. Ubicado en el primer nivel del módulo D, en la parte central de la fachada Noreste, la cual consiste en un muro cortina, que recibe entre 3 y 7 horas de radiación directa a lo largo del año. La fachada Suroeste consiste en un muro de concreto, que recibe 2 horas de radiación directa a lo largo del año debido al auto sombreamiento del edificio.

Es uno de los espacios que recibe mayor cantidad de público. Comparte volumen de aire



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	25.4	27.5	24.4	3.1	75	79	64	15	24	0
	25.8	28.1	24.6	3.5	76	83	67	16	24	0

Figura 119. Día tipo VE-N1, biomonitoreo prolongado ASMP. Elaboración propia.

con el núcleo de circulación vertical.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 25.4ºC durante los días libres, y de 25.8ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 12 p.m. con 27.5ºC, y la mínima alrededor de las 6 a.m. con 24.4ºC, para un rango de oscilación de 3.1ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 11 a.m. con 28.1ºC, y la mínima se registra alrededor de las 7 a.m. con 24.6ºC, para un rango de oscilación de 3.5ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 75% para los días libres, y de 76% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre 4 y 5 a.m. con 79%, y la mínima alrededor de las 12 p.m. con 64%, para un rango de oscilación de 15 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra a las 8 a.m., y entre 3 y 10 p.m. con 83%, y la mínima entre 10 y 11 a.m. con 67%, para un rango de oscilación de 16 puntos porcentuales.

Tanto durante los días libres como los laborales, la humedad media se mantiene sobre el rango saludable (40-60%), con condiciones de bienestar algo húmedas para la salud (60-80%) durante las 24 horas.

En general, la temperatura media es mayor a la exterior, mientras que la humedad media es menor. En días libres, presenta el mayor valor de temperatura media; siendo uno de los espacios con mayor cantidad de horas de confort, al igual que SE-N2. En días laborales, presenta el mayor valor de temperatura media; siendo uno de los espacios con mayor cantidad de horas de confort, al igual que PE-N2 y SE-N2.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 348 ppm. El núcleo de escaleras permite que el aire caliente suba, sin embargo no tiene salida en el segundo nivel, por lo que queda atrapado y circulando.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 0.7 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 15% que sitúan el espacio en el área de confort extendida (menos del 20% de insatisfechos).

TS-N2 Oficina de trabajo social. Ubicado en el segundo nivel del módulo C, hacia el patio central que separa ambos módulos. La fachada Noreste consiste en un muro de concreto, el cual recibe entre 3 y 4 horas de radiación directa a lo largo del año debido al auto sombreamiento del edificio. Cuenta con ventilación hacia un patio interno, sin embargo se utiliza aire acondicionado durante el horario laboral.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 24.1ºC durante los días libres, y de 24.5ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 12 p.m. con 27.0ºC, y la mínima entre 6 y 11 a.m. con 22.7ºC, para un rango de oscilación de 4.3ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 11 a.m. con 26.8ºC, y la mínima alrededor de las 10 a.m. con 21.3ºC, para un rango de oscilación

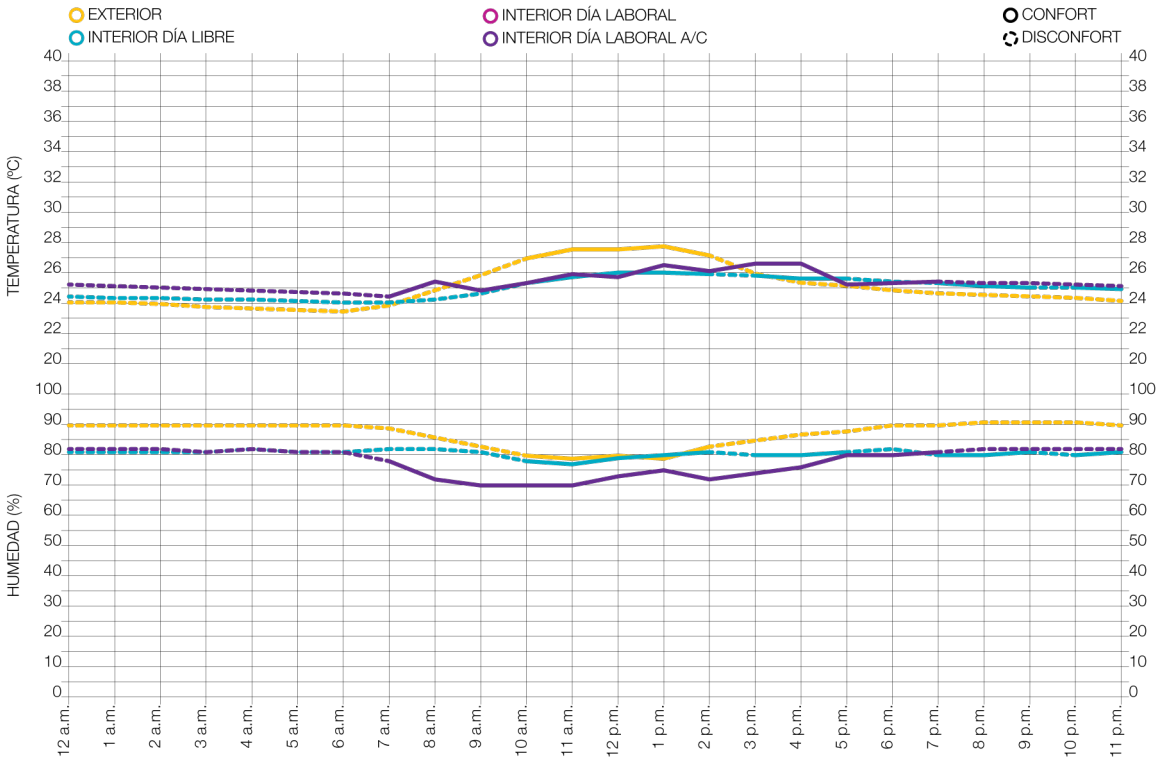
de 5.5ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 81% para los días libres, y de 78% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre 12 y 6 p.m. a.m. con 85%, y la mínima alrededor de las 12 p.m. con 70%, para un rango de oscilación de 15 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra entre 7 p.m. y 6 a.m. con 84%, y la mínima a las 9 a.m. y 3 p.m. con 61%, para un rango de oscilación de 23 puntos porcentuales.

Durante los días libres, las condiciones son de bienestar, aunque algo húmedas durante 9 horas, entre las 10 a.m. y las 11 p.m. Durante los días laborales, las condiciones de bienestar se extienden a 12 horas, aunque algo húmedas, entre 7 a.m. y 7 p.m.

En general, la temperatura media es igual a la exterior en días libres, y mayor en días laborales; mientras que la humedad media es mayor a la exterior en días libres, y menor en días laborales.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 449 ppm la cual es alta, con respecto al resto de los espacios. Aunque cuenta con ventana, esta permanece cerrada debido al uso de



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	24.1	27.0	22.7	4.3	81	85	70	15	9	15
	24.5	26.8	21.3	5.5	78	84	61	23	12	12

Figura 120. Día tipo TS-N2, biomonitoreo prolongado ASMP. Elaboración propia.

aire acondicionado.

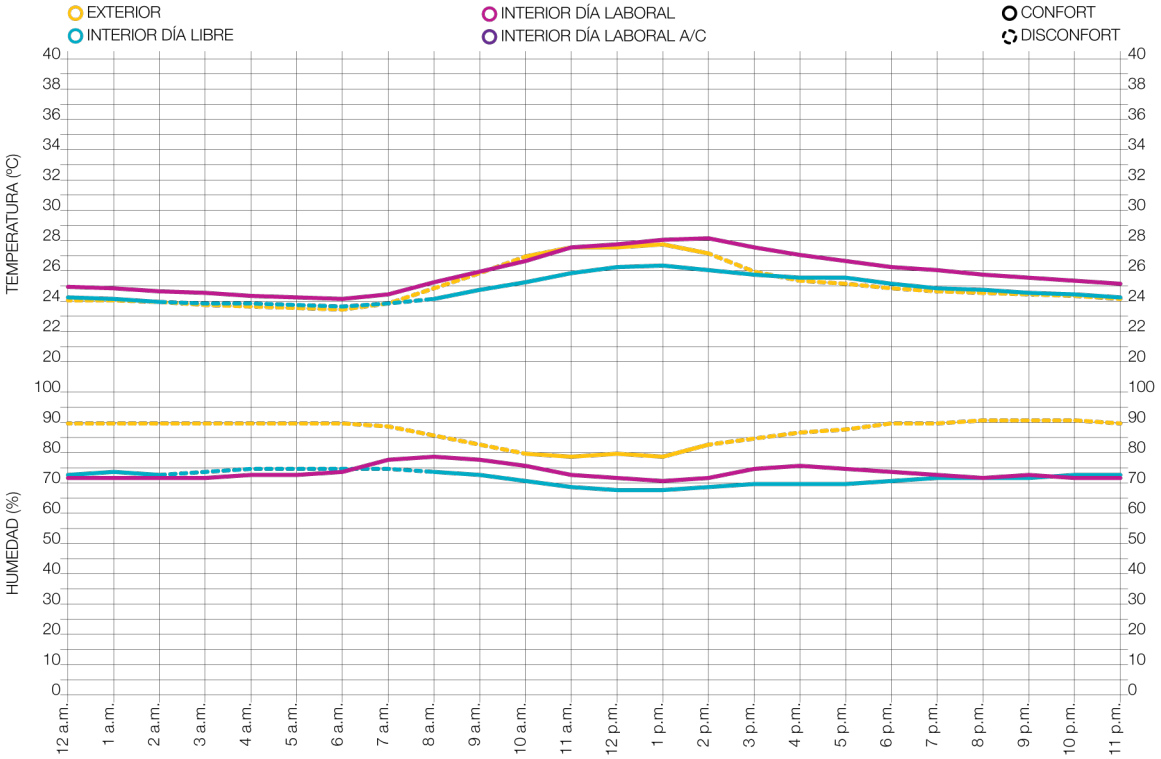
Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 0.3 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 7% que sitúan el espacio dentro del área de confort.

PE-N2 Pasillo salida de emergencias. Ubicado en el segundo nivel del módulo C. Recibe soleamiento en las tardes al estar en la fachada Suroeste, la cual consiste en un muro de concreto con ventanas, que recibe entre 4 y 7 horas de radiación directa a lo largo del año.

Consiste en un pasillo alargado, que comparte volumen de aire con la sala de espera del Módulo C (SE-N2).

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 23.8ºC durante los días libres, y de 24.9ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 12 p.m. con 27.0ºC, y la mínima entre 4 y 6 a.m. con 22.4ºC, para un rango de oscilación de 4.6ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 2 p.m. con 28.6ºC, y la mínima entre las 5 y 6 a.m. con 22.7ºC, para un rango de oscilación de 5.9ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 71% para los días libres, y de 73% para los días labora-



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	23.8	27.0	22.4	4.6	71	77	63	14	18	6
	24.9	28.6	22.7	5.9	73	82	64	18	24	0

Figura 121. Día tipo PE-N2, biomonitoreo prolongado ASMP. Elaboración propia.

les. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre 1 y 6 a.m. con 77%, y la mínima alrededor de las 2 p.m. con 63%, para un rango de oscilación de 14 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 5 p.m. con 82%, y la mínima alrededor de las 2 p.m. con 64%, para un rango de oscilación de 18 puntos porcentuales.

Durante los días libres, las condiciones son de bienestar, aunque algo húmedas durante 18 horas, con sólo 6 horas de disconfort de 2 a 8 a.m. Durante los días laborales, las condiciones de bienestar algo húmedas se extienden durante las 24 horas del día.

En general, la temperatura media es menor a la exterior en días libres, y mayor en días laborales; mientras que la humedad media es menor a la exterior. En días laborales, es uno de los espacios con mayor cantidad de horas de confort, al igual que VE-N1 y SE-N2.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 473 ppm. Aunque el espacio cuenta con ventanas y una puerta de emergencias, estas permanecen cerradas. No hay renovación de aire, y la concentración de CO2 es alta, con respecto al resto de los espacios.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 0.4 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 8% que sitúan el espacio dentro del área de confort.

SE-N2 Sala de espera. Ubicado en el segundo nivel del módulo C, es un espacio compartido que pertenece a ambos módulos, y que se une al núcleo de circulación vertical. La fachada Suroeste consiste en un muro de concreto con ventanas, el cual recibe entre 4 y 7 horas de radiación directa a lo largo del año. Mientras que la fachada Noreste consiste en un muro de concreto con ventanas, que recibe entre 3 y 7 horas de radiación directa a lo largo del año.

Es uno de los espacios que recibe mayor cantidad de público. Cuenta con ventanerías amplias en ambas fachadas principales.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 23.9ºC durante los días libres, y de 24.8ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 12 p.m. con 25.9ºC, y la mínima entre 5 y 6 a.m. con 22.7ºC, para un rango de oscilación de 3.2ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 2 p.m. con 26.9ºC, y la mínima alrededor de las 5 a.m. con 23.0ºC, para un rango de oscilación de 3.9ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 70% para los días libres, y de 72% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 5 p.m. con 76%, y la mínima entre 12 y 1 p.m. con 65%, para un rango de oscilación de 11 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra entre 8 y 10 a.m. con 82%, y la mínima entre 12 y 5 a.m. con 65%, para un rango de oscilación de 17 puntos porcentuales.

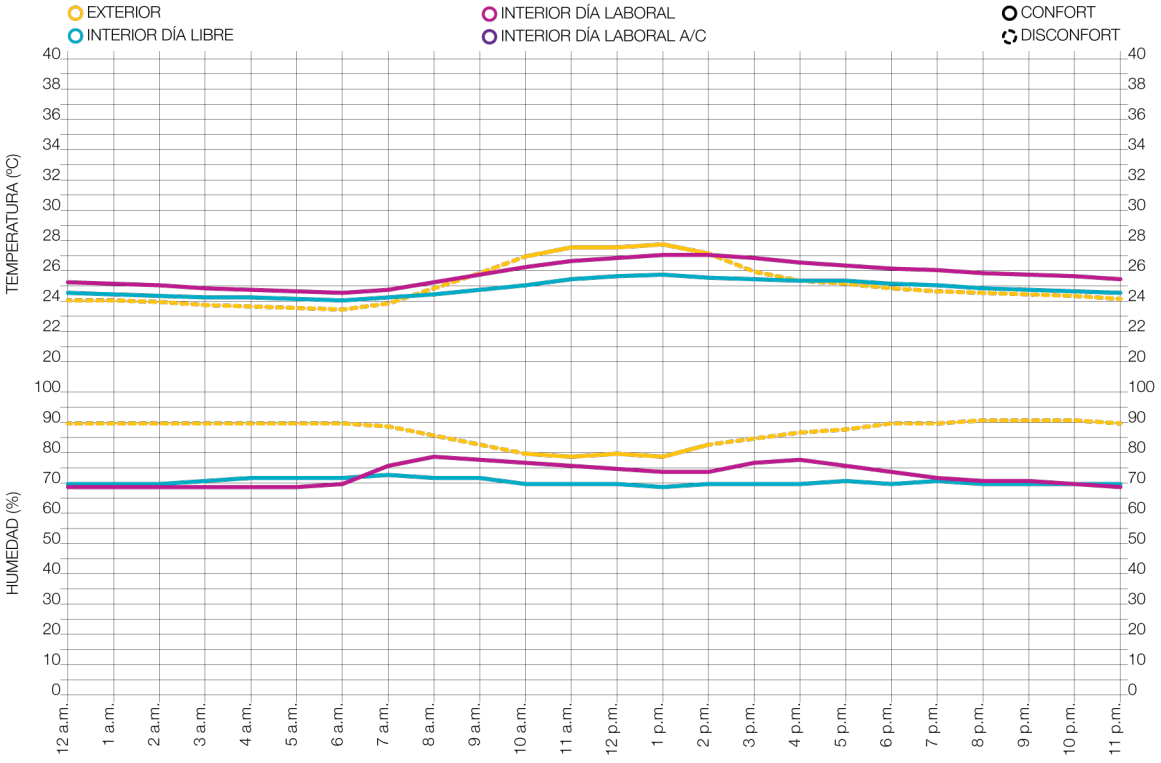
Tanto durante los días libres como los laborales, la humedad media se mantiene sobre el rango

saludable (40-60%), con condiciones de bienestar algo húmedas para la salud (60-80%) durante las 24 horas.

En general, la temperatura media es menor a la exterior en días libres, y mayor en días laborales; mientras que la humedad media es menor a la exterior. En días libres, presenta el menor valor de humedad media; siendo uno de los espacios con mayor cantidad de horas de confort, al igual que VE-N1. En días laborales, presenta el menor valor de humedad media; siendo uno de los espacios con mayor cantidad de horas de confort, al igual que VE-N1 y PE-N2.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 426 ppm. Aunque el espacio cuenta con ventanas en ambas fachadas principales, estas permanecen cerradas debido al uso de aire acondicionado. Se encuentra bajo la influencia térmica del ducto de escaleras, las cuales contienen aire caliente que sube desde el espacio VE-N1.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 0.4 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 8% que sitúan el espacio dentro del área de confort.



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	23.9	25.9	22.7	3.2	70	76	65	11	24	0
	24.8	26.9	23.0	3.9	72	82	65	17	24	0

Figura 122. Día tipo SE-N2, biomonitoreo prolongado ASMP. Elaboración propia.

2.3.3 ESCUELA CENTRAL DE ATENAS (ECA)

La toma de datos climáticos en el interior y exterior del edificio, permite evaluar la capacidad de la envolvente para amortiguar las condiciones climáticas externas. En el caso de Atenas, se determinó que marzo y abril son los meses más críticos en cuanto a condiciones de confort. Sin embargo, se realizan dos mediciones a finales del mes de abril y principios de mayo, debido a la disponibilidad de equipos de medición.

La primera consiste en el biomonitoreo prolongado de temperatura, humedad, e iluminación, por un período de dos semanas. Y la segunda consiste en la toma manual de temperatura, humedad, temperatura media radiante, velocidad del viento, CO2, temperatura de los materiales, y nivel de ruido e iluminación.

Los resultados se evalúan mediante hojas de cálculo, para determinar las horas del día que se encuentran dentro de los rangos de bienestar determinados por el CBA.

Exterior. Durante el biomonitoreo prolongado, la temperatura media al exterior del edificio es de 25.1ºC. La máxima se registra alrededor de la 12 p.m. con 31.0ºC, mientras que la mínima se registra alrededor de las 5 a.m. con 20.6ºC. El rango de oscilación es de 10.4ºC.

En el mismo período, la humedad relativa registra una media de 82%. Con una máxima de 93% y una mínima de 57%, para un rango de oscilación de 36 puntos porcentuales.

Bajo estas condiciones, la humedad media se mantiene fuera del rango saludable (40-60%), y las temperaturas son muy altas durante el día. En general las condiciones son confortables pero algo húmedas para la salud (60-80%).

Espacios internos, días libres. Al interior del edificio y en condiciones de desocupación, la temperatura media es de 26.0ºC, siendo 0.9ºC mayor que la media exterior. La máxima se registra alrededor de las 1 p.m. con 30.2ºC, mientras que la mínima se registra alrededor de las 5 a.m. con 22.4ºC. El rango de oscilación se reduce con respecto al exterior, siendo de 7.8ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 77%, es decir 5 puntos porcentuales menor a la media exterior. La máxima alcanza el 88% mientras que la mínima alcanza el 60%. El rango de oscilación se reduce con respecto al exterior, siendo de 28 puntos porcentuales.

Bajo estas condiciones, la humedad media se mantiene fuera del rango saludable durante todo el día (40-60%). Las horas de confort se mantienen, pero en condiciones algo húmedas para la salud (60-80%).

Espacios internos, días lectivos. Al interior del edificio y en condiciones de ocupación, la temperatura media es de 26.2ºC. Esto es sólo 0.2ºC mayor que la media exterior, y 1.1ºC mayor que durante los días libres. La máxima se registra alrededor de las 2 p.m. con 30.9ºC, mientras que la mínima se alcanza alrededor de las 6 a.m. con 22.1ºC. El rango de oscilación disminuye con respecto al exterior y aumenta con respecto a los días libres, siendo de 8.8ºC.

ZONA DE BIENESTAR ALGO SECA																					
T MAX (ºC)	31.6	31.5	31.5	31.4	31.4	31.3	31.2	31.2	31.1	31.1	31.0	30.9	30.9	30.8	30.8	30.7	30.6	30.6	30.5	30.5	30.4
T MIN (ºC)	25.4	25.4	25.4	25.3	25.3	25.3	25.3	25.3	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.0	25.0	25.0
H MED (%)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
ZONA DE BIENESTAR SALUDABLE																					
T MAX (ºC)	30.4	30.3	30.3	30.2	30.2	30.1	30.0	30.0	29.9	29.9	29.8	29.7	29.7	29.6	29.6	29.5	29.4	29.4	29.3	29.3	29.2
T MIN (ºC)	25.0	25.0	25.0	24.9	24.9	24.9	24.9	24.9	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.6	24.6	24.6
H MED (%)	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
ZONA DE BIENESTAR ALGO HÚMEDA																					
T MAX (ºC)	29.2	29.1	29.1	29.0	29.0	28.9	28.8	28.8	28.7	28.7	28.6	28.5	28.5	28.4	28.4	28.3	28.2	28.2	28.1	28.1	28.0
T MIN (ºC)	24.6	24.6	24.6	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	24.3	24.3	24.3	24.3	24.3	24.2	24.2	24.2
H MED (%)	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80

Figura 123. Zonas de bienestar determinadas por el CBA (refiérase al capítulo 2, sección 2.1.3 Atenas).

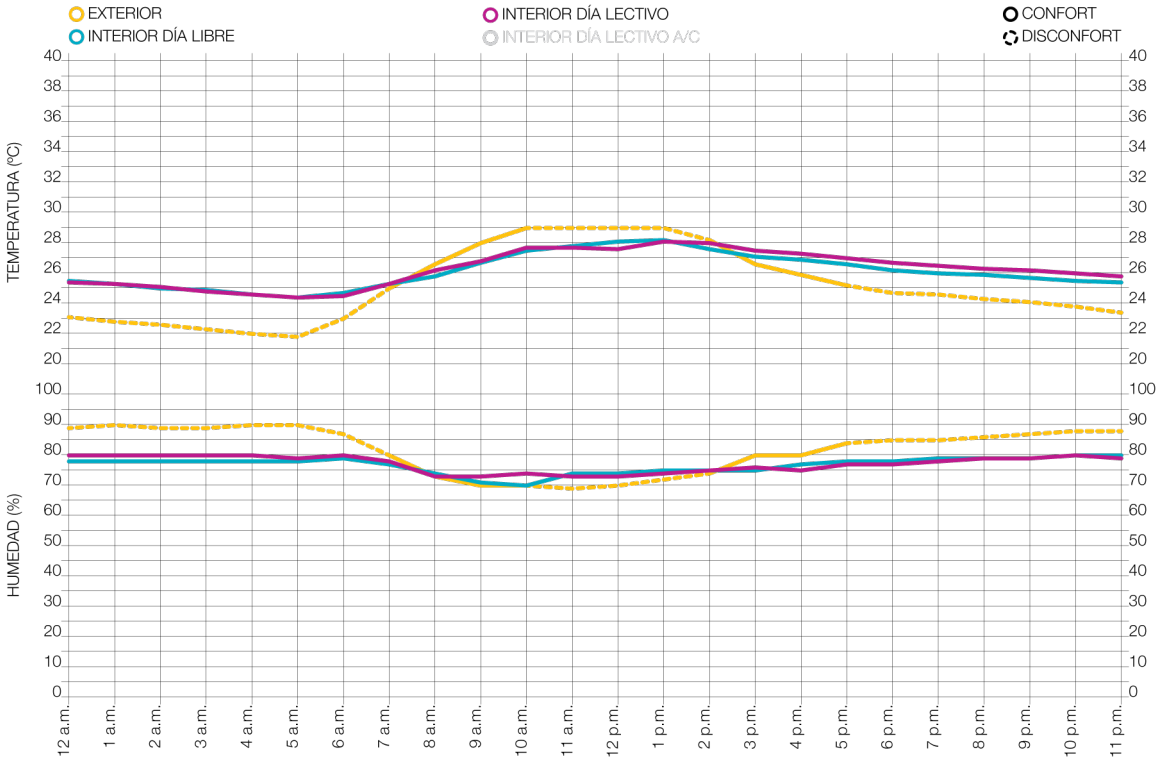
Elaboración propia.

En cuanto a la humedad, la media es de 77%. Esto es 5 puntos porcentuales menor a la media exterior, e igual que durante los días libres. La máxima alcanza el 89% mientras que la mínima alcanza el 54%. El rango de oscilación disminuye ligeramente con respecto al exterior y aumenta con respecto a los días libres, siendo de 35 puntos porcentuales.

Bajo estas condiciones, la humedad media se mantiene ligeramente sobre el rango saludable durante el transcurso del día, mientras que las temperaturas se mantienen estables entre 22 y 30ºC. Las horas de confort se mantienen con condiciones de bienestar algo húmedas (60-80%).

Conclusiones. Durante los días libres la temperatura interna es más baja que la externa durante el día y más alta durante la noche. La humedad media se mantiene dentro del rango de bienestar algo húmedo (60-80%). Esto implica que la envolvente logra disminuir de forma favorable el impacto de las condiciones externas.

Durante los días lectivos, la temperatura internas se mantienen muy similares en comparación a los días libres. Las condiciones de confort



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	25.1	31.0	20.6	10.4	82	93	57	36	6	18
	26.0	30.2	22.4	7.8	77	88	60	28	24	0
	26.2	30.9	22.1	8.8	77	89	54	35	24	0

Figura 124. Día tipo interior-exterior, biomonitoreo prolongado ECA. Elaboración propia.

se mantienen durante las 24 horas del día.

Mediciones manuales. En cuanto a las mediciones manuales, la temperatura media de los espacios internos varía entre los 29.0ºC y los 28.7ºC, con rangos de oscilación de 1.8ºC a 2.2ºC. Mientras que la media exterior es de 28.6ºC, con un rango de oscilación de 2.2ºC.

La mínima se registra alrededor de las 2 p.m., con 27.2ºC en el pasillo del primer nivel (EX-N1), mientras que la máxima se registra a las 12 p.m., con 29.9ºC en varios de los espacios (SE-N1, A3-N1 y A11-N1). La temperatura de los espacios internos se mantiene muy similar con respecto a la exterior siendo entre 0.1 y 0.4ºC superior.

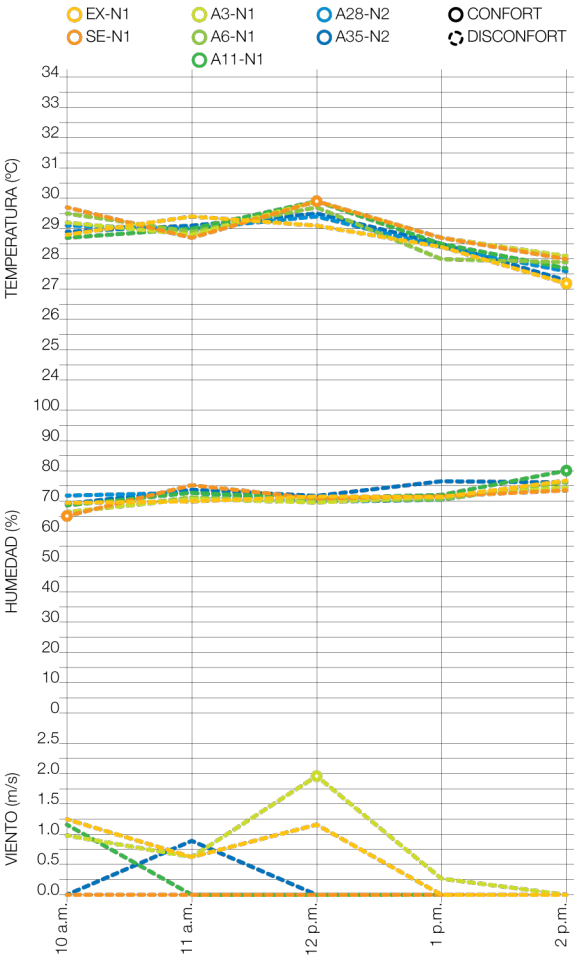
En cuanto a la humedad, la media varía entre el 70% y el 73% en los espacios internos, con rangos de oscilación de 1.7 a 11.4 puntos porcentuales. Mientras que la media exterior es de 72%, con un rango de oscilación de 7 puntos porcentuales.

La máxima se registra alrededor de las 2 p.m., con 80% en el aula 11 (A11-N1), mientras que la mínima se registra a las 10 a.m., con 65% en la oficina de secretaria (SE-N1).

La humedad de la mayoría de los espacios es mayor que la externa. En ambos casos tiende a mantenerse por encima del 60%. Ninguno de los espacios se mantiene dentro del rango de bienestar saludable, con un promedio de 72%.

La velocidad del viento de los espacios internos se mantiene entre 0 y 0.9 m/s, mientras que en el exterior se registra un promedio de 0.7 m/s.

Conclusiones. En general, las condiciones se mantienen dentro de la zona de bienestar algo húmeda para la salud durante todas las horas registradas, principalmente porque la humedad de la zona es muy alta.



	TEMPERATURA (ºC)				HUMEDAD RELATIVA (%)			
	T MED	T MAX	T MIN	Δ	H MED	H MAX	H MIN	Δ
	28.6	29.4	27.2	2.2	72	77	69	7
	29.0	29.9	28.0	1.9	71	75	65	10
	28.9	29.9	28.1	1.8	70	74	66	8
	28.8	29.7	27.9	1.8	71	76	66	10
	28.8	29.9	27.7	2.2	73	80	68	11
	28.7	29.4	27.6	1.8	72	77	70	7
	28.7	29.5	27.3	2.2	73	76	69	7

Figura 125. Mediciones manuales por espacio, ECA. Elaboración propia.

Biomonitoreo por espacios. Los espacios monitoreados en la ECA son el pasillo externo, la oficina de secretaría, y las aulas 3, 6 y 11, en el primer nivel (A3-N1, A6-N1, A11-N1, EX-N1 y SE-N1); y las aulas 28 y 35 en el segundo nivel (A28-N2, A35-N2).

EX-N1 Pasillo externo. Ubicado en el primer nivel del edificio, hacia el costado Norte del mismo, entre el volumen de aulas y el jardín central. Es el único medio de acceso a los espacios del edificio. Rodea el edificio desde el interior y colinda con los patios internos.

Figura 126. Plantas de ubicación de los espacios monitoreados, ECA. Elaboración propia.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 25.1ºC. La máxima se registra alrededor de las 12 p.m. con 31.0ºC, y la mínima entre 4 y 5 a.m. con 20.6ºC, para un rango de oscilación de 10.4ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 82%. La máxima se registra alrededor de las 4 a.m. con 93%, y la mínima alrededor de las 11 a.m. con 57%, para un rango de oscilación de 36 puntos porcentuales.

Esto implica que en el exterior la humedad media se mantiene sobre el rango saludable con 6 horas de condiciones de bienestar algo húmedas para la salud (60-80%).

Mediciones manuales. Registra un movimiento promedio del aire de 0.7 m/s. La concentración promedio de CO2 es de 277 ppm.

Índice de Fanger. De acuerdo al índice de Fanger, se considera térmicamente satisfactorio un voto medio estimado (PMV) de -0.5 a 0.5 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) menor al 10%.

Para evaluar cada espacio se considera un met de 1.0 y un clo de 0.8 para actividad laboral sedentaria, así como la velocidad del aire, temperatura y humedad media registrados durante los días lectivos del espacio respectivo. El resultado es un voto medio estimado (PMV) de 0 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 5% que sitúan el espacio dentro del área de confort.

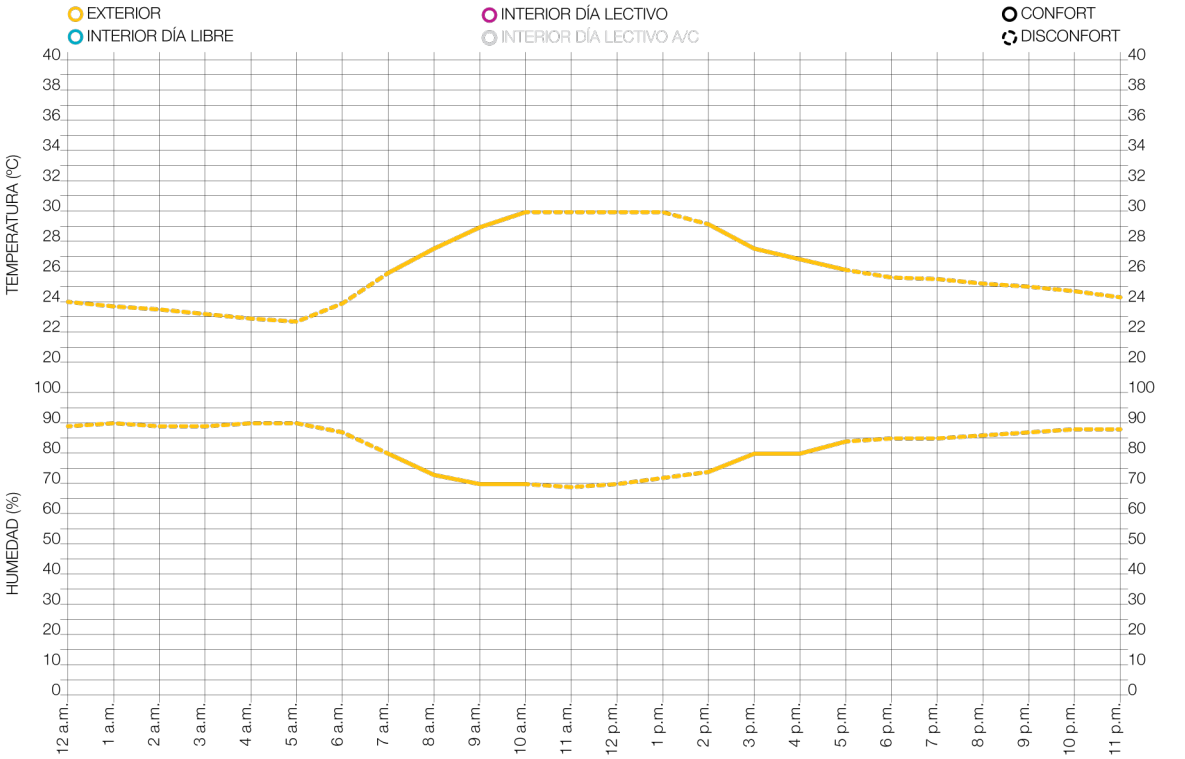
SE-N1 Secretaría. Ubicada en el primer nivel del edificio, hacia el Norte del mismo, junto al acceso principal. La fachada Norte consiste en pare-

des de concreto con aperturas que dejan pasar el aire. Recibe entre 9 y 11 horas diarias de radiación directa a lo largo del año. Posee aberturas hacia el Norte y Sur, que permiten la circulación del aire.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 26.5ºC durante los días libres, y de 26.7ºC durante los días lectivos. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 3 p.m. con 29.9ºC, y la mínima alrededor de las 5 a.m. con 23.9ºC, para un rango de oscilación de 6.0ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra entre 1 y 2 p.m. con 30.3ºC, y la mínima alrededor de las 12 p.m. con 23.3ºC, para un rango de oscilación de 7.0ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 76%, tanto para los días libres como los lectivos. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre 7 y 11 p.m. con 82%, y la mínima alrededor de las 10 a.m. con 67%, para un rango de oscilación de 15 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra entre 2 y 6 a.m. con 84%, y la mínima entre 11 a.m. y 12 p.m. con 57%, para un rango de oscilación de 27 puntos porcentuales.

Durante los días libres, presenta condiciones de bienestar algo húmedas durante 22 horas, con 2 horas de disconfort entre 12 y 2 p.m. Durante los días lectivos, condiciones de bienestar algo



T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
25.1	31.0	20.6	10.4	82	93	57	36	6	18

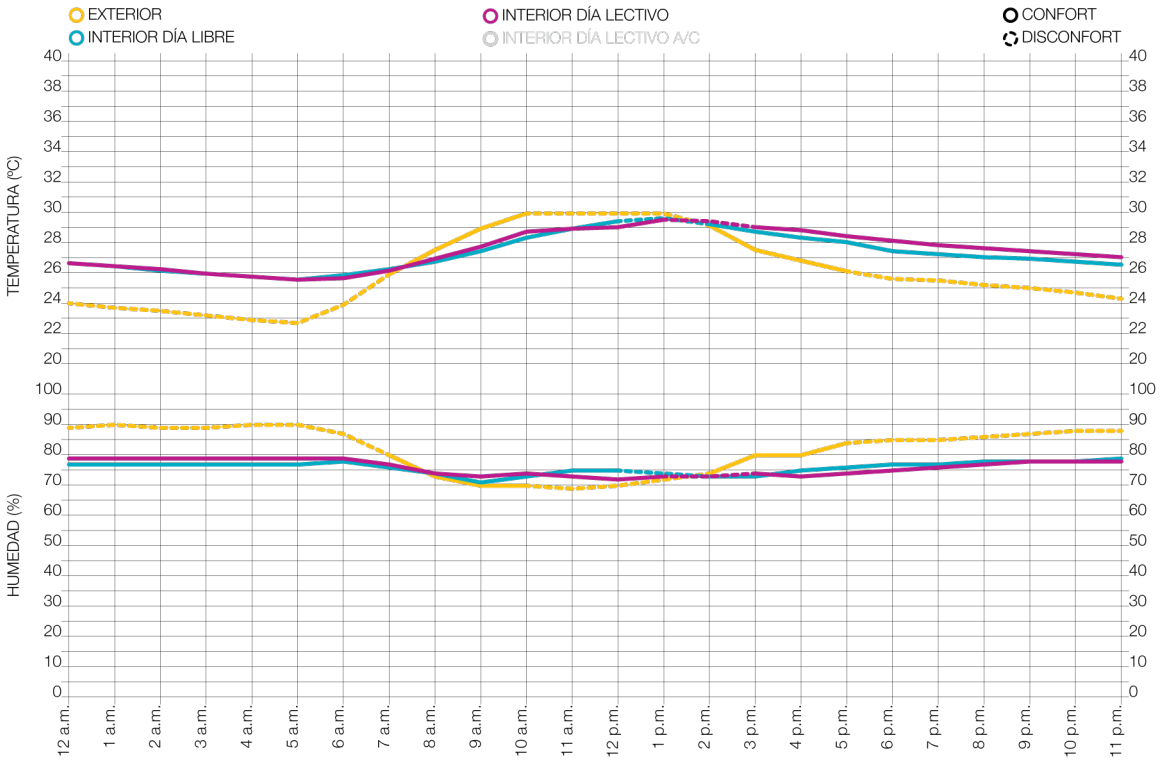
Figura 127. Día tipo EX-N1, biomonitoreo prolongado ECA. Elaboración propia.

húmedas se mantienen. Sin embargo aún presenta 2 horas de disconfort, entre 1 y 3 p.m.

En general, la temperatura media es mayor a la exterior, mientras que la humedad media es menor. En días libres, presenta el mayor valor de temperatura media, y uno de los menores valores de humedad media, después de A6-N1; siendo uno de los espacios con mayor cantidad de horas de confort, después de A35-N2. En días lectivos, presenta el mayor valor de temperatura media, y uno de los menores valores de humedad media, al igual que A3-N1 y A6-N1; siendo uno de los espacios con mayor cantidad de horas de confort, después de A28-N2.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 302 ppm. Como medios de renovación del aire, posee la puerta principal y ventanas en dos de sus costados. Sin embargo la poca velocidad del viento impide que se de una renovación efectiva. El aire caliente tiene salidas hacia los costados, lo que impide que quede atrapado y circulando.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 1.1 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 31% que sitúan el espacio



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	26.5	29.9	23.9	6.0	76	82	67	15	22	2
	26.7	30.3	23.3	7.0	76	84	57	27	22	2

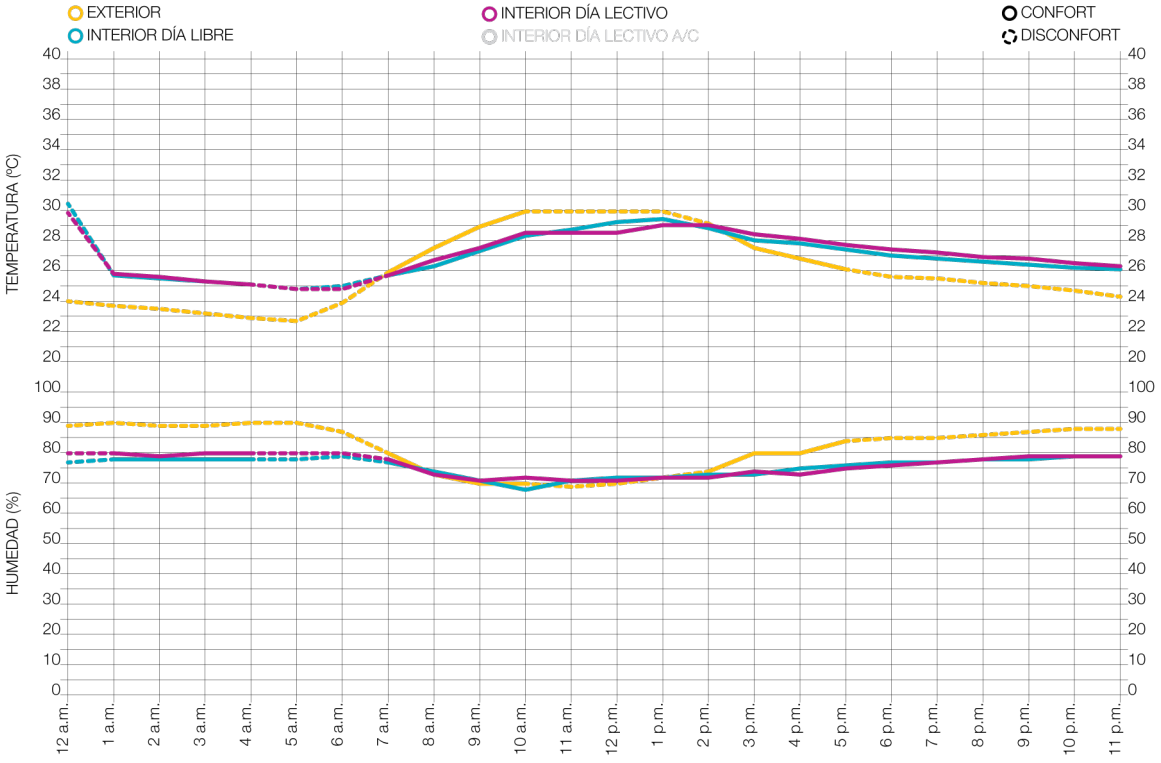
Figura 128. Día tipo SE-N1, biomonitoreo prolongado ECA. Elaboración propia.

fuera del área de confort.

A3-N1 Aula 3. Ubicada en el primer nivel del edificio, hacia el Norte del mismo. La fachada Norte consiste en paredes de concreto con aperturas que dejan pasar el aire. Recibe entre 9 y 11 horas diarias de radiación directa a lo largo del año. Posee aberturas hacia el Norte y Sur, que permiten la circulación del aire.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 26.0ºC durante los días libres, y de 26.1°C durante los días lectivos. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 12 a.m. con 30.1ºC, y la mínima alrededor de las 5 a.m. con 22.5ºC, para un rango de oscilación de 7.6ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 10 a.m. con 30.0ºC, y la mínima alrededor de las 6 a.m. con 22.1ºC, para un rango de oscilación de 7.9ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 76%, tanto para los días libres como los lectivos. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 11 p.m. con 83%, y la mínima alrededor de las 10 a.m. con 62%, para un rango de oscilación de 21 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se regis-



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	26.0	30.1	22.5	7.6	76	83	62	21	20	4
	26.1	30.0	22.1	7.9	76	85	55	30	20	4

Figura 129. Día tipo A3-N1, biomonitoreo prolongado ECA. Elaboración propia.

tra alrededor de las 10 p.m. con 85%, y la mínima alrededor de las 11 a.m. con 55%, para un rango de oscilación de 30 puntos porcentuales.

La humedad media se mantiene sobre el rango saludable, con 20 horas en condiciones confortables, pero algo húmedas para la salud (60-80%).

En general, la temperatura media es mayor a la exterior, mientras que la humedad media es menor. En días libres, presenta uno de los menores valores de humedad media, después de A6-N1. En días lectivos, presenta uno de los menores valores de humedad media, al igual que SE-N1 y A6-N1.

Mediciones manuales. Registra un movimiento promedio del aire de 0.9 m/s. La concentración promedio de CO2 es de 288 ppm.

Como medios de renovación del aire, posee la puerta principal y ventanas en dos de sus costados. Sin embargo la poca velocidad del viento impide que se de una renovación efectiva. El aire caliente tiene salidas hacia los costados, lo que impide que quede atrapado y circulando.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 0.2 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 6% que sitúan el espacio dentro del área de confort.

A6-N1 Aula 6. Ubicado en el primer nivel del edificio, al costado Este del mismo. La fachada Este consiste en una pared de concreto con aperturas que dejan pasar el aire. Recibe entre 5 y 6 horas diarias de radiación directa a lo largo del año. Posee aberturas hacia el Este y Oeste, que permiten la circulación del aire.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 26.3ºC durante los días libres, y de 26.4ºC durante los días lectivos. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de la 1 p.m. con 30.2ºC, y la mínima alrededor de las 5 a.m. con 22.6ºC, para un rango de oscilación de 7.6ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra entre 12 y 2 p.m. con 30.9ºC, y la mínima alrededor de las 5 a.m. con 22.8ºC, para un rango de oscilación de 8.1ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 75% para los días libres, y de 76% para los días lectivos. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre 7 y 11 p.m. con 84%, y la mínima alrededor de las 10 p.m. con 60%, para un rango de oscilación de 24 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra entre 3 y 7 a.m. con 86%, y la mínima alrededor de las 11 a.m. con 54%, para un rango de oscilación de 32 puntos porcentuales.

Tanto durante los días libres como los lectivos, presenta condiciones de bienestar algo húmedas durante la mayor parte del día, con sólo 2 horas de disconfort en ambos casos.

En general, la temperatura media es mayor a la exterior, mientras que la humedad media es menor. En días libres, presenta el menor valor de humedad media; siendo uno de los espacios con mayor cantidad de horas de confort, después de A35-N2. En días lectivos, presenta uno de los menores valores de humedad media, al igual que SE-N1 y A3-N1; siendo uno de los espacios con

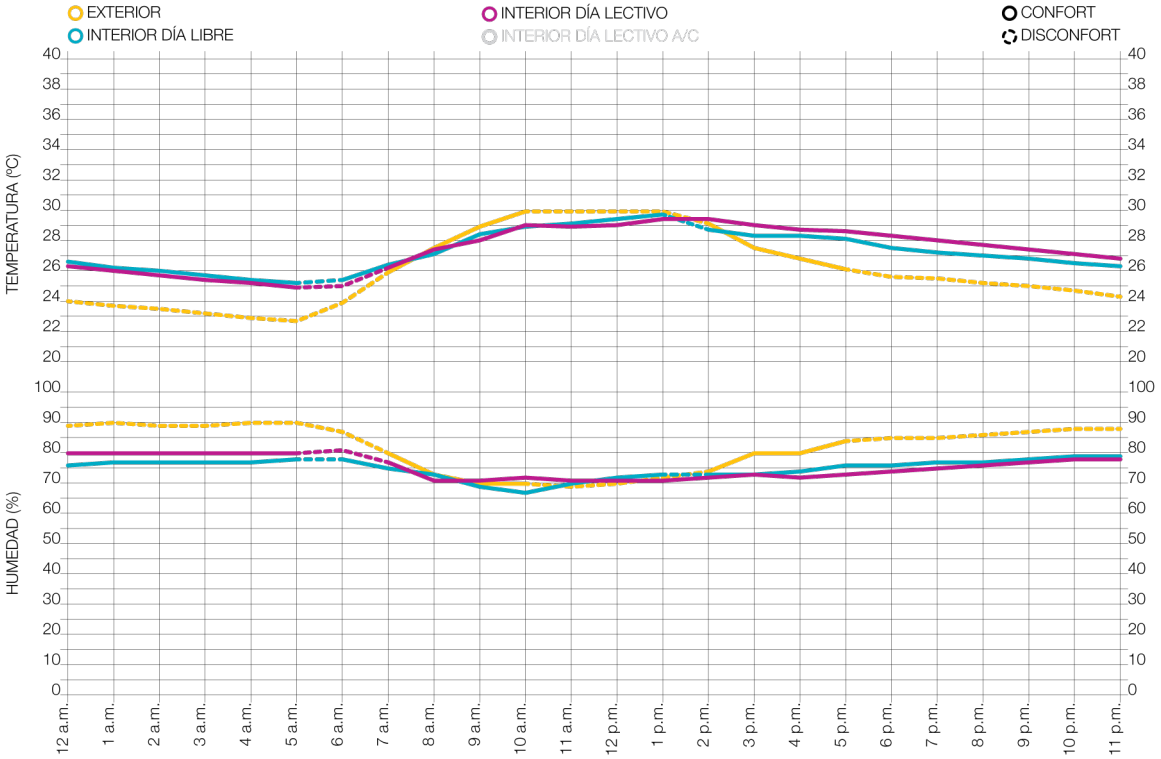
mayor cantidad de horas de confort, después de A28-N2.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 254 ppm. Como medios de renovación del aire, posee la puerta principal y ventanas en dos de sus costados. Sin embargo la poca velocidad del viento impide que se de una renovación efectiva. El aire caliente tiene salidas hacia los costados, lo que impide que quede atrapado y circulando.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 1.0 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 26% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

A11-N1 Aula 11. Ubicada en el primer nivel del edificio, hacia el costado Sur del mismo. La fachada Sur consiste en un pared de concreto con aperturas que dejan pasar el aire. Recibe entre 3 y 11 horas diarias de radiación directa a lo largo del año. Posee aberturas hacia el Norte y Sur, que permiten la circulación del aire.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 25.1ºC durante los días libres, y de 25.4ºC durante los días lectivos. En condiciones de desocupación, la máxima se re-



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	26.3	30.2	22.6	7.6	75	84	60	24	22	2
	26.4	30.9	22.8	8.1	76	86	54	32	22	2

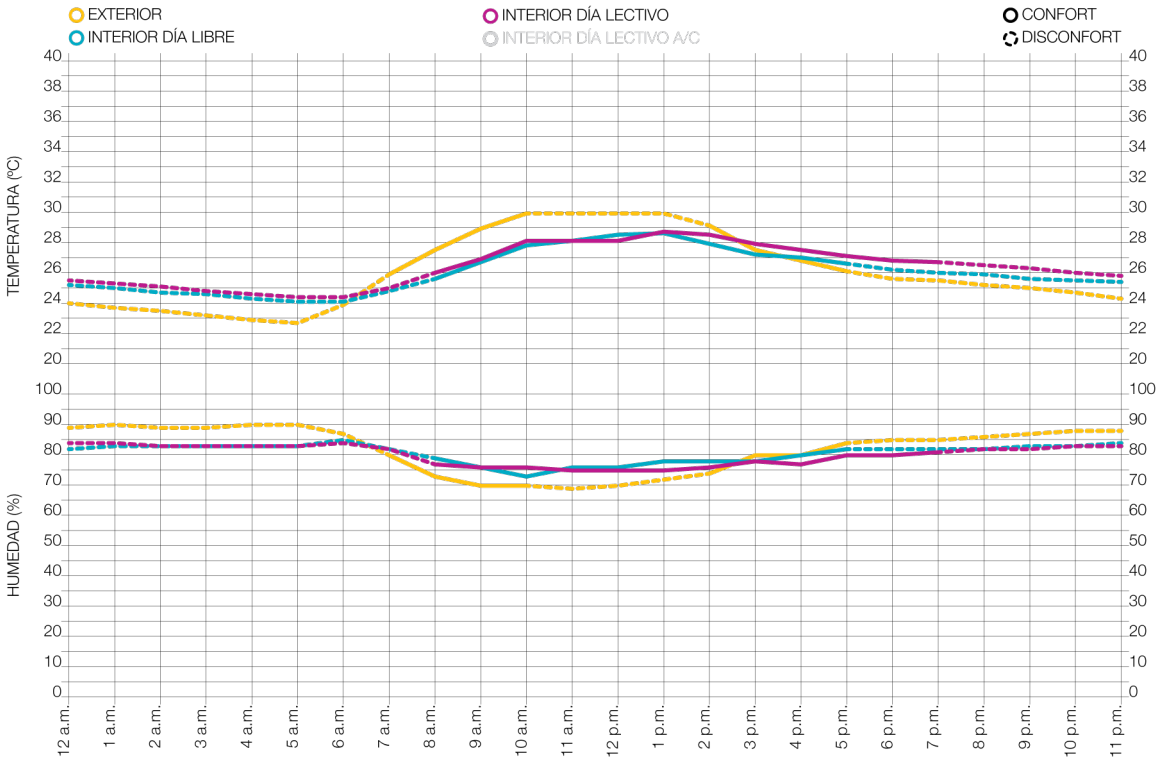
Figura 130. Día tipo A6-N1, biomonitoreo prolongado ECA. Elaboración propia.

gistra alrededor de la 1 p.m. con 28.9ºC, y la mínima alrededor de las 5 a.m. con 22.4ºC, para un rango de oscilación de 6.5ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de la 10 a.m. con 30.2ºC, y la mínima entre 5 y 6 a.m. con 22.5ºC, para un rango de oscilación de 7.7ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 81% para los días libres, y de 80% para los días lectivos. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 9 p.m. con 88%, y la mínima alrededor de las 10 a.m. con 68%, para un rango de oscilación de 20 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 7 a.m. con 89%, y la mínima alrededor de las 11 a.m. con 57%, para un rango de oscilación de 32 puntos porcentuales.

Durante los días libres, presenta condiciones de bienestar algo húmedas durante sólo 9 horas al día, entre 8 a.m. y 5 p.m. Durante los días lectivos, las horas de bienestar aumentan a 11, manteniendo las condiciones algo húmedas para la salud, entre 8 a.m. y 7 p.m.

En general, la temperatura media es igual a la exterior en días libres, y mayor en días lectivos; mientras que la humedad media es ligeramente menor a la exterior. En días libres, presenta el me-



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	25.1	28.9	22.4	6.5	81	88	68	20	9	15
	25.4	30.2	22.5	7.7	80	89	57	32	11	13

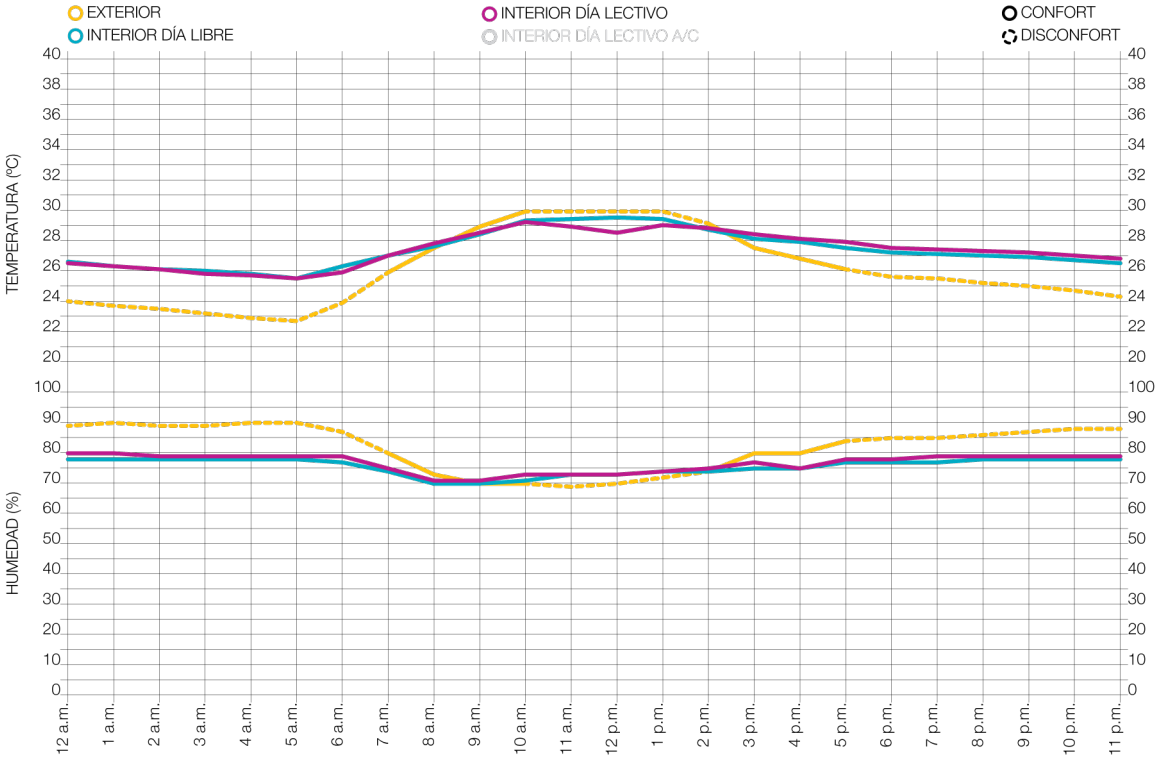
Figura 131. Día tipo A11-N1, biomonitoreo prolongado ECA. Elaboración propia.

nor valor de temperatura media, y el mayor valor de humedad media; siendo el espacio con menor cantidad de horas de confort. En días lectivos, presenta el menor valor de temperatura media, y el mayor valor de humedad media; siendo el espacio con menor cantidad de horas de confort.

Mediciones manuales. Registra un movimiento promedio del aire de 0.3 m/s. La concentración promedio de CO2 es de 303 ppm. Como medios de renovación del aire, posee la puerta principal y ventanas en dos de sus costados. Sin embargo la poca velocidad del viento impide que se de una renovación efectiva. El aire caliente tiene salidas hacia los costados, lo que impide que quede atrapado y circulando.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 0.3 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 7% que sitúan el espacio dentro del área de confort.

A28-N2 Aula 28. Ubicada en el segundo nivel del edificio, en la esquina Noreste. La fachada Norte recibe entre 9 y 11 horas diarias de radiación directa, mientras la Este recibe entre 5 y 6 horas diarias a lo largo del año. Posee aberturas, hacia el Norte y Este, que permiten la circulación del aire.



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	26.4	29.7	23.8	5.9	76	84	61	23	22	2
	26.4	30.5	23.1	7.4	77	84	54	30	24	0

Figura 132. Día tipo A28-N2, biomonitoreo prolongado ECA. Elaboración propia.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 26.4ºC, tanto durante los días libres como los lectivos. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 12 p.m. con 29.7ºC, y la mínima alrededor de las 5 a.m. con 23.8ºC, para un rango de oscilación de 5.9ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra a las 10 a.m. con 30.5ºC, y la mínima alrededor de las 12 p.m. con 23.1ºC, para un rango de oscilación de 7.4ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 76% para los días libres, y de 77% para los días lectivos. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 6 a.m. con 84%, y la mínima alrededor de las 10 a.m., con 61%, para un rango de oscilación de 23 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra entre 1 y 6 a.m con 84%, y la mínima alrededor de las 11 a.m. con 54%, para un rango de oscilación de 30 puntos porcentuales.

Tanto durante los días libres como los lectivos, la humedad media se mantiene sobre el rango saludable (40-60%), con condiciones de bienestar algo húmedas para la salud (60-80%) durante 22 a 24 horas.

En general, la temperatura media es mayor a la exterior, mientras que la humedad media es menor. En días lectivos, es el espacio con mayor cantidad de horas de confort.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 318 ppm. Como medios de renovación del aire, posee la puerta principal y ventanas en dos de sus costados. Sin embargo la poca velocidad del viento impide que se de una renovación efectiva. El aire caliente tiene salidas hacia los costados, lo que impide que quede atrapado y circulando.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 1.0 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 26% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

A35-N2 Aula 35. Ubicada en el segundo nivel del edificio, en el costado Sur del mismo. La fachada consiste en un pared de concreto con aperturas que dejan pasar el aire. Recibe entre 3 y 11 horas diarias de radiación directa a lo largo del año. En este espacio la circulación de aire es nula.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 26.1ºC durante los días libres, y de 26.3°C durante los días lectivos. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de la 1 p.m. con 27.6ºC, y la mínima entre 5 y 6 a.m. con 25.3ºC, para un rango de oscilación de 2.3ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de la 1 p.m. con 28.7ºC, y la mínima alrededor de las 12 p.m. con 23ºC, para un rango de oscilación de 5.7ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 77% para los días libres, y de 78% para los días lectivos. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre 7 y 11 p.m. con 83%, y la mínima alrededor de las 10 a.m. con 66%, para un rango de oscilación de 17 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de la 1 p.m. con 85%, y la mínima alre-

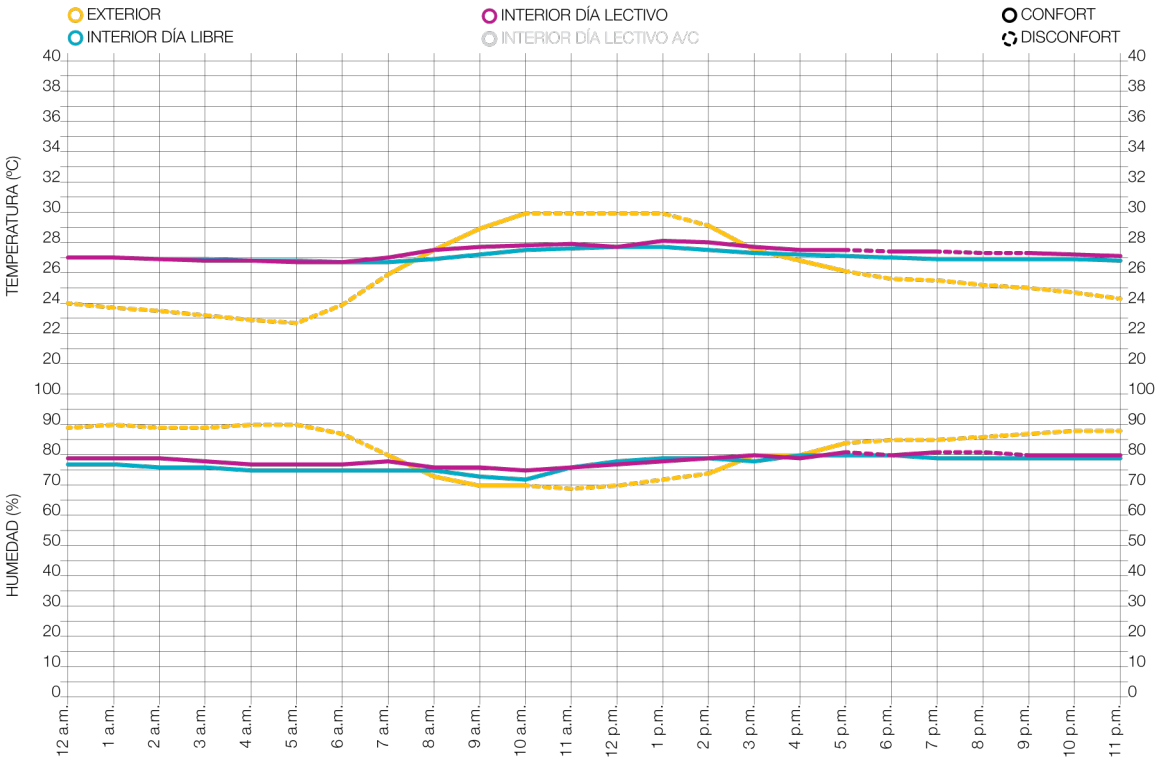
dedor de las 11 a.m. con 55%, para un rango de oscilación de 30 puntos porcentuales.

Durante los días libres, presenta condiciones de bienestar algo húmedas durante las 24 horas del día. Durante los días lectivos, las horas de bienestar se reducen a 21, manteniendo las condiciones algo húmedas para la salud. Las horas de disconfort se dan entre 5 y 9 p.m.

En general, la temperatura media es mayor a la exterior, mientras que la humedad media es menor. En días libres, es el espacio con mayor cantidad de horas de confort.

Mediciones manuales. Registra un movimiento promedio del aire de 0.2 m/s. La concentración promedio de CO2 es de 275 ppm. Como medios de renovación del aire, posee la puerta principal y ventanas en dos de sus costados. Sin embargo la poca velocidad del viento impide que se de una renovación efectiva. El aire caliente tiene salidas hacia los costados, lo que impide que quede atrapado y circulando.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 0.7 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 15% que sitúan el espacio en el área de confort extendida (menos del 20% de insatisfechos).



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	26.1	27.6	25.3	2.3	77	83	66	17	24	0
	26.3	28.7	23.0	5.7	78	85	55	30	21	3

Figura 133. Día tipo A35-N2, biomonitoreo prolongado ECA. Elaboración propia.

2.3.4 PALACIO MUNICIPAL DE OROTINA (PMO)

La toma de datos climáticos en el interior y exterior del edificio, permite evaluar la capacidad de la envolvente para amortiguar las condiciones climáticas externas. En el caso de Orotina, se determinó que marzo es el mes más crítico en cuanto a condiciones de confort. Sin embargo, se realizan dos mediciones en e mes de abril con el fin de monitorear el período de vacaciones de Semana Santa, y evaluar el comportamiento del edificio en condiciones de ocupación y desocupación.

La primera consiste en el biomonitoreo prolongado de temperatura, humedad, e iluminación, por un período de dos semanas. Y la segunda consiste en la toma manual de temperatura, humedad, temperatura media radiante, velocidad del viento, CO2, temperatura de los materiales, y nivel de ruido e iluminación.

Los resultados se evalúan mediante hojas de cálculo, para determinar las horas del día que se encuentran dentro de los rangos de bienestar determinados por el CBA.

Exterior. Durante el biomonitoreo prolongado, la temperatura media al exterior del edificio es de 32.2ºC. La máxima se registra alrededor de la 1 p.m. con 45.2ºC, mientras que la mínima se registra alrededor de las 3 a.m. con 25.5ºC. El rango de oscilación es de 19.7ºC.

En el mismo período, la humedad relativa registra una media de 52%. Con una máxima de 81% y una mínima de 24%, para un rango de oscilación de 57 puntos porcentuales.

Bajo estas condiciones, la humedad media se mantiene cercana al rango saludable (40-60%), sin embargo las temperaturas son muy altas durante el día. Únicamente entre las 11 p.m. y las 6 a.m., las condiciones son confortables pero algo húmedas para la salud (60-80%).

Espacios internos, días libres. Al interior del edificio y en condiciones de desocupación, la temperatura media es de 30.6ºC, siendo 1.6ºC menor que la media exterior. La máxima se registra alrededor de las 5 p.m. con 34.0ºC, mientras que la mínima se registra alrededor de las 7 p.m. con 26.4ºC. El rango de oscilación se reduce con respecto al exterior, siendo de 7.6ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 55%, es decir 3 puntos porcentuales mayor a la media exterior. La máxima alcanza el 70% mientras que la mínima alcanza el 41%. El rango de oscilación se reduce con respecto al exterior, siendo de 29 puntos porcentuales.

Bajo estas condiciones, la humedad media desciende y se mantiene dentro del rango saludable durante todo el día (40-60%), sin embargo las temperaturas se mantienen por encima de lo recomendable. Las horas de bienestar saludable se extienden, abarcando de las 12 a las 10 a.m. No obstante, esto coincide con el horario laboral únicamente entre las 7 y las 10 a.m.

Espacios internos, días laborales. Al interior del edificio y en condiciones de ocupación, la tem-

ZONA DE BIENESTAR ALGO SECA																					
T MAX (ºC)	32.5	32.4	32.4	32.3	32.2	32.2	32.1	32.0	31.9	31.9	31.8	31.7	31.7	31.6	31.5	31.5	31.4	31.3	31.2	31.2	31.1
T MIN (ºC)	26.0	26.0	26.0	25.9	25.9	25.9	25.9	25.9	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	25.6	25.6	25.6
H MED (%)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
ZONA DE BIENESTAR SALUDABLE																					
T MAX (ºC)	31.1	31.0	31.0	30.9	30.8	30.7	30.7	30.6	30.5	30.4	30.4	30.3	30.2	30.1	30.1	30.0	29.9	29.8	29.8	29.7	29.6
T MIN (ºC)	25.6	25.6	25.6	25.5	25.5	25.5	25.5	25.4	25.4	25.4	25.4	25.3	25.3	25.3	25.3	25.2	25.2	25.2	25.2	25.1	25.1
H MED (%)	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
ZONA DE BIENESTAR ALGO HÚMEDA																					
T MAX (ºC)	29.6	29.5	29.5	29.4	29.3	29.3	29.2	29.1	29.0	29.0	28.9	28.8	28.8	28.7	28.6	28.6	28.5	28.4	28.3	28.3	28.2
T MIN (ºC)	25.1	25.1	25.1	25.0	25.0	25.0	25.0	24.9	24.9	24.9	24.9	24.8	24.8	24.8	24.8	24.7	24.7	24.7	24.7	24.6	24.6
H MED (%)	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80

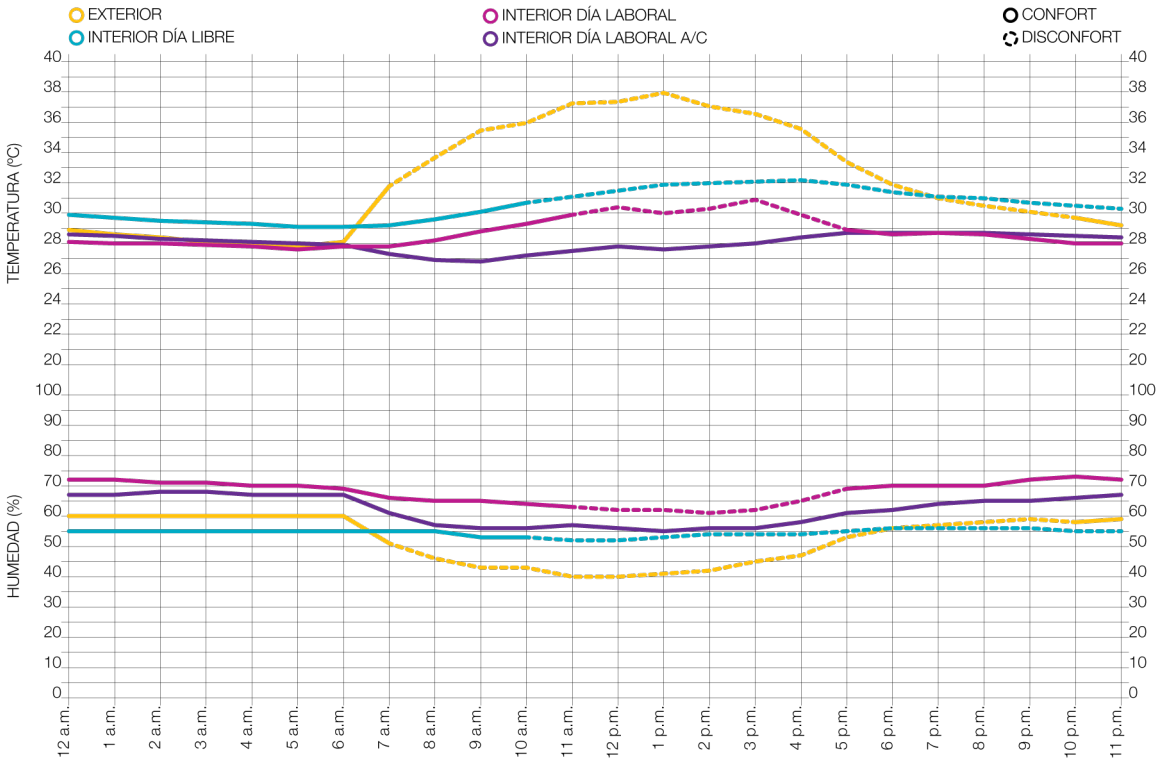
Figura 134. Zonas de bienestar determinadas por el CBA (refiérase al capítulo 2, sección 2.1.4 Orotina).

Elaboración propia.

peratura media es de 28.7ºC para los espacios sin aire acondicionado. Esto es 3.5ºC menor que la media exterior, y 1.8ºC menor que durante los días libres. La máxima se registra alrededor de la 2 p.m. con 33.4ºC, mientras que la mínima se alcanza alrededor de las 12 a.m. con 26.5ºC. El rango de oscilación se reduce con respecto al exterior y a los días libres, siendo de 6.9ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 68%. Esto es entre 16 y 13 puntos porcentuales mayor a la media exterior y a los días libres. La máxima alcanza el 80% mientras que la mínima alcanza el 46%. El rango de oscilación se reduce con respecto al exterior, y aumenta con respecto a los días libres, siendo de 34 puntos porcentuales.

Bajo estas condiciones, la humedad media aumenta y se mantiene ligeramente sobre el rango saludable durante la mayor parte del día, mientras que las temperaturas descienden. Las horas de confort se extienden, abarcando de las 5 p.m. a las 11 a.m., con condiciones de bienestar algo húmedas (60-80%). No obstante, esto coincide con el horario laboral únicamente entre las 7 y las 11 a.m.



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	32.2	45.2	25.5	19.7	52	81	24	57	9	15
	30.6	34.0	26.4	7.6	55	70	41	29	10	14
	28.7	33.4	26.5	6.9	68	80	46	34	18	6
	28.1	33.5	23.3	10.2	62	76	42	34	24	0

Figura 135. Día tipo interior-exterior, biomonitoreo prolongado PMO. Elaboración propia.

Espacios internos con A/C, días laborales. Al interior del edificio y en condiciones de ocupación, la temperatura media es de 28.1ºC para los espacios con aire acondicionado. Esto es 4.1ºC menor que la media exterior, y 0.6ºC menor que en los espacios sin aire acondicionado. La máxima se registra alrededor de las 2 p.m. con 33.5ºC, mientras que la mínima se alcanza alrededor de las 9 a.m. con 23.3ºC. El rango de oscilación se reduce con respecto al exterior, pero aumenta con respecto a los días libres y a los espacios sin aire acondicionado, siendo de 10.2ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 62%. Esto es entre 7 y 10 puntos porcentuales mayor a la media exterior y a los días libres, y 6 puntos porcentuales menor que en los espacios sin aire acondicionado. La máxima alcanza el 76% mientras que la mínima alcanza el 42%. El rango de oscilación se reduce considerablemente con respecto al exterior, y aumenta con respecto a los días libres, manteniéndose igual que en los espacios sin aire acondicionado, con 34 puntos porcentuales.

Bajo estas condiciones, la humedad media disminuye ligeramente y se mantiene cerca del rango saludable, mientras que las temperaturas descienden. Las horas de confort se extienden durante todo el día, con condiciones de bienestar saludable (40-60%) y algo húmedas para la salud (60-80%).

Conclusiones. Durante los días libres la temperatura media se mantiene más baja que la externa durante el día, y más alta durante la noche. La humedad media se mantiene dentro de los límites de bienestar saludable. Esto implica que la envolvente logra disminuir el impacto de las condiciones externas.

Durante los días laborales, la temperatura media disminuye debido al uso de aire acondicionado. Sin embargo, la humedad interna asciende por encima de la externa durante las 24 horas del día, superando el límite saludable. Las horas críticas son entre las 11 a.m. y las 5 p.m.

Mediciones manuales. En cuanto a las mediciones manuales, la temperatura media de los espacios internos varía entre los 28.0ºC y los 28.5ºC, con rangos de oscilación de 1.4ºC a 2.5ºC. Mientras que la media exterior es de 32.2ºC, con un rango de oscilación de 19.7ºC.

Se confirma que la temperatura tiende al alza en todos los espacios. La mínima se registra a las 3 p.m., con 27.2ºC en los espacios del primer nivel (PP-N1, CB-N1, CN-N1), mientras que la máxima se registra a las 12 p.m., con 29.9ºC en la oficina de urbanismo (OU-N2).

Tanto las temperaturas como los rangos de oscilación incrementan en los niveles superiores, de forma que la temperatura del segundo nivel se mantiene por encima de la exterior, principalmente después del medio día.

En cuanto a la humedad, la media varía entre el 54% y el 65% en los espacios internos, con rangos de oscilación de 1 a 20 puntos porcentuales. Mientras que la media exterior es de 52% con un rango de oscilación de 57 puntos porcentuales.

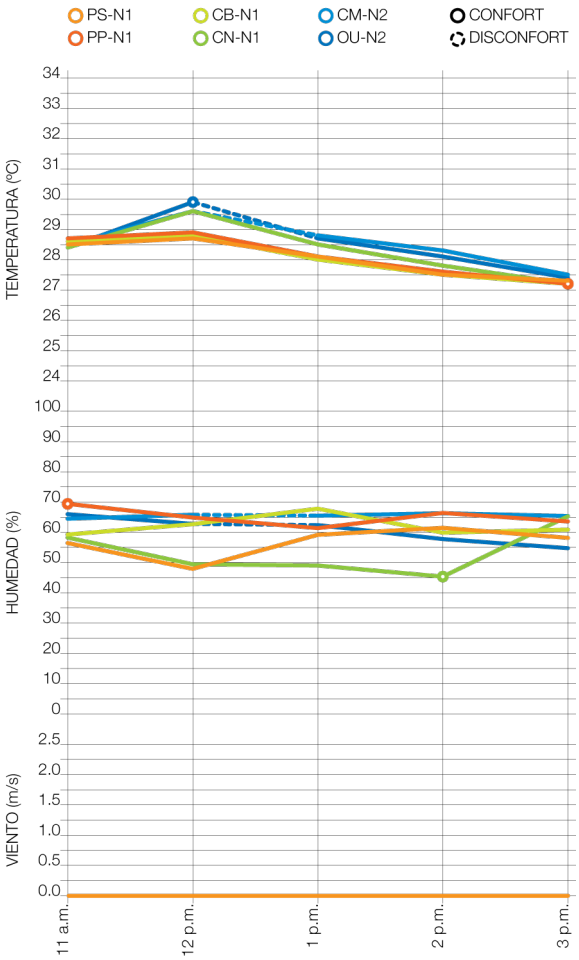
Presenta el comportamiento inverso a la tem-

peratura. La máxima se registra a las 12 p.m., con 69% en el pasillo principal del primer nivel (PP-N1), mientras que la mínima se registra a las 3 p.m., con 45% en la oficina de contabilidad (CN-N1).

La humedad interna es menor que la externa después de las 11 a.m., sin embargo tiende a mantenerse por encima del 60%. Únicamente la oficina de contabilidad (CN-N1) se mantiene dentro del rango de bienestar saludable con un promedio de 54%, debido al uso de aire acondicionado.

La mayoría de los espacios no registran movimiento del aire debido a la falta de ventilación natural, mientras que en el exterior se mantiene igual y solo en algunas ocaciones registra 1.0 m/s.

Conclusiones. En general, las condiciones se mantienen dentro de la zona de bienestar algo húmeda para la salud, durante al menos 6 de las 7 horas registradas.



	TEMPERATURA (ºC)				HUMEDAD RELATIVA (%)			
	T MED	T MAX	T MIN	Δ	H MED	H MAX	H MIN	Δ
	28.0	28.7	27.3	1.4	57	62	48	14
	28.1	28.9	27.2	1.7	65	69	61	8
	28.0	28.8	27.2	1.6	62	68	59	9
	28.3	29.6	27.2	2.4	54	65	45	20
	28.5	29.6	27.5	2.1	66	66	65	1
	28.5	29.9	27.4	2.5	61	66	55	11

Figura 136. Mediciones manuales por espacio, PMO. Elaboración propia.

Biomonitoreo por espacios. Los espacios monitoreados en el PMO son la plataforma de servicios, el pasillo principal, y las oficinas de cobro y de contabilidad en el primer nivel (PS-N1, PP-N1, CB-N1, CN-N1); el Concejo Municipal, la oficina de urbanismo y el alero externo en el segundo nivel (CM-N2, OU-N2, EX-N2).

EX-N2 Área externa. Ubicada en el segundo nivel, en la parte exterior del edificio, la cual se encuentra orientada hacia el Sur, que recibe entre 0 y 11 horas diarias de radiación directa a lo largo del año.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 32.2ºC. La máxima se registra alrededor de la 1 p.m. con 45.2ºC, y la mínima alrededor de las 4 a.m. con 25.5ºC, para un rango de oscilación de 19.7ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 52%. La máxima se registra alrededor de las 11 p.m. con 81%, y la mínima alrededor de las 2 p.m. con 24%, para un rango de oscilación de 57 puntos porcentuales.

Esto implica que en el exterior la humedad media se mantiene cercana al rango saludable (40-60%), sin embargo las temperaturas son muy altas durante el día. Únicamente entre las 10 p.m. y las 6 a.m., las condiciones son confortables pero algo húmedas para la salud (60-80%).

Mediciones manuales. Registra un movimiento promedio del aire de 0.4 m/s. Sin embargo también registra los mayores valores de temperatura en materiales, con un promedio de 43.6ºC en cielos. La concentración promedio de CO2 es de 446 ppm.

Índice de Fanger. De acuerdo al índice de Fanger, se considera térmicamente satisfactorio un voto medio estimado (PMV) de -0.5 a 0.5 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) me-

Figura 137. Plantas de ubicación de los espacios monitoreados, PMO. Elaboración propia.

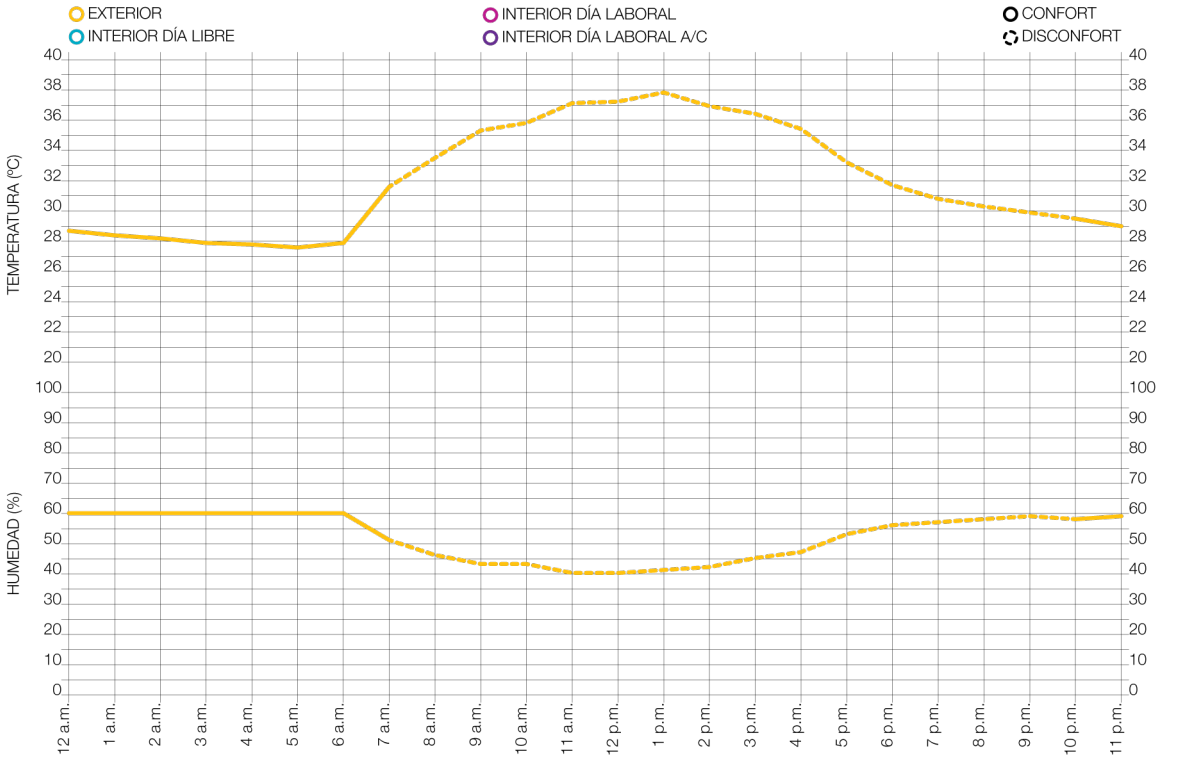
nor al 10%.

Para evaluar cada espacio se considera un met de 1.0 y un clo de 0.8 para actividad laboral sedentaria, así como la velocidad del aire, temperatura y humedad media registrados durante los días laborales del espacio respectivo. El resultado es un voto medio estimado (PMV) de 2.3 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 88% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

PS-N1 Plataforma de servicios. Ubicada en el primer nivel del edificio, junto al acceso principal. La fachada Norte está constituida en su mayor parte por vidrio, mientas que la Oeste por concreto. Reciben respectivamente, de 10 a 11, y de 4 a 5 horas diarias de radiación directa a lo largo del año. Es el espacio que recibe mayor cantidad de público.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 30.9ºC durante los días libres, y de 28.5°C durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre 4 y 5 p.m. con 32.8ºC, y la mínima entre 5 y 6 a.m. con 28.8ºC, para un rango de oscilación de 4.0ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 12 a.m con 31.6ºC, y la mínima entre 8 y 11 a.m con 25.9ºC, para un rango de oscilación de 5.7°.

En cuanto a la humedad, la media es de 52%



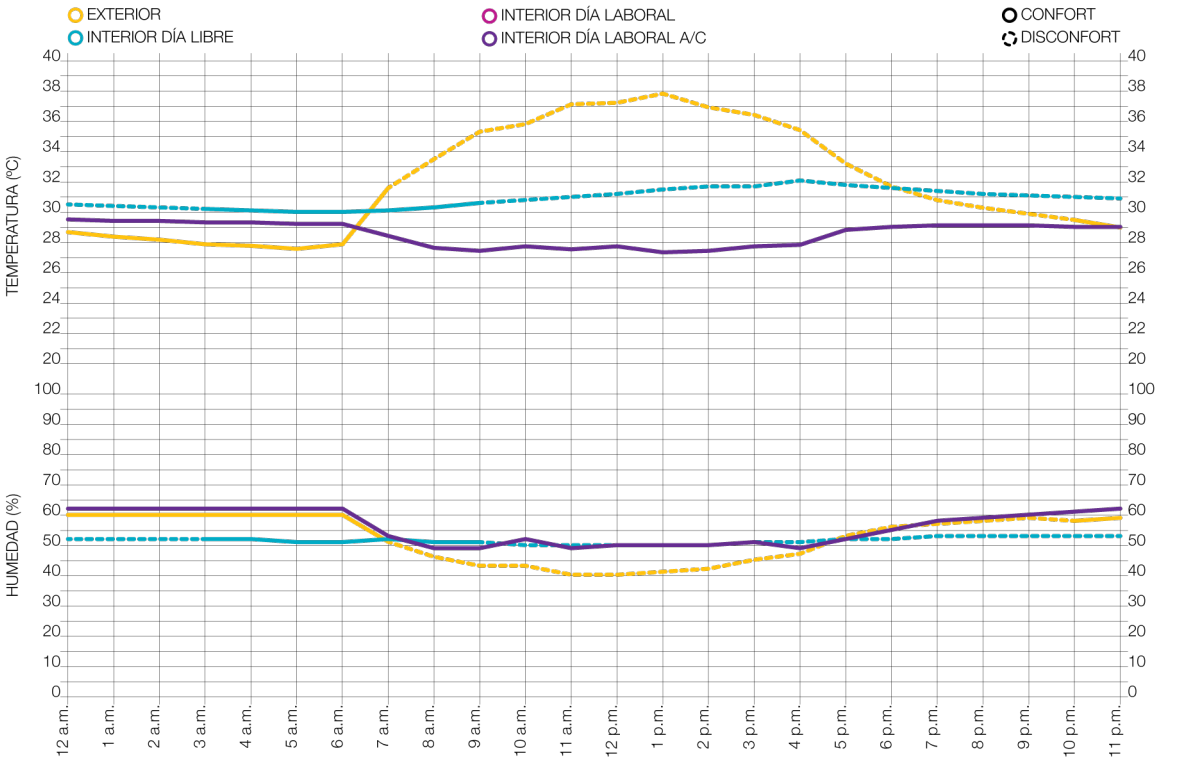
T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
32.2	45.2	25.5	19.7	52	81	24	57	9	15

Figura 138. Día tipo EX-N2, biomonitoreo prolongado PMO. Elaboración propia.

para los días libres, y de 56% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 6 a.m con 58%, y la mínima alrededor de las 11 a.m. con 41%, para un rango de oscilación de 17 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de la 1 a.m. con 66%, y la mínima alrededor de las 2 p.m. con 44%, para un rango de oscilación de 22 puntos porcentuales.

Durante los días libres, presenta condiciones de disconfort durante casi todo el día, con sólo 6 horas dentro del rango de bienestar saludable entre 3 y 9 a.m. Durante los días laborales, aumenta el rango de horas dentro de las zonas de bienestar saludable y algo húmeda, durante las 24 horas del día.

En general, la temperatura media es menor a la exterior; mientras que la humedad media es igual a la exterior en días libres, y mayor en días laborales. En días libres, presenta el menor valor de humedad media; siendo el espacio con menor cantidad de horas de confort, incluso en relación al exterior. En días laborales, presenta el menor valor de humedad media; siendo uno de los espacios con mayor cantidad de horas de confort, al igual que CB-N1 y OU-N2.



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	30.9	32.8	28.8	4.0	52	58	41	17	6	18
	28.5	31.6	25.9	5.7	56	66	44	22	24	0

Figura 139. Día tipo PS-N1, biomonitoreo prolongado PMO. Elaboración propia.

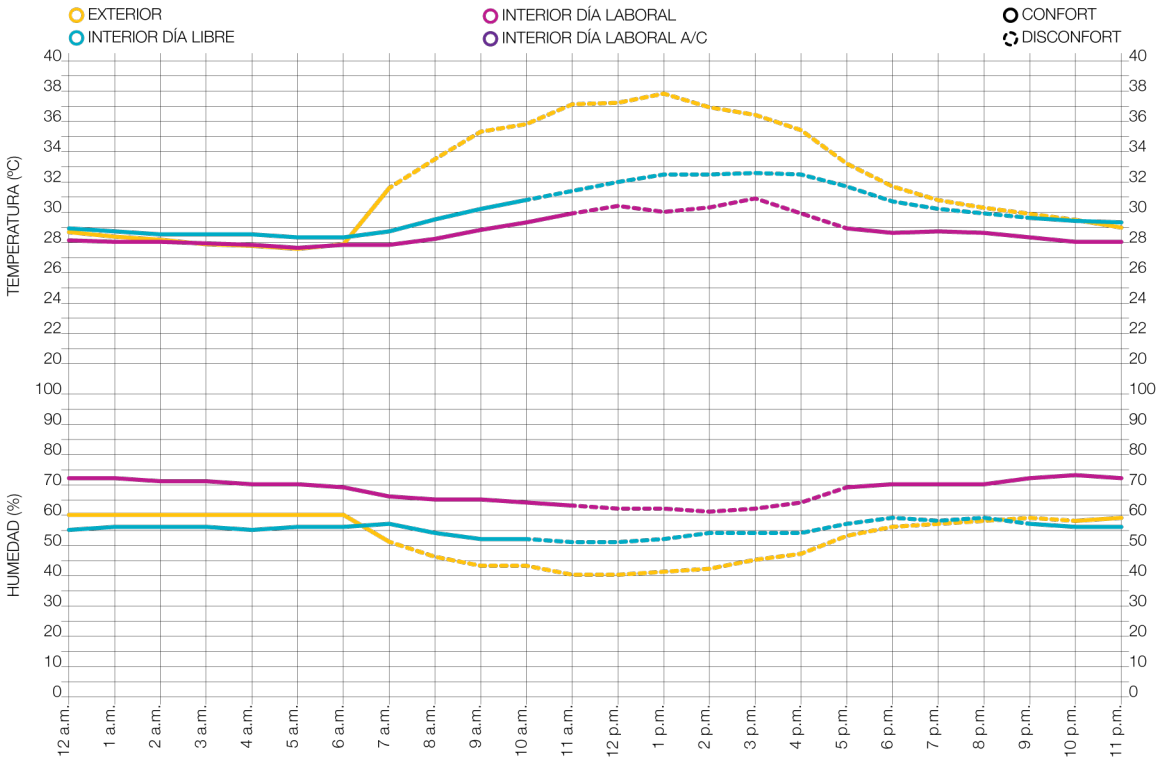
Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 981 ppm. El único posible medio de renovación del aire es la puerta principal sin embargo permanece cerrada debido al uso de aire acondicionado. El aire caliente no tiene salida, por lo que queda atrapado y circulando.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 1.4 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 46% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

PP-N1 Pasillo principal. Ubicado en el primer nivel del edificio. Al no estar totalmente delimitado por elementos físicos, comparte volumen de aire con la sala de espera y la circulación vertical.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 30.1ºC durante los días libres y de 28.7°C durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre 2 y 3 p.m. con 33.7ºC, y la mínima alrededor de las 6 a.m. con 27.5ºC, para un rango de oscilación de 6.2ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 2 p.m. con 33.4ºC, y la mínima entre 12 y 3 a.m. con 26.5ºC, para un rango de oscilación de 6.9ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 55%



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	30.1	33.7	27.5	6.2	55	70	45	25	13	11
	28.7	33.4	26.5	6.9	68	80	46	34	18	6

Figura 140. Día tipo PP-N1, biomonitoreo prolongado PMO. Elaboración propia.

para los días libres, y de 68% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 8 p.m con 70%, y la mínima a las 5 a.m. y 12 p.m. con 45%, para un rango de oscilación de 25 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 5 p.m. con 80%, y la mínima alrededor de las 4 p.m. con 46%, para un rango de oscilación de 34 puntos porcentuales.

Durante los días libres, presenta condiciones de bienestar saludable entre 9 p.m. y 10 a.m., con 11 horas de disconfort durante el resto del día. Durante los días laborales, la humedad supera el 60%, generando condiciones de bienestar algo húmedas para la salud, entre 5 p.m. y 11 a.m.

En general, la temperatura media es menor a la exterior, mientras que la humedad media es mayor. En días libres, es el espacio con mayor cantidad de horas de confort. En días laborales, presenta el mayor valor de humedad media; siendo el espacio con mayor cantidad de horas de confort, debido al uso de aire acondicionado.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 560 ppm. El único medio de renovación del aire es el ducto de circulación vertical y una puerta secundaria. Sin embargo, debido a la orientación y velocidad de los vientos no permite la renovación del aire.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 1.6 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 56% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

CB-N1 Oficina de cobro. Ubicada en el primer nivel del edificio, hacia el Este del mismo. La fachada es colindante con una edificación vecina, por lo que no posee entradas de luz o ventilación natural.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 30.5ºC durante los días libres, y de 28.3ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 11 a.m. con 33.6ºC, y la mínima alrededor de las 7 a.m. con 28.1ºC, para un rango de oscilación de 5.5ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 1 p.m. con 33.4ºC, y la mínima alrededor de las 6 a.m. con 25.9ºC, para un rango de oscilación de 7.5ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 55% para los días libres, y de 64% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre las 7 y 8 p.m. con 62%, y la mínima alrededor de la 1 p.m. con 45%, para un rango de oscilación de 17 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 8 p.m. con 76%, y la mínima entre las 11 a.m. y 2 p.m. con 46%, para un rango de oscilación de 30 puntos porcentuales.

Durante los días libres, presenta condiciones de bienestar saludable durante sólo 8 horas al día, entre 1 y 9 a.m. Durante los días laborales, la humedad aumenta y se posiciona en la zona algo húmeda para la salud (60%) entre 5 p.m. y 8 a.m.. Las horas de bienestar aumentan, debido al uso del aire acondicionado.

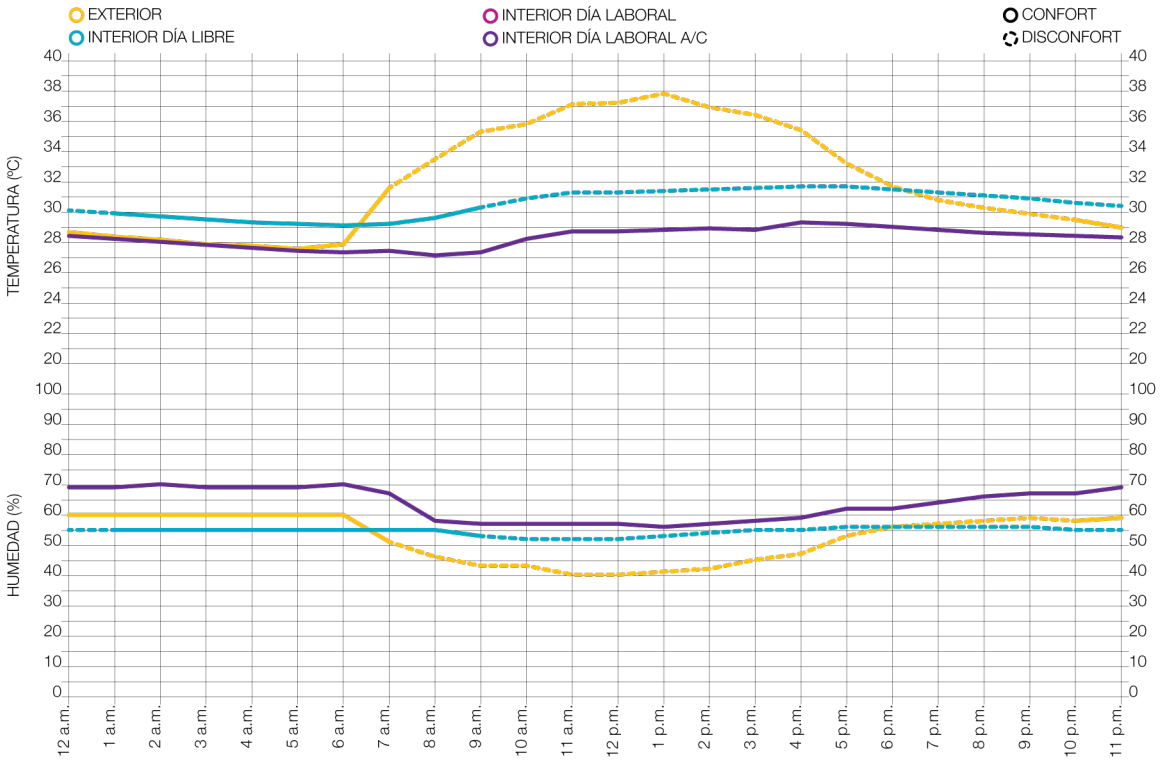
En general, la temperatura media es menor a la exterior, mientras que la humedad media es mayor. En días libres, es uno de los espacios con menor cantidad de horas de confort, incluso en relación al exterior. En días laborales, es uno de los espacios con mayor cantidad de horas de confort, al igual que PS-N1 y OU-N2.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 562 ppm. No tiene medio de renovación de aire.

Índice de Fanger. Obtiene, al igual que PS-N1, un voto medio estimado (PMV) de 1.4 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 46% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

CN-N1 Oficina de contabilidad. Ubicada en el primer nivel del edificio, hacia el Sureste del mismo. Las fachadas Sur y Este no poseen aberturas y son colindantes con edificaciones vecinas. No posee entradas de luz o ventilación natural.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 29.9ºC durante los días libres, y de 26.6ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 4 p.m. con 32.7ºC, y la mí-



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	30.5	33.6	28.1	5.5	55	62	45	17	8	16
	28.3	33.4	25.9	7.5	64	76	46	30	24	0

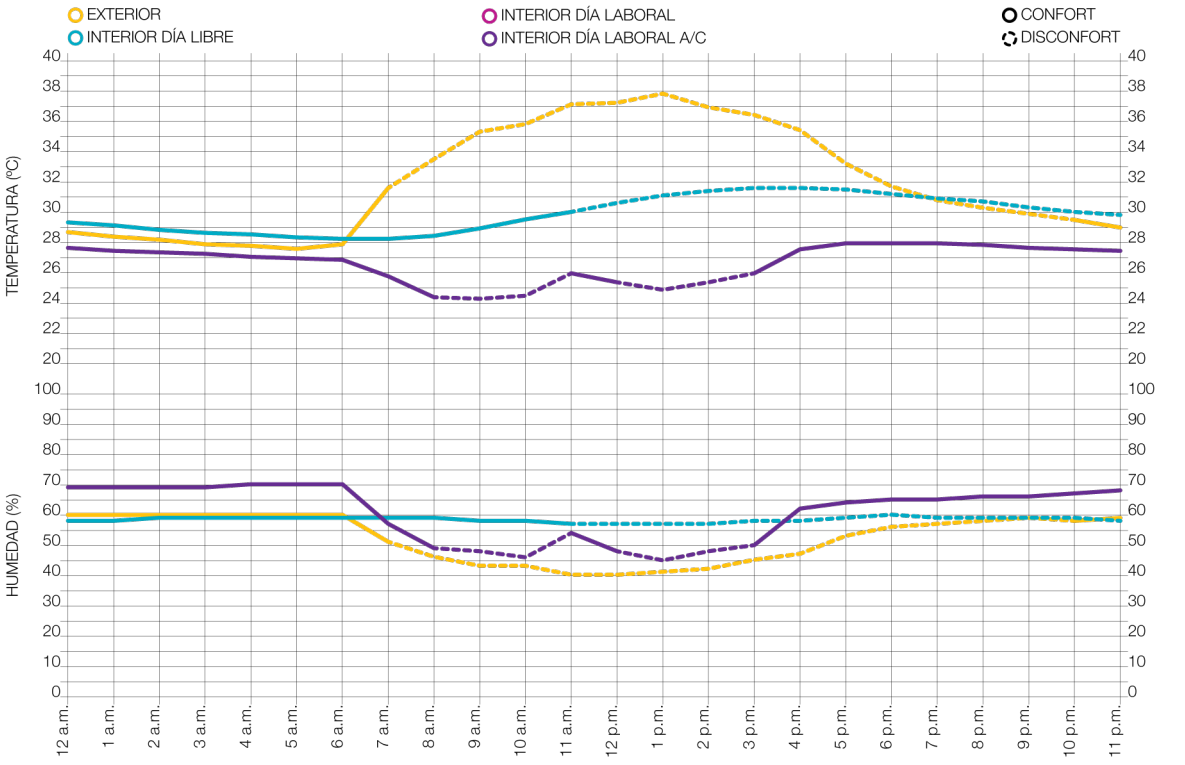
Figura 141. Día tipo CB-N1, biomonitoreo prolongado PMO. Elaboración propia.

nima entre 6 y 7 a.m. con 27.4ºC, para un rango de oscilación de 5.3ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 12 a.m. con 30.3ºC, y la mínima entre 9 y 10 a.m. con 23.3ºC, para un rango de oscilación de 7.0ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 58% para los días libres, y de 61% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre 6 y 7 p.m. con 65%, y la mínima alrededor de las 12 p.m. con 52%, para un rango de oscilación de 13 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra entre 12 y 7 a.m. con 74%, y la mínima entre 9 a.m. y 3 p.m. con 42%, para un rango de oscilación de 32 puntos porcentuales.

Durante los días libres, presenta condiciones de bienestar saludable durante 12 horas, de 11 p.m. a 11 a.m. Durante los días laborales, la humedad supera el 60%, generando condiciones de bienestar algo húmedas para la salud desde las 4 p.m hasta las 6 a.m.. Las horas de bienestar saludable se reducen a 3, con un resultado de 6 horas de disconfort, de 8 a 11 a.m. y de 12 a 3 p.m.

En general, la temperatura media es menor a la exterior, mientras que la humedad media es mayor. En días libres, presenta el menor valor de



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	29.9	32.7	27.4	5.3	58	65	52	13	12	12
	26.6	30.3	23.3	7.0	61	74	42	32	18	6

Figura 142. Día tipo CN-N1, biomonitoreo prolongado PMO. Elaboración propia.

temperatura media, y el mayor valor de humedad media. En días laborales, presenta el menor valor de temperatura media.

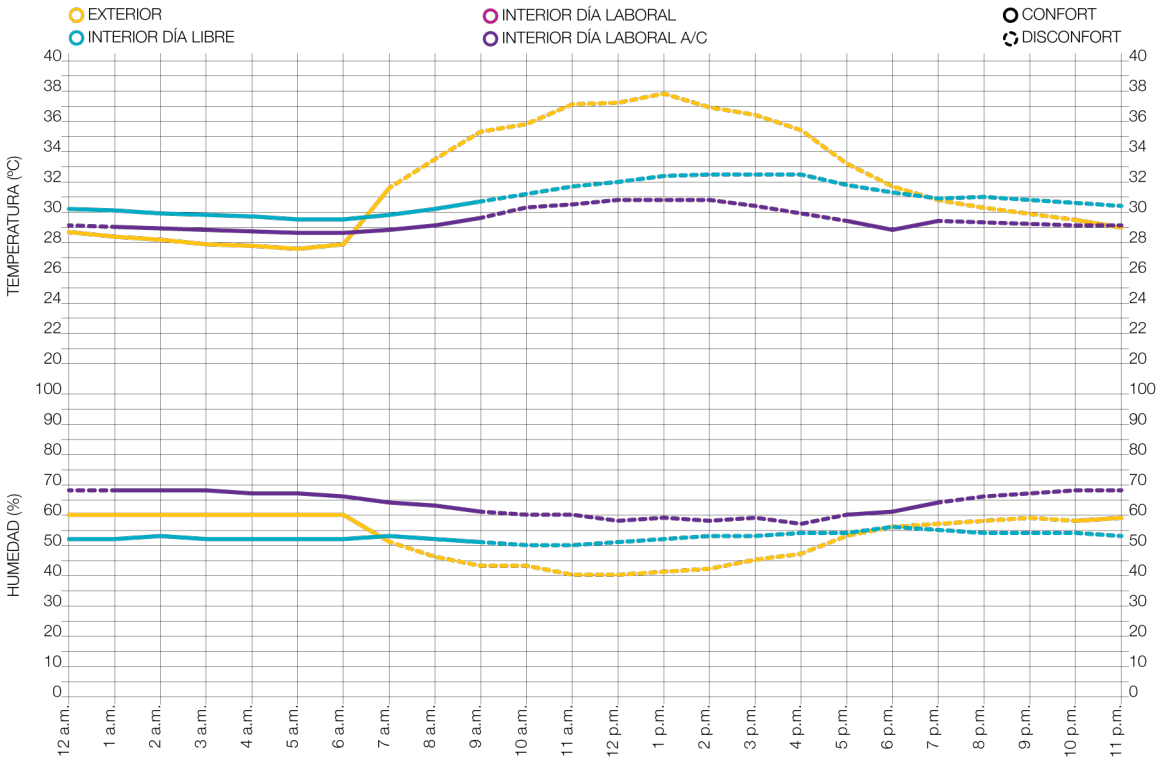
Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 840 ppm. Los únicos medios de renovación del aire son la salida de emergencia y el aire que proviene de PS-N1 y CI-N2.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 0.8 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 19%, que sitúan el espacio en el área de confort extendida (menos del 20% de insatisfechos).

CM-N2 Concejo Municipal. Ubicado en el segundo nivel del edificio, en la parte Noroeste del mismo. La fachada Norte está constituida en su mayor parte por vidrio, mientas que la Oeste por concreto. Reciben respectivamente, de 10 a 11, y de 4 a 5 horas diarias de radiación directa a lo largo del año.

El Concejo Municipal cuenta con 20 miembros, además del público asistente, y se reúne los lunes a las 5:30 p.m. El espacio cuenta con aire acondicionado, sin embargo sólo se utiliza en horas de reunión.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	30.9	33.3	26.4	6.9	53	62	43	19	9	15
	29.5	33.5	26.4	7.1	64	75	44	31	10	14

Figura 143. Día tipo CM-N2, biomonitoreo prolongado PMO. Elaboración propia.

temperatura media de 30.9ºC durante los días libres, y de 29.5ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 4 p.m. con 33.3ºC, y la mínima alrededor de las 7 p.m. con 26.4ºC, para un rango de oscilación de 6.9ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de la 2 p.m. con 33.5ºC, y la mínima alrededor de las 6 p.m. con 26.4ºC, para un rango de oscilación de 7.1ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 53% para los días libres, y de 64% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 7 p.m. con 62%, y la mínima alrededor de las 5 a.m. con 43%, para un rango de oscilación de 19 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 10 p.m. con 75%, y la mínima alrededor de las 4 p.m. con 44%, para un rango de oscilación de 31 puntos porcentuales.

Durante los días libres, presenta condiciones de bienestar saludable durante 9 horas al día desde la media noche hasta las 9 a.m., con 15 horas de disconfort durante el resto del día. Durante los días laborales, la humedad supera el 60%, generando condiciones de bienestar algo húmedas para la salud en la mañana. Las horas de bienestar saludable se reducen a una. Presenta 14 horas de disconfort, de 9 a.m. a 5 p.m. y de 7 p.m. a 1 a.m.

En general, la temperatura media es menor a la exterior, mientras que la humedad media es mayor. En días laborales, presenta el mayor valor de temperatura media; siendo el espacio con menor cantidad de horas de confort, pese al uso de aire acondicionado.

Mediciones manuales. Se realizan con la Sala del Concejo desocupada. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 513 ppm. Los únicos medios de renovación del aire son la salida de emergencia y la puerta al balcón, los cuales se mantienen cerrados.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 1.8 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 67% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

OU-N2 Oficina de urbanismo. Ubicada en el segundo nivel del edificio, en la esquina Suroeste. Las fachadas Sur y Oeste, están constituidas principalmente por concreto y algunas áreas mínimas de ventanas. Reciben respectivamente, de 0 a 11, y de 4 a 5 horas diarias de radiación directa a lo largo del año.

Es ocupada por un menor número de personas que los demás espacios monitoreados. Cuenta con aire acondicionado a lo largo de toda la jornada laboral.

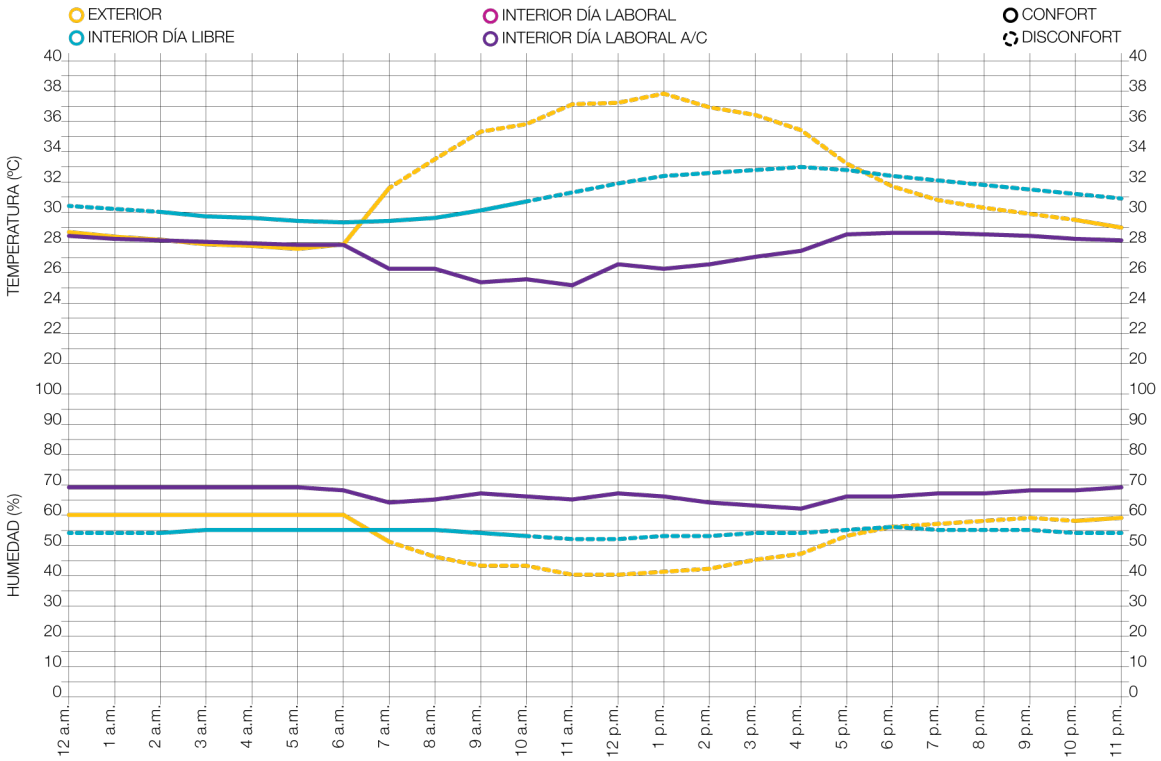
Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 31.0ºC durante los días libres, y de 27.4ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 5 p.m. con 34.0ºC, y la mínima alrededor de las 6 a.m. con 28.5ºC, para un rango de oscilación de 5.5ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las

5 p.m. con 32.0ºC, y la mínima alrededor de las 11 a.m. con 23.8ºC, para un rango de oscilación de 8.2ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 54% para los días libres, y de 67% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de la 6 p.m. con 62%, y la mínima alrededor de las 12 p.m. con 47%, para un rango de oscilación de 15 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 5 p.m. con 76%, y la mínima entre 4 y 5 p.m. con 48%, para un rango de oscilación de 28 puntos porcentuales.

Durante los días libres, presenta condiciones de bienestar saludable durante 8 horas al día, de 2 a 10 a.m., con 16 horas de disconfort. Durante los días laborales, la humedad supera el 60%, generando condiciones de bienestar algo húmedas para la salud durante las 24 horas del día.

En general, la temperatura media es menor a la exterior, mientras que la humedad media es mayor. En días libres, presenta el mayor valor de temperatura media; siendo uno de los espacios con menor cantidad de horas de confort, incluso en relación al exterior. En días laborales, presenta uno de los mayores valores de humedad media,



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	31.0	34.0	28.5	5.5	54	62	47	15	8	16
	27.4	32.0	23.8	8.2	67	76	48	28	24	0

Figura 144. Día tipo OU-N2, biomonitoreo prolongado PMO. Elaboración propia.

después de PP-N1; siendo uno de los espacios con mayor cantidad de horas de confort, al igual que PS-N1 y CB-N1.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 798 ppm. No tiene medio de renovación de aire, debido a que las ventanas se mantienen cerradas por el uso de aire acondicionado.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 1.2 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 35% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

2.3.5 PALACIO MUNICIPAL DE ESPARZA (PME)

La toma de datos climáticos en el interior y exterior del edificio, permite evaluar la capacidad de la envolvente para amortiguar las condiciones climáticas externas. En el caso de Esparza, se determinó que los meses de marzo y abril son los más críticos en cuanto a condiciones de confort. Por este motivo se realizan dos mediciones en el mes abril, con el fin de monitorear el período de vacaciones de Semana Santa, y evaluar el comportamiento del edificio en condiciones de ocupación y desocupación.

La primera consiste en el biomonitoreo prolongado de temperatura, humedad, e iluminación, por un período de dos semanas. Y la segunda consiste en la toma manual de temperatura, humedad, temperatura media radiante, velocidad del viento, CO2, temperatura de los materiales, y nivel de ruido e iluminación.

Los resultados se evalúan mediante hojas de cálculo, para determinar las horas del día que se encuentran dentro de los rangos de bienestar determinados por el CBA.

Exterior. Durante el biomonitoreo prolongado, la temperatura media al exterior del edificio es de 31.7ºC. La máxima se registra alrededor de las 4 p.m. con 45.8ºC, mientras que la mínima se registra alrededor de la 1 a.m. con 24.9ºC. El rango de oscilación es de 20.9ºC.

En el mismo período, la humedad relativa registra una media de 55%. Con una máxima de 84% y una mínima de 21%, para un rango de oscilación de 63 puntos porcentuales.

Bajo estas condiciones, la humedad media se mantiene cercana al rango saludable (40-60%), sin embargo las temperaturas son muy altas durante el día. Únicamente entre las 11 p.m. y las 8 a.m., las condiciones son confortables pero algo húmedas para la salud (60-80%).

Espacios internos, días libres. Al interior del edificio y en condiciones de desocupación, la temperatura media es de 30.4ºC, sólo 1.3ºC menor que la media exterior. La máxima se registra alrededor de las 3 p.m. con 37.0ºC, mientras que la mínima se registra alrededor de las 10 a.m. con 24.3ºC. El rango de oscilación se reduce con respecto al exterior, siendo de 12.7ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 54%, sólo 1 punto porcentual menor a la media exterior. La máxima alcanza el 63% mientras que la mínima alcanza el 43%. El rango de oscilación se reduce considerablemente, siendo de 20 puntos porcentuales.

Bajo estas condiciones, la humedad media desciende y se mantiene dentro del rango saludable durante todo el día (40-60%), sin embargo las temperaturas se mantienen por encima de lo recomendable. Las horas de confort se extienden, abarcando de las 11 p.m. a las 10 a.m., con condiciones de bienestar saludables. No obstante, esto coincide con el horario laboral únicamente entre las 7 y las 10 a.m.

Espacios internos, días laborales. Al interior

ZONA DE BIENESTAR ALGO SECA																					
T MAX (ºC)	32.5	32.4	32.4	32.3	32.2	32.2	32.1	32.0	31.9	31.9	31.8	31.7	31.7	31.6	31.5	31.5	31.4	31.3	31.2	31.2	31.1
T MIN (ºC)	26.0	26.0	26.0	25.9	25.9	25.9	25.9	25.9	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	25.6	25.6	25.6
H MED (%)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
ZONA DE BIENESTAR SALUDABLE																					
T MAX (ºC)	31.1	31.0	31.0	30.9	30.8	30.7	30.7	30.6	30.5	30.4	30.4	30.3	30.2	30.1	30.1	30.0	29.9	29.8	29.8	29.7	29.6
T MIN (ºC)	25.6	25.6	25.6	25.5	25.5	25.5	25.5	25.4	25.4	25.4	25.4	25.3	25.3	25.3	25.3	25.2	25.2	25.2	25.2	25.1	25.1
H MED (%)	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
ZONA DE BIENESTAR ALGO HÚMEDA																					
T MAX (ºC)	29.6	29.5	29.5	29.4	29.3	29.3	29.2	29.1	29.0	29.0	28.9	28.8	28.8	28.7	28.6	28.6	28.5	28.4	28.3	28.3	28.2
T MIN (ºC)	25.1	25.1	25.1	25.0	25.0	25.0	25.0	24.9	24.9	24.9	24.9	24.8	24.8	24.8	24.8	24.7	24.7	24.7	24.7	24.6	24.6
H MED (%)	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80

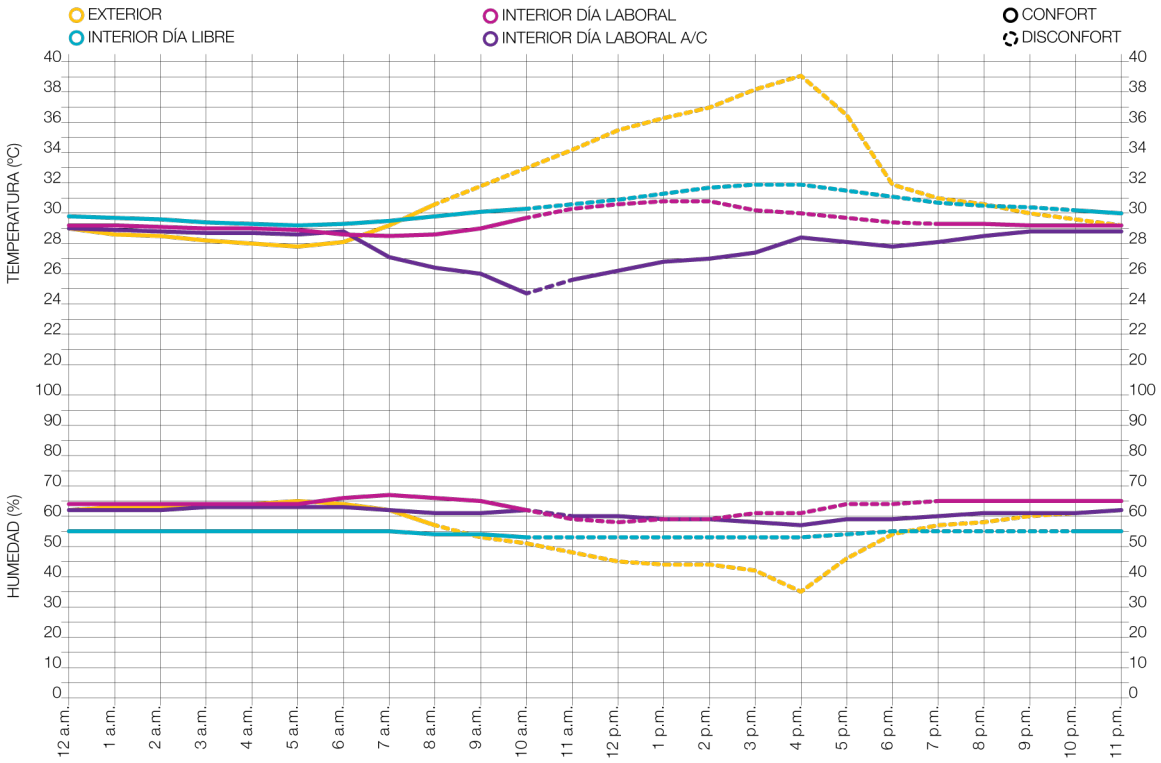
Figura 145. Zonas de bienestar determinadas por el CBA (refiérase al capítulo 2, sección 2.1.5 Esparza).

Elaboración propia.

del edificio y en condiciones de ocupación, la temperatura media es de 29.5ºC para los espacios sin aire acondicionado. Esto es 2.2ºC menor que la media exterior, y 0.9ºC menor que durante los días libres. La máxima se registra alrededor de la 1 p.m. con 32.5ºC, mientras que la mínima se alcanza alrededor de las 9 a.m. con 26.9ºC. El rango de oscilación se reduce con respecto al exterior y a los días libres, siendo de 5.6ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 63%. Esto es entre 8 y 9 puntos porcentuales mayor a la media exterior y a los días libres. La máxima alcanza el 76% mientras que la mínima alcanza el 46%. El rango de oscilación se reduce con respecto al exterior, y aumenta con respecto a los días libres, siendo de 30 puntos porcentuales.

Bajo estas condiciones, la humedad media aumenta y se mantiene ligeramente sobre el rango saludable durante la mayor parte del día, mientras que las temperaturas descienden. Las horas de confort se extienden, abarcando de las 7 p.m. a las 10 a.m., con condiciones de bienestar algo húmedas (60-80%). No obstante, esto aún coincide con el horario laboral únicamente entre las 7 y las



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	31.7	45.8	24.9	20.9	55	84	21	63	9	15
	30.4	37.0	24.3	12.7	54	63	43	20	11	13
	29.5	32.5	26.9	5.6	63	76	46	30	15	9
	27.8	32.5	22.3	10.2	61	72	51	21	23	1

Figura 146. Día tipo interior-exterior, biomonitoreo prolongado PME. Elaboración propia.

10 a.m.

Espacios internos con A/C, días laborales. Al interior del edificio y en condiciones de ocupación, la temperatura media es de 27.8ºC para los espacios con aire acondicionado. Esto es 3.9ºC menor que la media exterior, y 1.7ºC menor que en los espacios sin aire acondicionado. La máxima se registra alrededor de las 3 p.m. con 32.5ºC, mientras que la mínima se alcanza alrededor de las 9 a.m. con 22.3ºC. El rango de oscilación se reduce con respecto al exterior y a los días libres, pero aumenta con respecto a los espacios sin aire acondicionado, siendo de 10.2ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 61%. Esto es entre 6 y 7 puntos porcentuales mayor a la media exterior y a los días libres, y 2 puntos porcentuales menor que en los espacios sin aire acondicionado. La máxima alcanza el 72% mientras que la mínima alcanza el 51%. El rango de oscilación se reduce considerablemente con respecto al exterior, y aumenta con respecto a los espacios sin aire acondicionado, siendo casi el mismo que en los días libres, con 21 puntos porcentuales.

Bajo estas condiciones, la humedad media disminuye ligeramente y se mantiene cerca del rango saludable, mientras que las temperaturas descienden. Las horas de confort se extienden, alcanzando las 23 horas, con condiciones de bienestar saludables (40-60%) y algo húmedas para la salud (60-80%). A las 10 a.m. las condiciones se mantienen en disconfort a pesar del uso de aire acondicionado.

Conclusiones. Durante los días libres la temperatura media se mantiene más baja que la externa durante el día y más alta durante la noche. La humedad media se mantiene dentro de los límites de bienestar saludable, lo que implica que la envolvente logra disminuir el impacto de las condiciones externas.

Durante los días laborales, la temperatura media disminuye debido a que los usuarios propician la ventilación natural, y a que la densidad de ocupación es poca para el espacio disponible. Sin embargo, las condiciones se mantienen fuera de los límites de bienestar durante la mayor parte de las horas de uso, y la humedad media asciende por encima de la externa, superando el rango saludable incluso en los espacios con aire acondicionado. Las horas críticas son entre las 10 a.m. y las 7 p.m.

Mediciones manuales. En cuanto a las mediciones manuales, la temperatura media de los espacios internos varía entre los 28.5ºC y los 29.9ºC, con rangos de oscilación de 1.8ºC a 4.7ºC. Mientras que la media exterior es de 29.3ºC, con un rango de oscilación de 1.6ºC.

Se confirma que la temperatura tiende al alza en todos los espacios, conforme avanza el día. La mínima se registra a las 9 a.m., con 27.2ºC en el espacio de circulación del segundo nivel (CI-N2), mientras que la máxima se registra a las 2 p.m., con 32.3ºC en la sala del Concejo Municipal (CM-N3).

Tanto las temperaturas como los rangos de oscilación incrementan en los niveles superiores,

de forma que la temperatura del tercer nivel se mantiene por encima de la exterior, principalmente después del medio día.

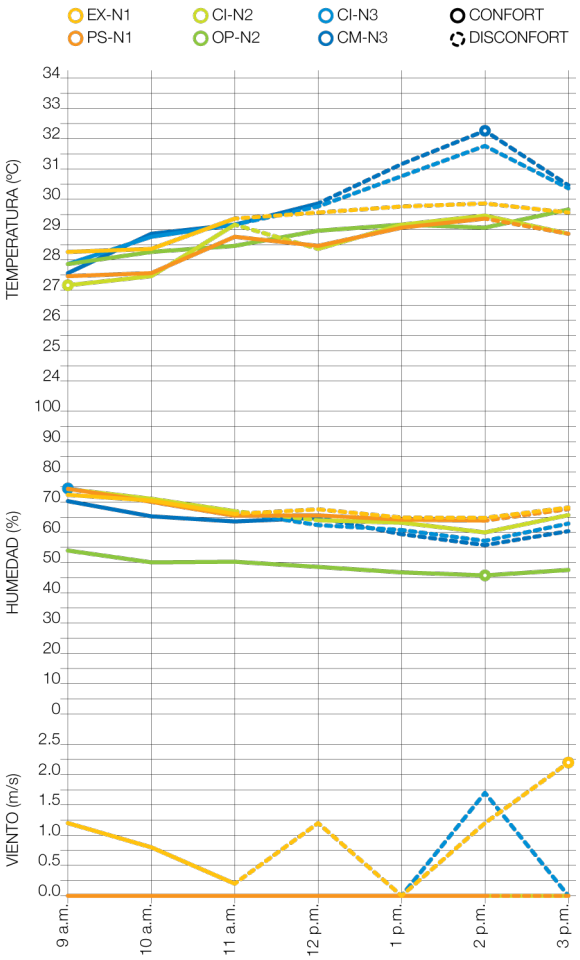
En cuanto a la humedad, la media varía entre el 49% y el 68% en los espacios internos, con rangos de oscilación de 8 a 17 puntos porcentuales. Mientras que la media exterior es de 68%, con un rango de oscilación de 8 puntos porcentuales.

Presenta el comportamiento inverso a la temperatura. La máxima se registra a las 9 a.m., con 75% en la plataforma de servicios (PS-N1) y en las áreas de circulación (CI-N2, CI-N3), mientras que la mínima se registra a las 2 p.m., con 46% en la oficina del segundo nivel (OP-N2).

La humedad interna es menor que la externa después de las 11 a.m., sin embargo tiende a mantenerse por encima del 60%. Únicamente la oficina del 2do nivel (OP-N2) se mantiene dentro del rango de bienestar saludable con un promedio de 49%, debido al uso de aire acondicionado.

Ninguno de los espacios registra movimiento del aire debido a la falta de ventilación natural, mientras que en el exterior se registra un promedio de 1.0 m/s.

Conclusiones. En general, en el primer y segundo nivel, las condiciones se mantienen dentro de la zona de bienestar algo húmeda para la salud, durante al menos 6 de las 7 horas registradas. Por el contrario, en el tercer nivel, al igual que en el exterior, esto solamente ocurre durante 2 a 3 de las 7 horas registradas, principalmente porque las temperaturas son muy altas.



	TEMPERATURA (ºC)				HUMEDAD RELATIVA (%)			
	T MED	T MAX	T MIN	Δ	H MED	H MAX	H MIN	Δ
	29.3	29.9	28.3	1.6	68	73	65	8
	28.5	29.4	27.5	1.9	68	75	64	11
	28.6	29.5	27.2	2.3	67	75	60	15
	28.8	29.7	27.9	1.8	49	54	46	8
	29.8	31.8	27.9	3.9	65	75	58	17
	29.9	32.3	27.6	4.7	63	71	56	15

Figura 147. Mediciones manuales por espacio, PME. Elaboración propia.

Biomonitoreo por espacios. Los espacios monitoreados en el PME son el patio posterior y la plataforma de servicios en el primer nivel (EX-N1, PS-N1); el área central de circulación y la oficina de planificación y presupuesto en el segundo nivel (CI-N2, OP-N2); el área central de circulación y el Concejo Municipal en el tercer nivel (CI-N3, CM-N3).

EX-N1 Patio posterior. Ubicado en el exterior del edificio, en la parte posterior Sur, la cual recibe un promedio de 6 horas diarias de radiación directa. Consiste en un patio abierto, cubierto por adoquines y rodeado por un muro de concreto de 4.0 m de altura.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 31.7ºC. La máxima se registra alrededor de las 4 p.m. con 45.8ºC, y la mínima alrededor de la 1 a.m. con 24.9ºC, para un rango de oscilación de 20.9ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 55%. La máxima se registra alrededor de las 9 p.m. con 84%, y la mínima alrededor de las 4 p.m. con 21%, para un rango de oscilación de 63 puntos porcentuales.

La humedad media se mantiene cercana al rango saludable (40-60%), sin embargo las temperaturas son muy altas durante el día. Únicamente entre 11 p.m. y 8 a.m., las condiciones son confortables pero algo húmedas para la salud (60-80%).

Mediciones manuales. Registra un movimiento promedio del aire de 1.0 m/s. Sin embargo también registra los mayores valores de temperatura en materiales, con un promedio de 42.3ºC en piso y 34.4ºC en paredes. La concentración promedio de CO2 es de 369 ppm.

Índice de Fanger. De acuerdo al índice de Fanger, se considera térmicamente satisfactorio un voto medio estimado (PMV) de -0.5 a 0.5 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) me-

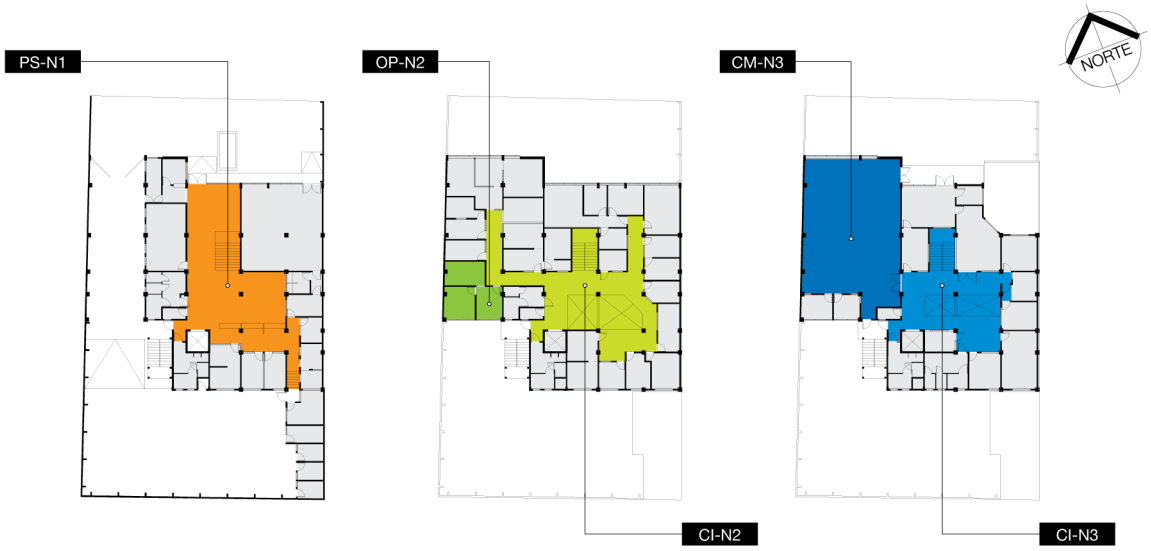


Figura 148. Plantas de ubicación de los espacios monitoreados, PME. Elaboración propia.

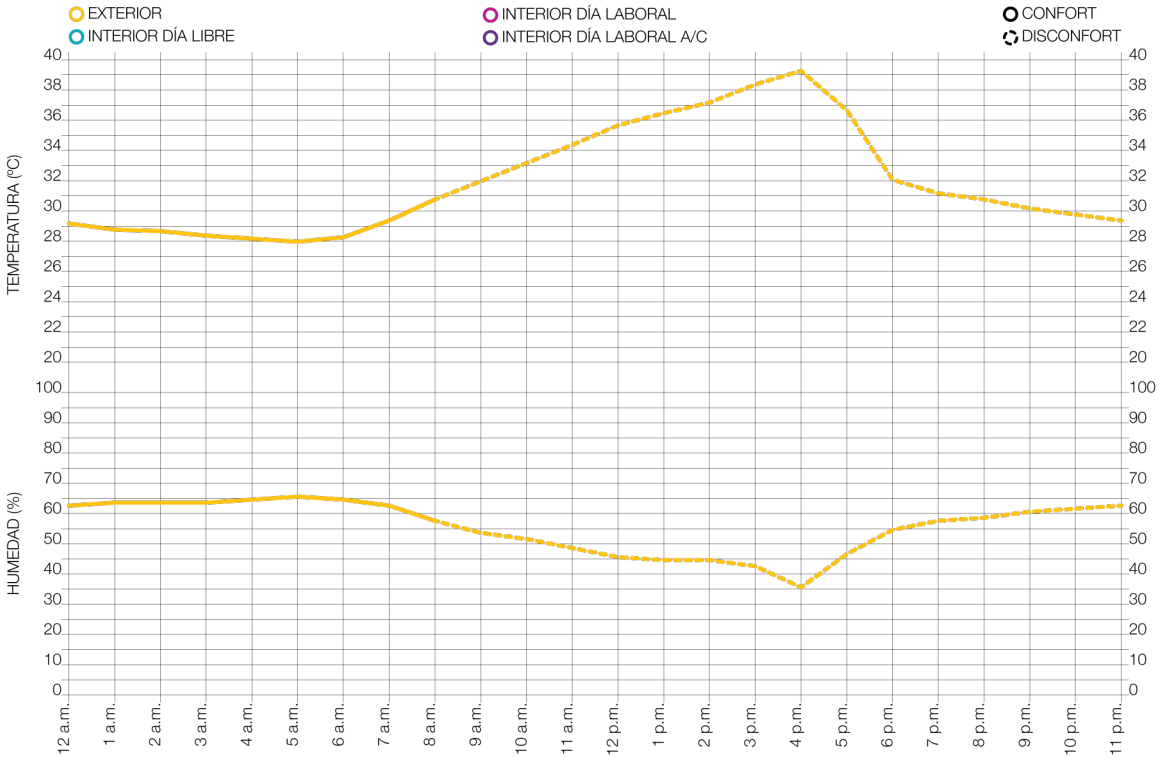
nor al 10%.

Para evaluar cada espacio se considera un met de 1.0 y un clo de 0.8 para actividad laboral sedentaria, así como la velocidad del aire, temperatura y humedad media registrados durante los días laborales del espacio respectivo. El resultado es un voto medio estimado (PMV) de 2.4 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 91% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

PS-N1 Plataforma de servicios. Ubicada en el primer nivel del edificio, en la parte central del mismo. Es el espacio que recibe mayor cantidad de público. Se encuentra bajo el vacío central de los espacios de circulación superiores, por lo que comparte volumen de aire con las áreas de circulación (CI-N2, CI-N3).

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 29.4ºC, tanto en los días libres como en los laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 2 p.m. con 30.7ºC, y la mínima alrededor de las 6 a.m. con 28.0ºC, para un rango de oscilación de 2.7ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra entre 1 y 2 p.m. con 32.5ºC, y la mínima se registra entre 6 y 9 a.m. con 26.9ºC, para un rango de oscilación de 5.6ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 55% para los días libres, y de 63% para los días labo-



T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
31.7	45.8	24.9	20.9	55	84	21	63	9	15

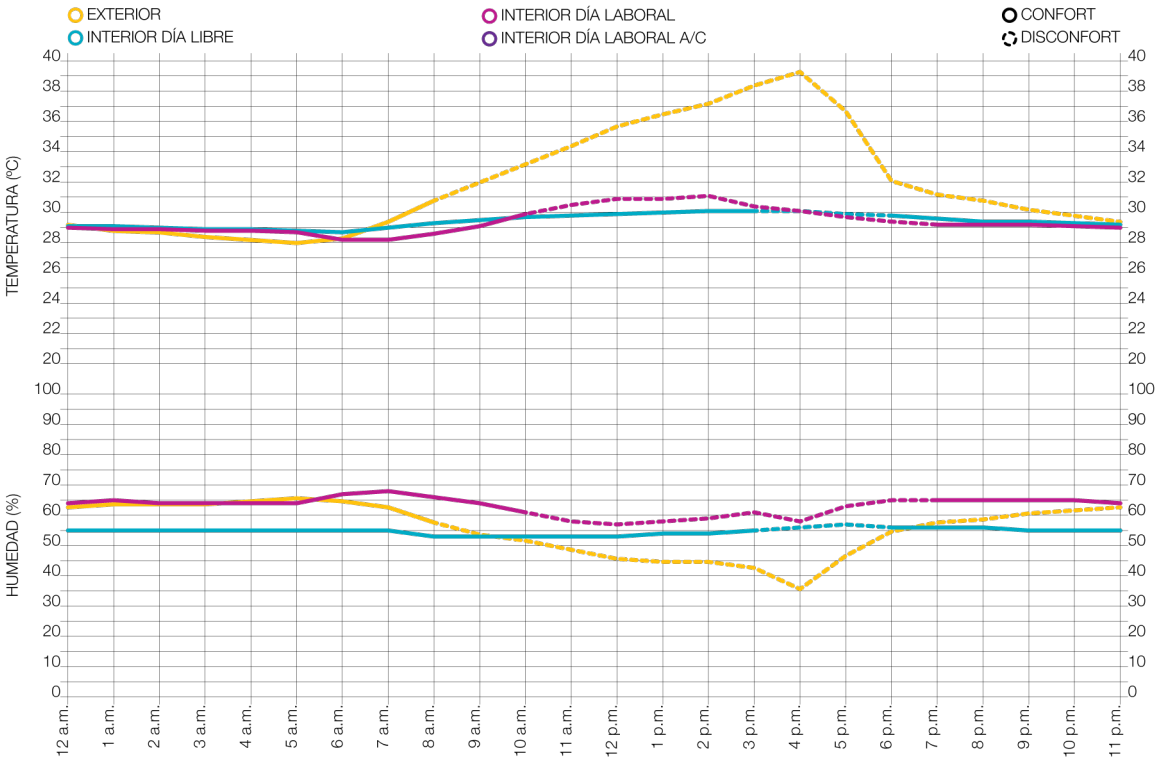
Figura 149. Día tipo EX-N1, biomonitoreo prolongado PME. Elaboración propia.

rales. En condiciones de desocupación, tanto la máxima como la mínima se registran alrededor de las 6 p.m., con 61% y 47%, para un rango de oscilación de 14 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 9 a.m. con 76%, y la mínima alrededor de las 2 p.m. con 46%. El rango de oscilación se duplica, alcanzando los 30 puntos porcentuales.

Durante los días libres, presenta condiciones de bienestar saludable durante casi todo el día, con sólo 3 horas de disconfort entre 3 y 6 p.m. Durante los días laborales, la humedad supera el 60%, generando condiciones algo húmedas para la salud. Las horas de bienestar se reducen, con 9 horas de disconfort, entre 10 a.m. y 7 p.m.

En general, la temperatura media es menor a la exterior; mientras que la humedad media es igual a la exterior en días libres, y mayor en días laborales. En días libres, presenta el menor valor de temperatura media, y uno de los mayores valores de humedad media, después de CM-N3; siendo el espacio con mayor cantidad de horas de confort. En días laborales, presenta uno de los mayores valores de humedad media, después de CI-N2.

Mediciones manuales. No registra movi-



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	29.4	30.7	28.0	2.7	55	61	47	14	21	3
	29.4	32.5	26.9	5.6	63	76	46	30	15	9

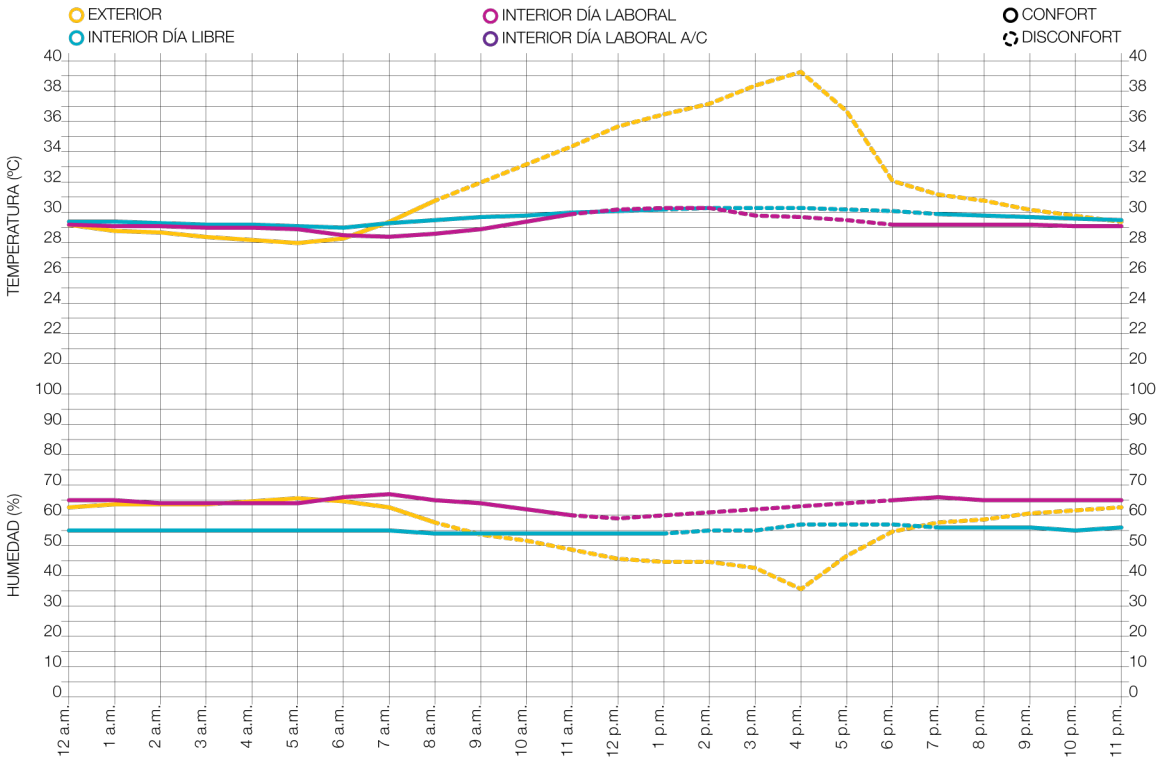
Figura 150. Día tipo PS-N1, biomonitoreo prolongado PME. Elaboración propia.

miento del aire. Pese a que forma parte de un espacio abierto dentro del edificio, la concentración promedio de CO2 es de 406 ppm, lo correspondiente a un recinto cerrado. Los únicos medios de renovación del aire son la puerta principal y la salida de emergencia. El vacío en los niveles superiores permite que el aire caliente suba, sin embargo no tiene salida en el tercer nivel, por lo que queda atrapado y circulando.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 1.8 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 67% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

CI-N2 Área central de circulación. Ubicada en el segundo nivel del edificio, en la parte central del mismo. Posee un vacío central, por lo que comparte volumen de aire con la plataforma de servicios y el área de circulación del tercer nivel (PS-N1, CI-N3).

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 29.7ºC durante los días libres, y de 29.3ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 2 p.m. con 30.9ºC, y la mínima alrededor de las 6 a.m. con 28.4ºC, para un rango de oscilación de 2.5ºC. En condiciones de



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	29.7	30.9	28.4	2.5	55	63	49	14	18	6
	29.3	31.4	27.0	4.4	64	75	50	25	17	7

Figura 151. Día tipo CI-N2, biomonitoreo prolongado PME. Elaboración propia.

ocupación, la máxima se registra alrededor de la 1 p.m. con 31.4ºC, y la mínima alrededor de las 8 a.m. con 27.0ºC, para un rango de oscilación de 4.4ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 55% para los días libres, y de 64% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 6 p.m. con 63%, y la mínima entre 9 a.m. y 2 p.m. con 49%, para un rango de oscilación de 14 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra entre 4 y 6 p.m. con 75%, y la mínima entre 11 a.m. y 2 p.m. con 50%, para un rango de oscilación de 25 puntos porcentuales.

Durante los días libres, presenta condiciones de bienestar saludable durante la mayor parte del día, con 6 horas de disconfort entre 1 y 7 p.m. Durante los días laborales, la humedad supera el 60%, generando condiciones algo húmedas para la salud. Las horas de bienestar se reducen, con 7 horas de disconfort, entre 11 a.m. y 6 p.m.

En general, la temperatura media es menor a la exterior; mientras que la humedad media es igual a la exterior en días libres, y mayor en días laborales. En días libres, presenta uno de los mayores valores de humedad media, después de CM-N3; siendo uno de los espacios con mayor cantidad de horas de confort. En días laborales, presenta el mayor valor de humedad media.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 aumenta de 406 ppm en PS-N1, a 537 ppm en CI-N2. Los únicos medios de renovación del aire son la salida de emergencia y el aire que proviene de PS-N1. El vacío en el nivel superior permite que el aire caliente suba, sin embargo no tiene salida en el tercer nivel, por lo que queda atrapado y circulando.

Índice de Fanger. Obtiene, al igual que PS-N1, un voto medio estimado (PMV) de 1.8 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 67% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

OP-N2 Oficina de planificación y presupuesto. Ubicada en el segundo nivel del edificio, en la esquina Suroeste del mismo. La fachada Oeste consiste en un muro de concreto, el cual recibe entre 4 y 5 horas de radiación directa a lo largo del año. Mientras que la fachada Sur consiste en un muro cortina, que recibe entre 0 y 10 horas de radiación directa a lo largo del año.

Es el único medio de entrada a las dos oficinas adyacentes, y el único espacio monitoreado con aire acondicionado durante el horario laboral.

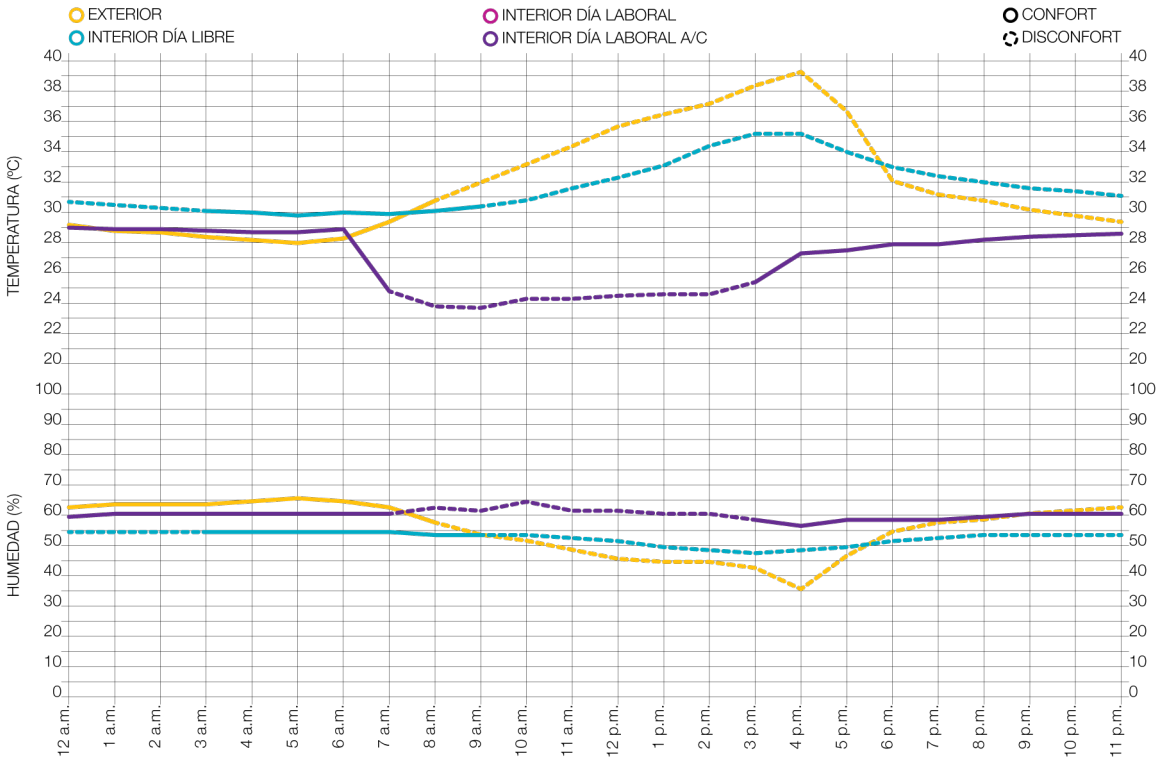
Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 31.6ºC durante los días libres, y de 26.8ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 3 p.m. con 37.0ºC, y la mínima alrededor de las 10 a.m. con 24.3ºC, para un rango de oscilación de 12.7ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 4 p.m. con 31.4ºC, y la mínima alrededor de las 9 a.m. con 22.3ºC, para un rango de oscilación de 9.1ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 52%

para los días libres, y de 60% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre 12 y 10 a.m. con 59%, y la mínima entre 3 y 4 p.m. con 43%, para un rango de oscilación de 16 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 2 p.m. con 69%, y la mínima alrededor de las 4 p.m. con 51%, para un rango de oscilación de 18 puntos porcentuales.

Durante los días libres, presenta condiciones de bienestar saludable durante sólo 6 horas al día, entre 3 y 9 a.m. Durante los días laborales, la humedad aumenta y se mantiene en el límite entre las zonas de bienestar saludable y algo húmeda para la salud (60%). Las horas de bienestar aumentan debido al uso del aire acondicionado, sin embargo aún presenta 8 horas de disconfort, que coinciden con el horario laboral entre 7 a.m. y 3 p.m.

En general, la temperatura media es igual a la exterior en días libres, y menor en días laborales; mientras que la humedad media es menor a la exterior en días libres, y mayor en días laborales. En días libres, presenta el mayor valor de temperatura media y el menor valor de humedad media; siendo junto con CM-N3, el espacio con menor cantidad



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	31.6	37.0	24.3	12.7	52	59	43	16	6	18
	26.8	31.4	22.3	9.1	60	69	51	18	16	8

Figura 152. Día tipo OP-N2, biomonitoreo prolongado PME. Elaboración propia.

de horas de confort, incluso en relación al exterior. En días laborales, presenta el menor valor de temperatura y humedad media.

Mediciones manuales. La concentración promedio de CO2 es de 1630 ppm, con un mínimo de 1396 ppm y un máximo de 1848 ppm. La calidad del aire se considera aceptable para un espacio cerrado con concentraciones de CO2 de 350 a 1000 ppm, de 1000 a 2000 ppm se considera aire de baja calidad, y de 2000 a 5000 ppm se considera aire viciado.

El aire acondicionado puede mejorar la actividad intelectual y el rendimiento laboral al mejorar la sensación térmica. Sin embargo, sin el uso y mantenimiento adecuado puede generar enfermedades respiratorias, sequedad en ojos y piel, así como dolores de cabeza, somnolencia y disminución del rendimiento por la concentración de CO2.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 1.0 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 26% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

CI-N3 Área central de circulación. Ubicada en el tercer nivel del edificio, en la parte central del mismo. Posee un vacío central, por lo que comparte volumen de aire con la plataforma de servicios y el área de circulación del segundo nivel (PS-N1, CI-N3).

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 30.5ºC durante los días libres, y de 29.7ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 2 p.m. con 32.3ºC, y la mínima entre 6 y 7 a.m. con 28.8ºC, para un rango de oscilación de 3.5ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de la 1 p.m. con 32.4ºC, y la mínima alrededor de las 9 a.m. con 27.2ºC, para un rango de oscilación de 5.2ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 54% para los días libres, y de 63% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre 6 y 7 p.m. con 60%, y la mínima entre 9 a.m. y 4 p.m. con 48%, para un rango de oscilación de 12 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra entre 8 y 9 a.m. con 75%, y la mínima alrededor de las 2 p.m. con 47%. El rango de oscilación se duplica, alcanzando 28 puntos porcentuales.

Durante los días libres, presenta condiciones de bienestar saludable durante 10 horas al día, con 14 horas de disconfort entre 9 a.m. y 11 p.m. Durante los días laborales, la humedad supera el 60%, generando condiciones algo húmedas para la salud. Las horas de bienestar se reducen, con 15 horas de disconfort, a partir de las 10 a.m. y hasta las 2 a.m.

En general, la temperatura media es menor a la exterior; mientras que la humedad media es ligeramente menor a la exterior en días libres, y mayor en días laborales. En días laborales, presenta el mayor valor de temperatura media, y uno de los mayores valores de humedad media, después de CI-N2; siendo el espacio con menor cantidad de horas de confort.

Mediciones manuales. No registra movi-

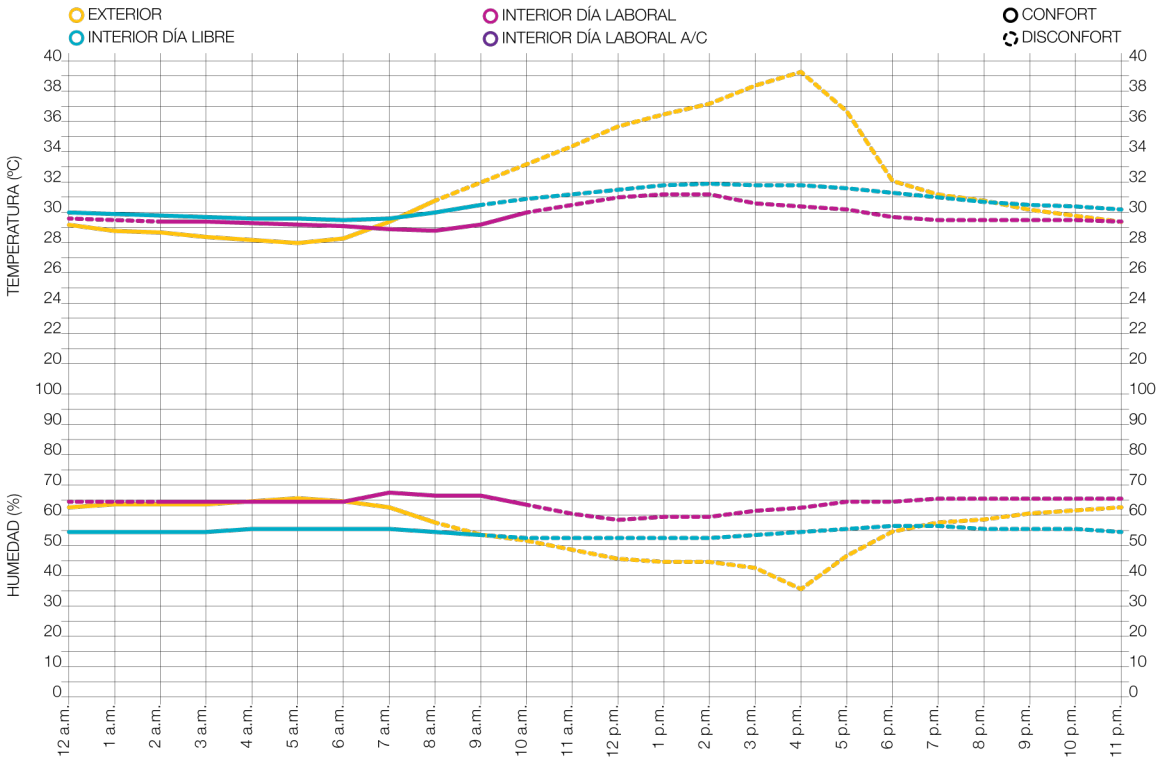
miento del aire. La concentración promedio de CO2 aumenta de 406 ppm en PS-N1, a 537 ppm en CI-N2, y se reduce a 417 ppm en CI-N3.

Los únicos medios de renovación del aire son la salida de emergencia y el aire que proviene de PS-N1 y CI-N2. Aquí se concentra el aire caliente proveniente de los niveles inferiores, y al no tener salida, queda atrapado y circulando.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 1.9 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 72% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

CM-N3 Concejo Municipal. Ubicado en el tercer nivel del edificio, en la esquina Noroeste del mismo. La fachada Oeste consiste en un muro de concreto, el cual recibe entre 4 y 5 horas de radiación directa a lo largo del año. Mientras que la fachada Norte consiste en un muro cortina, que recibe entre 2 y 10 horas de radiación directa a lo largo del año.

El Concejo Municipal cuenta con 22 miembros, además del público asistente, y se reúne los lunes a las 6 p.m. El espacio cuenta con aire acondicionado, sin embargo sólo se utiliza en ho-



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	30.5	32.3	28.8	3.5	54	60	48	12	10	14
	29.7	32.4	27.2	5.2	63	75	47	28	9	15

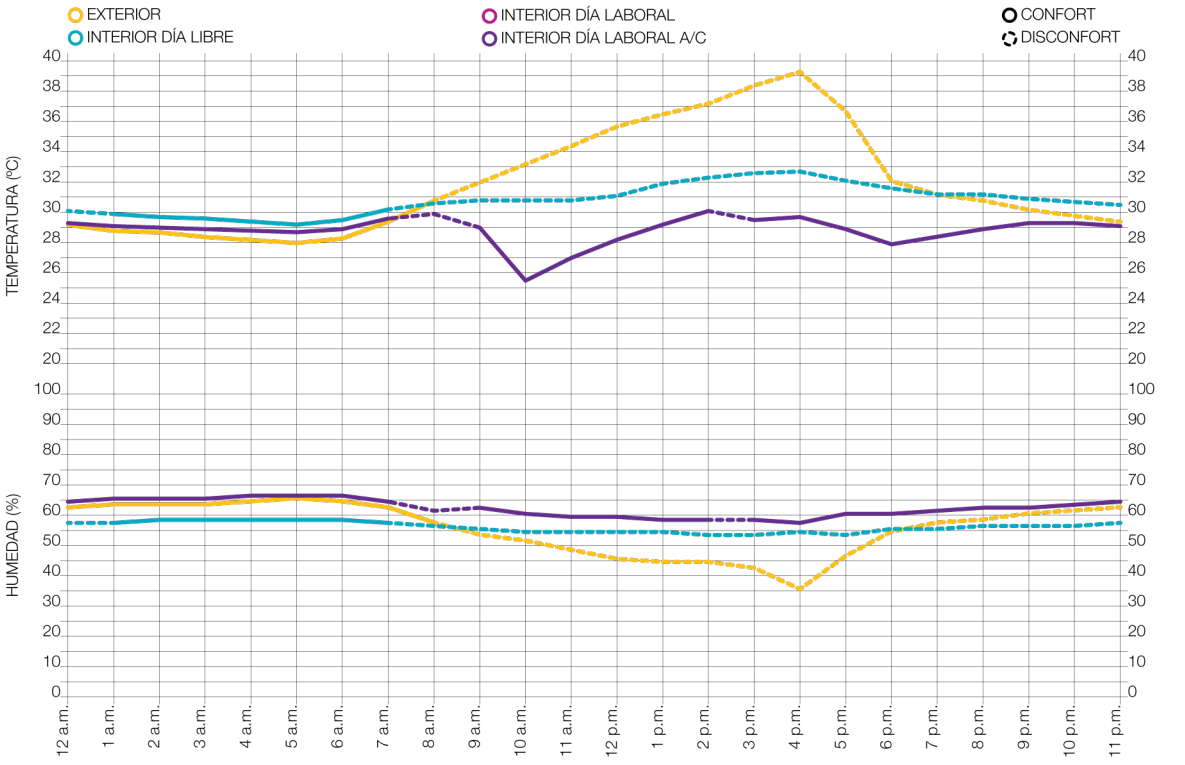
Figura 153. Día tipo CI-N3, biomonitoreo prolongado PME. Elaboración propia.

ras de reunión.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 30.7ºC durante los días libres, y de 28.7ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 4 p.m. con 33.6ºC, y la mínima alrededor de las 12 p.m. con 24.7ºC, para un rango de oscilación de 8.9ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de la 3 p.m. con 32.5ºC, y la mínima alrededor de las 10 a.m. con 23.8ºC, para un rango de oscilación de 8.7ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 56% para los días libres, y de 62% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre 1 y 3 a.m. con 62%, y la mínima alrededor de las 5 p.m. con 46%, para un rango de oscilación de 16 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 7 p.m. con 72%, y la mínima entre 11 a.m. y 7 p.m. con 53%, para un rango de oscilación de 19 puntos porcentuales.

Durante los días libres, presenta condiciones de bienestar saludable durante sólo 6 horas al día, con 18 horas de disconfort a partir de las 7 a.m. y hasta la 1 a.m. Durante los días labora-



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	30.7	33.6	24.7	8.9	56	62	46	16	6	18
	28.7	32.5	23.8	8.7	62	72	53	19	21	3

Figura 154. Día tipo CM-N3, biomonitoreo prolongado PME. Elaboración propia.

les, la humedad supera el 60%, generando condiciones algo húmedas para la salud. Las horas de bienestar aumentan debido al uso de aire acondicionado, sin embargo aún presenta 3 horas de disconfort, de 7 a 9 a.m. y a las 2 p.m.

En general, la temperatura media es menor a la exterior, mientras que la humedad media es mayor. En días libres, presenta el mayor valor de humedad media; siendo, junto con OP-N2, el espacio con menor cantidad de horas de confort, incluso en relación al exterior. En días laborales, es el espacio con mayor cantidad de horas de confort.

Mediciones manuales. Se realizan con la Sala del Concejo desocupada. No registra movimiento del aire. La concentración promedio de CO2 es de 473 ppm. Los únicos medios de renovación del aire son la salida de emergencia y la puerta al balcón, los cuales se mantienen cerrados.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 1.6 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 56% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

2.3.6 MINISTERIO DE SALUD DE CHACARITA (MSC), PUNTARENAS

La toma de datos climáticos en el interior y exterior del edificio, permite evaluar la capacidad de la envolvente para amortiguar las condiciones climáticas externas. En el caso de Puntarenas, se determinó que marzo es el mes más crítico en cuanto a condiciones de confort. Sin embargo, se realizan dos mediciones en el mes de abril con el fin de monitorear el período de vacaciones de Semana Santa, y evaluar el comportamiento del edificio en condiciones de ocupación y desocupación.

La primera consiste en el biomonitoreo prolongado de temperatura, humedad, e iluminación, por un período de dos semanas. Y la segunda consiste en la toma manual de temperatura, humedad, temperatura media radiante, velocidad del viento, CO2, temperatura de los materiales, y nivel de ruido e iluminación.

Los resultados se evalúan mediante hojas de cálculo, para determinar las horas del día que se encuentran dentro de los rangos de bienestar determinados por el CBA.

Exterior. Durante el biomonitoreo prolongado, la temperatura media al exterior del edificio es de 28.8°C. La máxima se registra alrededor de las 3 p.m. con 33.5°C, mientras que la mínima se registra alrededor de las 7 p.m. con 25.7°C. El rango de oscilación es de 7.9°C.

En el mismo período, la humedad, la media es de 83%. Con una máxima de 92% y una mínima de 67%, para un rango de oscilación de 25 puntos porcentuales.

Bajo estas condiciones, la humedad media se mantiene sobre el rango saludable (40-60%) durante todo el día, siendo también las temperaturas muy altas entre las 11 p.m. y las 6 a.m.

Espacios internos, días libres. Al interior del edificio y en condiciones de desocupación, la temperatura media es de 30.3ºC, siendo 1.5ºC mayor que la media exterior. La máxima se registra alrededor de las 11 a.m. con 34.1ºC, mientras que la mínima se registra alrededor de las 10 a.m. con 27.4ºC. El rango de oscilación se reduce con respecto al exterior, siendo de 6.7ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 73%, es decir 10 puntos porcentuales menor a la media exterior. La máxima alcanza el 85% mientras que la mínima alcanza el 49%. El rango de oscilación aumenta con respecto al exterior, siendo de 37 puntos porcentuales.

Bajo estas condiciones, la humedad media desciende, y sin embargo se mantiene sobre el rango saludable durante todo el día (60-80%). Las temperaturas se mantienen por encima de lo recomendable, por lo que las condiciones son de disconfort a lo largo del día.

Espacios internos, días laborales. Al interior del edificio y en condiciones de ocupación, la temperatura media es de 29.6ºC. Esto es 0.8ºC mayor que la media exterior, y 0.7ºC menor que durante los días libres. La máxima se registra alrededor de la 4 p.m. con 33.6ºC, mientras que la mínima se registra alrededor de las 2 a.m. con 23.6ºC. El rango de oscilación aumenta con respecto al exterior y a los días libres, siendo de 10.0ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de

ZONA DE BIENESTAR ALGO SECA																					
T MAX (ºC)	32.5	32.4	32.4	32.3	32.2	32.2	32.1	32.0	31.9	31.9	31.8	31.7	31.7	31.6	31.5	31.5	31.4	31.3	31.2	31.2	31.1
T MIN (ºC)	26.0	26.0	26.0	25.9	25.9	25.9	25.9	25.9	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	25.6	25.6	25.6
H MED (%)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
ZONA DE BIENESTAR SALUDABLE																					
T MAX (ºC)	31.1	31.0	31.0	30.9	30.8	30.7	30.7	30.6	30.5	30.4	30.4	30.3	30.2	30.1	30.1	30.0	29.9	29.8	29.8	29.7	29.6
T MIN (ºC)	25.6	25.6	25.6	25.5	25.5	25.5	25.5	25.4	25.4	25.4	25.4	25.3	25.3	25.3	25.3	25.2	25.2	25.2	25.2	25.1	25.1
H MED (%)	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
ZONA DE BIENESTAR ALGO HÚMEDA																					
T MAX (ºC)	29.6	29.5	29.5	29.4	29.3	29.3	29.2	29.1	29.0	29.0	28.9	28.8	28.8	28.7	28.6	28.6	28.5	28.4	28.3	28.3	28.2
T MIN (ºC)	25.1	25.1	25.1	25.0	25.0	25.0	25.0	24.9	24.9	24.9	24.9	24.8	24.8	24.8	24.8	24.7	24.7	24.7	24.7	24.6	24.6
H MED (%)	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80

Figura 155. Zonas de bienestar determinadas por el CBA (refiérase al capítulo 2, sección 2.1.6 Puntarenas). Elaboración propia.

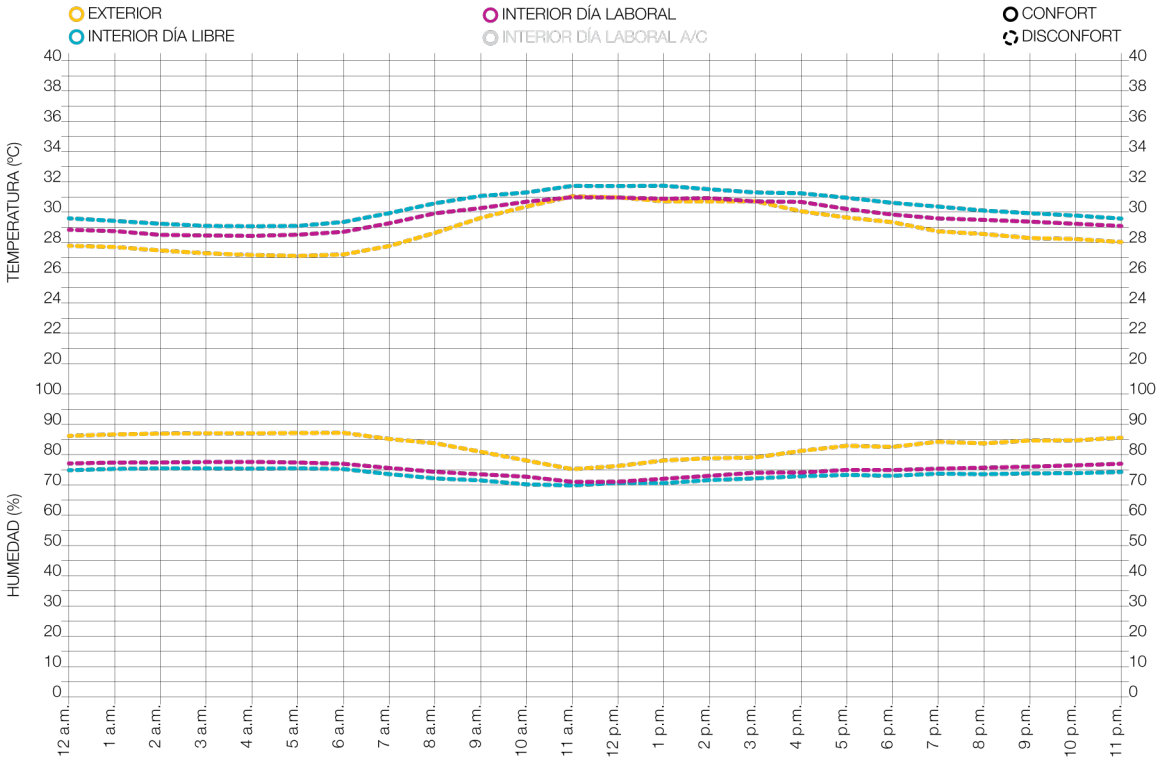
75%. Esto es entre 8 y 2 puntos porcentuales menor a la media exterior y a los días libres. La máxima alcanza el 89% mientras que la mínima alcanza el 51%. El rango de oscilación aumenta con respecto al exterior y a los días libres, siendo de 38 puntos porcentuales.

La humedad se mantiene en todo momento por encima del rango de bienestar saludable, mientras que las temperaturas son muy altas durante el día.

Conclusiones. Durante los días libres, la temperatura media se mantiene sobre la externa durante las 24 horas, con condiciones de disconfort durante todo el día. Esto implica que la envolvente no logra disminuir el impacto de las condiciones externas.

Durante los días laborales, la temperatura interna disminuye debido a que los usuarios propician la ventilación natural, y a que la densidad de ocupación es poca para el espacio disponible. Sin embargo, la temperatura media se mantiene sobre la externa, con condiciones de disconfort durante todo el día.

Mediciones manuales. En cuanto a las medi-



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	28.8	33.5	25.7	7.9	83	92	67	25	0	24
	30.3	34.1	27.4	6.7	73	85	49	37	0	24
	29.6	33.6	23.6	10.0	75	89	51	38	0	24

Figura 156. Día tipo interior-exterior, biomonitoreo prolongado MSC. Elaboración propia.

ciones manuales, la temperatura media de los espacios internos varía entre los 25.2ºC y los 30.5ºC, con rangos de oscilación de 1.9ºC a los 5.3ºC. Mientras que la media exterior es de 29.8ºC, con un rango de oscilación de 1.9ºC.

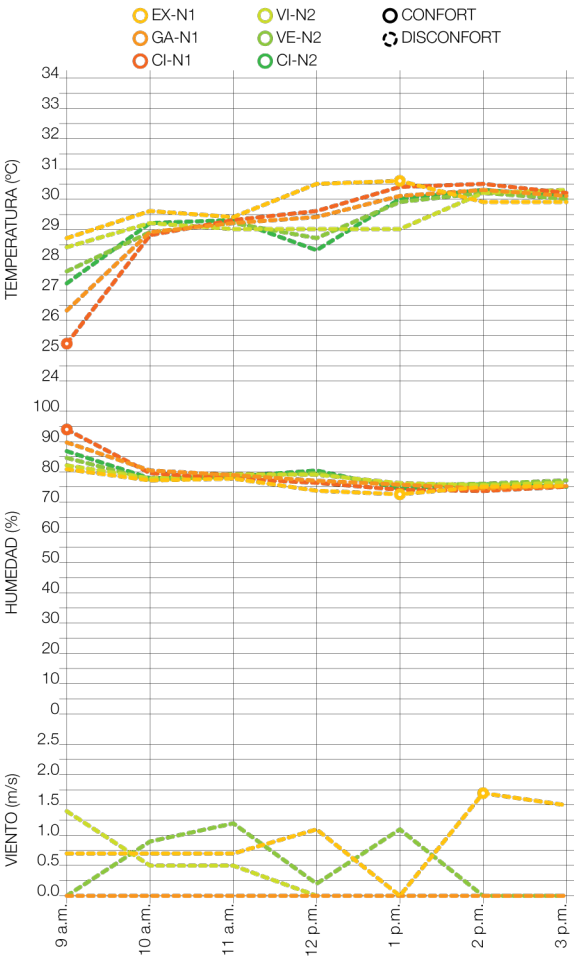
La mínima se registra a las 9 a.m., con 25.2ºC en el espacio de circulación del primer nivel (CI-N1), al igual que la temperatura máxima a las 2 p.m., con 30.5ºC. Las temperaturas se mantienen relativamente constantes en los niveles superiores.

En cuanto a la humedad, la media varía entre el 74% y el 94% en los espacios internos, con rangos de oscilación de 20.4 a 6.6 puntos porcentuales. Mientras que la media exterior es de 76%, con un rango de oscilación de 8.3 puntos porcentuales.

La humedad presenta el comportamiento inverso a la temperatura. La máxima se registra a las 9 a.m., con 94% en la circulación del primer nivel (CI-N1), mientras que la mínima se registra entre la 1 y las 2 p.m, con 74% en varios espacios (CI-N1, OG-N1 y CI-N2). La humedad interna es un poco superior a la externa durante todo el día, manteniéndose sobre el 70%.

La mayoría de los espacios no registran movimiento del aire debido a la directriz de mantener ventanas cerradas. Sin embargo, se excluye la oficina VE-N2, la cual registra una velocidad de 0.5 m/s. En la oficina VI-N2 se registra 0.3 m/s debido al uso de ventiladores. En el exterior se registra un promedio de 0.9 m/s.

Conclusiones. En general, las condiciones se mantienen fuera de la zona de bienestar saludable, debido a que las humedades son en todo momento mayores al 60%, y las temperaturas muy altas.



	TEMPERATURA (ºC)				HUMEDAD RELATIVA (%)			
	T MED	T MAX	T MIN	Δ	H MED	H MAX	H MIN	Δ
	29.8	30.6	28.7	1.9	76	81	73	8
	29.2	30.3	26.3	4.0	79	90	74	16
	29.1	30.5	25.2	5.3	79	94	74	20
	29.3	30.3	28.4	1.9	78	82	76	6
	29.2	30.2	27.6	2.6	78	85	76	9
	29.2	30.3	27.3	3.1	78	87	74	13

Figura 157. Mediciones manuales por espacio, MSC. Elaboración propia.

Biomonitoreo por espacios. Los espacios monitoreados en el MSC son el área externa, la oficina de gerencia administrativa y seguridad, y el área central de circulación en el primer nivel (EX-N1, GA-N1, CI-N1); las oficinas de vigilancia y de control del vector, y el área central de circulación en el segundo nivel (VI-N2, VE-N2, CI-N2).

EX-N1 Área externa. Ubicada en el exterior del edificio, en la parte lateral Oeste, la cual recibe un promedio de 2 horas diarias de radiación directa. Se trata de una acera de concreto, rodeada por un jardín con plantas ornamentales.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 28.8ºC. La máxima se registra alrededor de las 3 p.m. con 33.5ºC, y la mínima alrededor de las 6 a.m. y 7 p.m. con 25.7ºC, para un rango de oscilación de 7.8ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 83%. La máxima se registra alrededor de las 3 a.m. y 7 p.m. con 92%, y la mínima alrededor de las 9 a.m. con 67%, para un rango de oscilación de 25 puntos porcentuales.

Esto implica que en el exterior la humedad media se mantiene sobre el rango saludable (40-60%), y las temperaturas son muy altas durante el día. Presenta condiciones fuera del área de bienestar durante todo el día.

Mediciones manuales. Registra un movimiento promedio del aire de 0.9 m/s. Sin embargo también registra los mayores valores de temperatura en materiales, con un promedio de 33.0ºC en pisos y 31.6ºC en paredes. La concentración promedio de CO2 es de 251 ppm.

Índice de Fanger. De acuerdo al índice de Fanger, se considera térmicamente satisfactorio un voto medio estimado (PMV) de -0.5 a 0.5 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) menor al 10%.

Para evaluar cada espacio se considera un met de 1.0 y un clo de 0.8 para actividad laboral sedentaria, así como la velocidad del aire, temperatura y humedad media registrados durante los

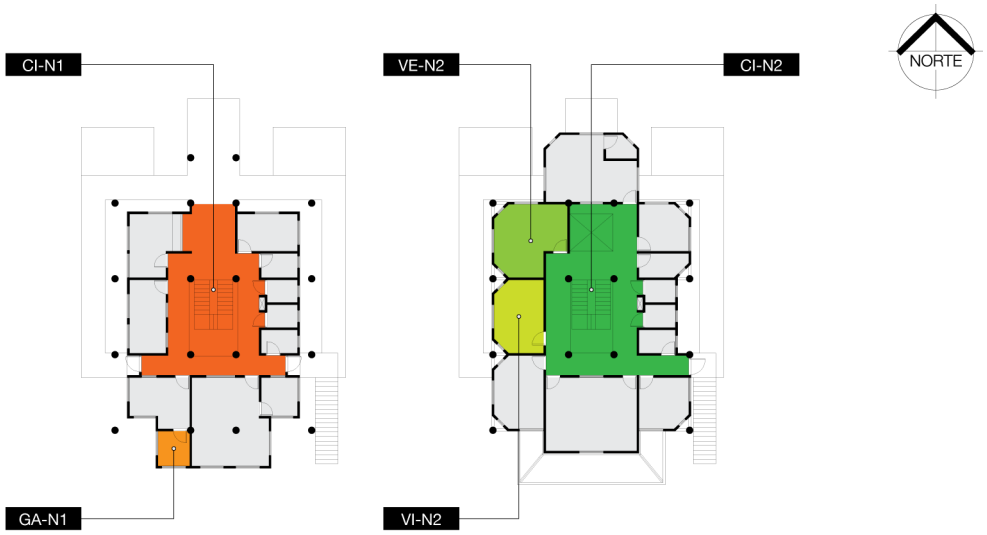


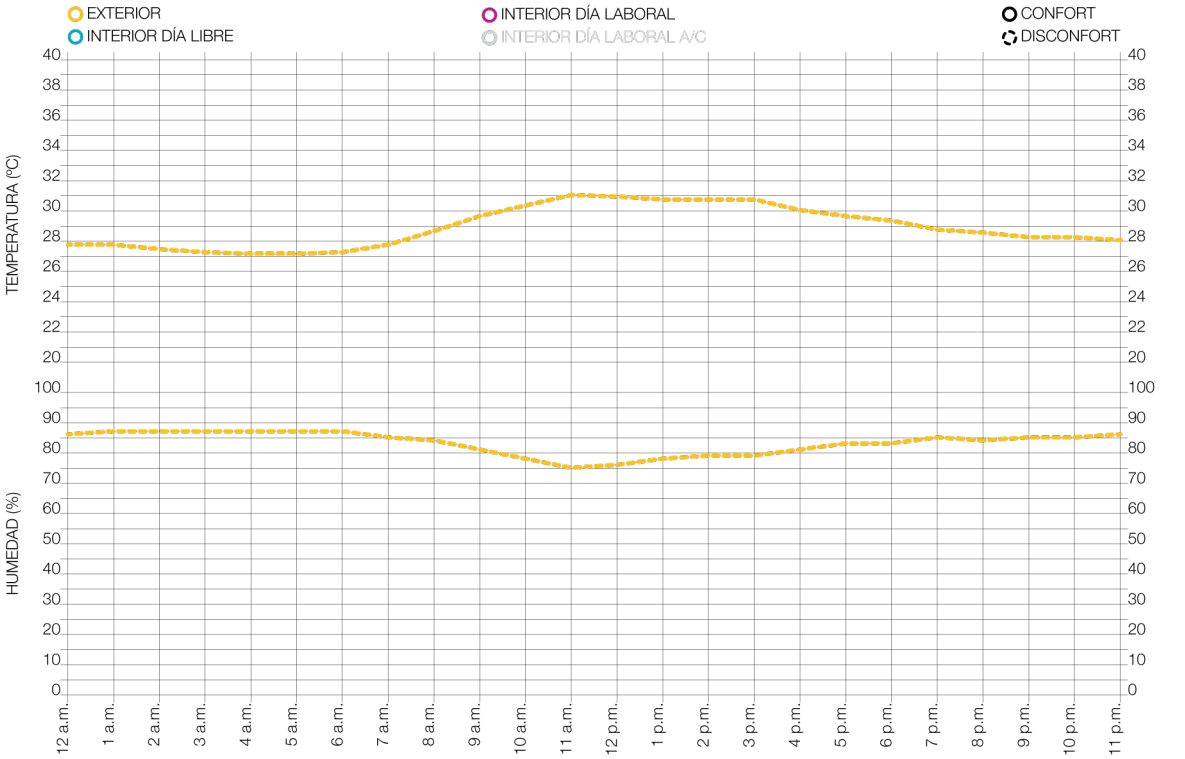
Figura 158. Plantas de ubicación de los espacios monitoreados, MSC. Elaboración propia.

días laborales del espacio respectivo. El resultado es un voto medio estimado (PMV) de 1.3 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 40% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

GA-N1 Oficina de gerencia administrativa. Ubicada en el primer nivel del edificio, en el costado Suroeste. Las fachadas Sur y Oeste reciben respectivamente de 1 a 11, y de 5 a 7 horas diarias de radiación directa a lo largo del año.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 30.2ºC durante los días libres, y de 29.5ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 11 a.m. con 34.1ºC, y la mínima alrededor de las 11 p.m. con 28.3ºC, para un rango de oscilación de 5.8ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 11 a.m. con 33.3ºC, y la mínima alrededor de las 7 p.m. con 26.6ºC, para un rango de oscilación de 6.7ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 77% para los días libres, y de 79% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre las 6 y 7 p.m. con 85% y la mínima a las 12 p.m. con 63%, para un rango de oscilación de 22 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 6 a.m. con 86%, y la mínima alrededor de las 9



T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
28.8	33.5	25.7	7.8	83	92	67	25	0	24

Figura 159. Día tipo EX-N1, biomonitoreo prolongado MSC. Elaboración propia.

a.m. con 68%, para un rango de oscilación de 18 puntos porcentuales.

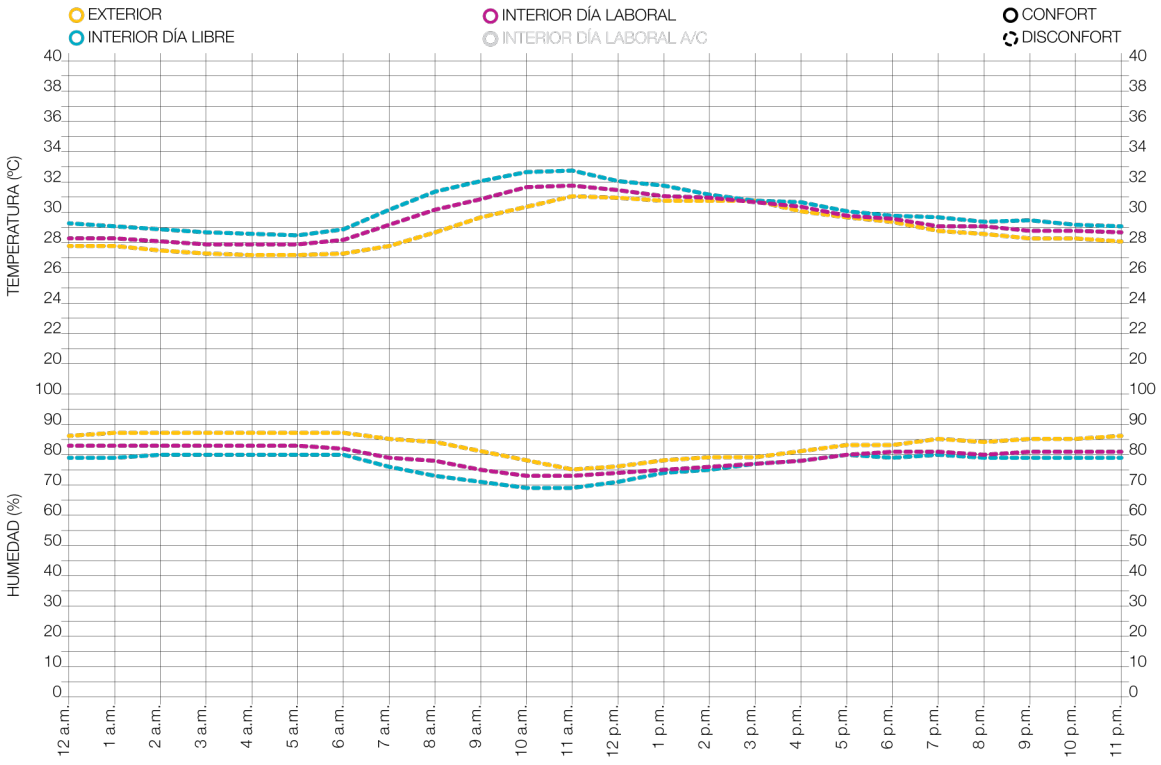
Tanto durante los días libres como los días laborales, presenta condiciones fuera del área de bienestar durante las 24 horas. En ambos casos, la humedad media se mantiene cercana 80%.

En general, la temperatura media es mayor a la exterior, mientras que la humedad media es menor. En días libres, presenta el menor valor de temperatura media, al igual que VI-N2, VE-N2 y CI-N2. En días laborales, presenta el menor valor de temperatura media, junto con VE-N2.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire debido a que, aunque existen ventanas, estas se encuentran cerradas durante todo el día. La concentración promedio de CO2 es la más alta de los espacios analizados, con un promedio de 294 ppm. El único medio de renovación de aire es la puerta principal, la cual permanece cerrada la mayor parte del día.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 1.9 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 72% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

CI-N1 Área central de circulación. Ubicada en el primer nivel del edificio, en la parte central del



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	30.2	34.1	28.3	5.8	77	85	63	22	0	24
	29.5	33.3	26.6	6.7	79	86	68	18	0	24

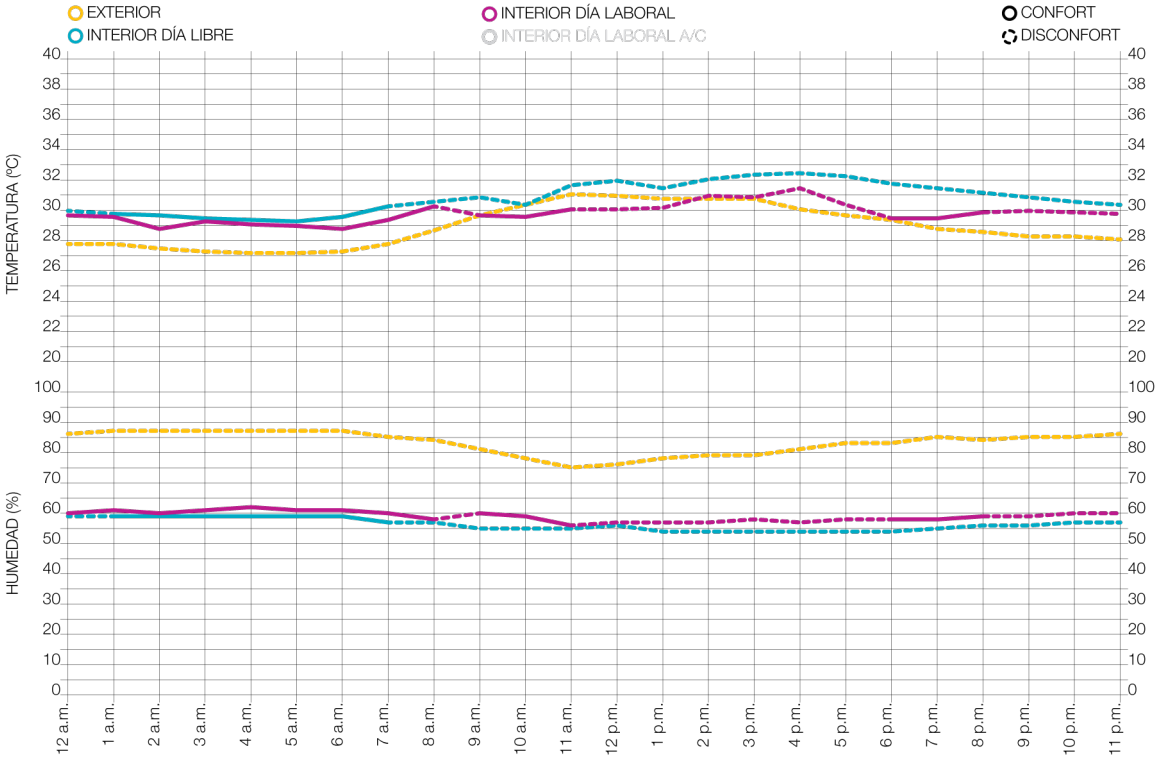
Figura 160. Día tipo GA-N1, biomonitoreo prolongado MSC. Elaboración propia.

mismo. Posee un vacío central, por lo que comparte volumen de aire con el área de circulación del segundo nivel (CI-N2).

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 30.8ºC durante los días libres, y de 29.7ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 3 p.m. con 32.9ºC, y la mínima alrededor de las 10 a.m. con 27.4ºC, para un rango de oscilación de 5.5ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 4 p.m. con 33.6ºC, y la mínima alrededor de las 2 a.m. con 23.6ºC, para un rango de oscilación de 10.0ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 56% para los días libres, y de 59% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre 1 y 3 a.m. con 62%, y la mínima entre 2 y 5 p.m con 49%, para un rango de oscilación de 13 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 9 a.m. y 3 p.m. con 75%, y la mínima entre 11 a.m. y 4 p.m. con 51%, para un rango de oscilación de 24 puntos porcentuales.

Durante los días libres, presenta condiciones de bienestar saludables, entre 1 y 7 a.m. Durante



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	30.8	32.9	27.4	5.5	56	62	49	13	6	18
	29.7	33.6	23.6	10.0	59	75	51	24	12	12

Figura 161. Día tipo CI-N1, biomonitoreo prolongado MSC. Elaboración propia.

los días laborales, presenta condiciones de bienestar saludable y algo húmedas, entre 12 y 11 a.m. y entre 6 y 8 p.m.

En general, la temperatura media es mayor a la exterior, mientras que la humedad media es mucho menor. En días libres, presenta el mayor valor de temperatura media, y el menor valor de humedad media; siendo el único espacio que cuenta con horas de confort. En días laborales, presenta el mayor valor de temperatura media, junto con VI-N2; y el menor valor de humedad media; siendo nuevamente el único espacio que cuenta con horas de confort.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire, pese a que comparte volumen de aire con CI-N2. Registra los valores más bajos de temperatura en materiales, con un promedio de 31.4ºC en piso, 31.2ºC en cielos y 31.3ºC en paredes. La concentración promedio de CO2 es de 270 ppm.

Cuenta con las puertas de emergencia (Este y Oeste) como medios de renovación del aire. La parte superior de la torre cuenta con vidrio fijo, por lo que el aire caliente sube y queda atrapado y circulando.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 1.9 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 72% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

VI-N2 Oficina de vigilancia. Ubicada en el segundo nivel del edificio, al costado Oeste. La fachada consiste en una pared de concreto con dos ventanas, que reciben entre 5 y 7 horas diarias de radiación directa a lo largo del año.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 30.2ºC durante los días libres, y de 29.7ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 9 a.m. con 32.6ºC, y la mínima alrededor de las 3 a.m. con 28.5ºC, para un rango de oscilación de 4.1ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de la 12 p.m. con 33.0ºC, y la mínima alrededor de las 3 a.m. con 26.7ºC, para un rango de oscilación de 6.3ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 77% para los días libres, y de 78% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre 12 y 4 a.m. con 82%, y la mínima alrededor de las 9 a.m. con 68%, para un rango de oscilación de 14 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra entre 8 y 9 p.m. con 85%, y la mínima alrededor de las 9 a.m. con 67%, para un rango de oscilación de 18 puntos porcentuales.

Tanto durante los días libres como los días laborales, presenta condiciones fuera del área de bienestar durante las 24 horas. En ambos casos, la humedad media se mantiene cercana 80%.

En general, la temperatura media es mayor a la exterior, mientras que la humedad media es menor. En días libres, presenta el menor valor de temperatura media, al igual que GA-N1, VE-N2 y CI-N2. En días laborales, presenta el mayor valor de temperatura media, junto con CI-N1.

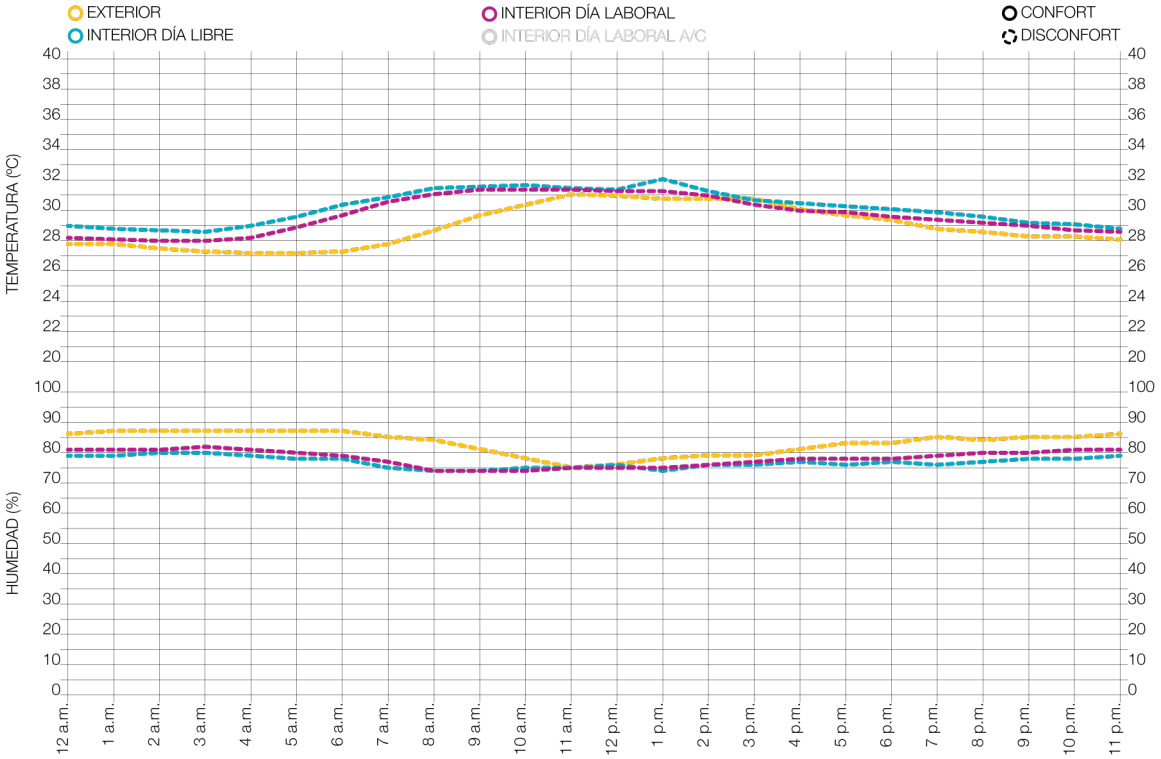
Mediciones manuales. No registra movi-

miento del aire. La concentración promedio de CO2 aumenta de 292 ppm en la mañana, a 391 ppm en horas de la tarde. El único medio de renovación de aire es la puerta principal, la cual permanece abierta la mayor parte del día.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 2.2 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 85% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

VE-N2 Oficina del vector. Ubicada en el segundo nivel del edificio, en el costado Noroeste. Las fachadas Norte y Oeste reciben respectivamente de 0 a 12, y de 5 a 7 horas diarias de radiación directa a lo largo del año. Es la oficina donde más personas trabajan, con 12 usuarios.

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 30.2ºC durante los días libres, y de 29.5ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de la 1 p.m. con 32.8ºC, y la mínima alrededor de las 6 a.m. con 28.5ºC, para un rango de oscilación de 4.3ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 3 p.m. con 32.7ºC, y la mínima alrededor de la 1 a.m. con 26.9ºC, para un rango de oscilación de 5.8ºC.



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	30.2	32.6	28.5	4.1	77	82	68	14	0	24
	29.7	33.0	26.7	6.3	78	85	67	18	0	24

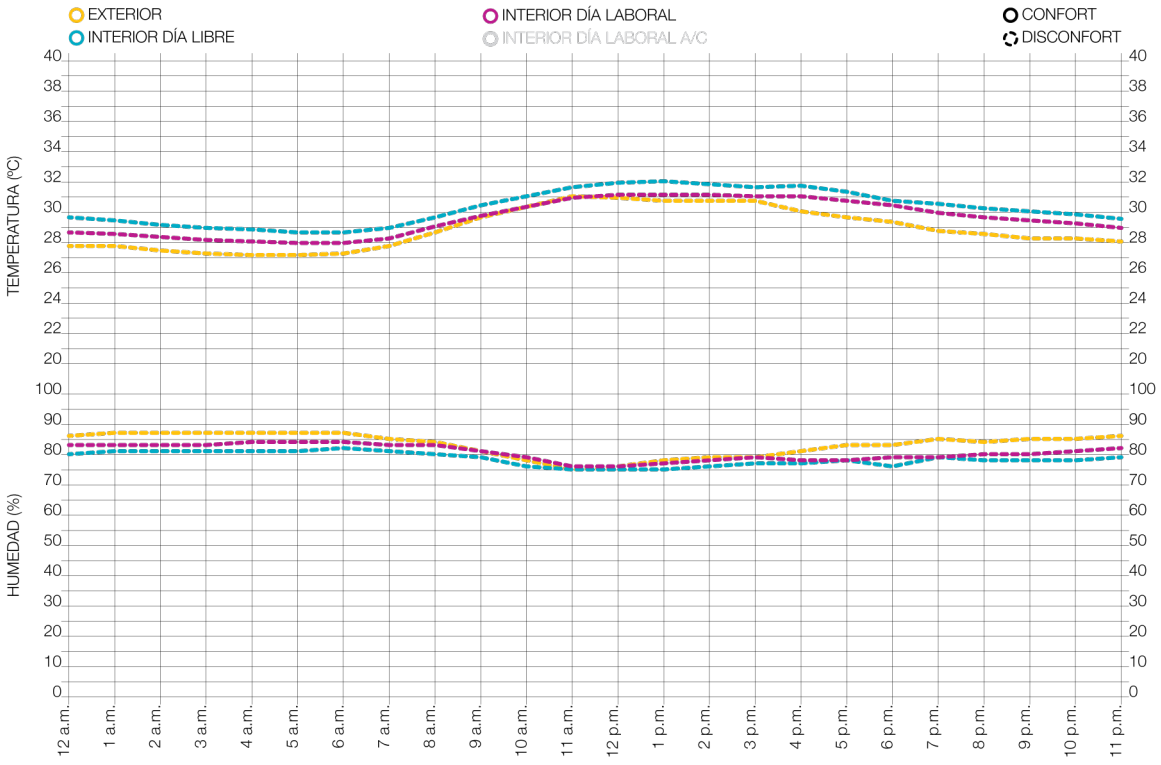
Figura 162. Día tipo VI-N2, biomonitoreo prolongado MSC. Elaboración propia.

En cuanto a la humedad, la media es de 79% para los días libres, y de 81% para los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra entre 5 y 7 a.m. con 85%, y la mínima alrededor de las 6 p.m. con 67%, para un rango de oscilación de 18 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra entre 4 y 9 a.m. con 89%, y la mínima alrededor de las 12 p.m. con 68%, para un rango de oscilación de 21 puntos porcentuales.

Tanto durante los días libres como los días laborales, presenta condiciones fuera del área de bienestar durante las 24 horas. En ambos casos, la humedad media se mantiene cercana 80%.

En general, la temperatura media es mayor a la exterior, mientras que la humedad media es ligeramente menor. En días libres, presenta el menor valor de temperatura media, al igual que GA-N1, VI-N2 y CI-N2; y el mayor valor de humedad media, junto con CI-N2. En días laborales, presenta el menor valor de temperatura media, junto con GA-N1; y el mayor valor de humedad media.

Mediciones manuales. Registra un movimiento promedio del aire de 0.5 m/s, debido a las ventanas abiertas. La concentración promedio de CO2 aumenta de 237 ppm en la mañana a 313



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	30.2	32.8	28.5	4.3	79	85	67	18	0	24
	29.5	32.7	26.9	5.8	81	89	68	21	0	24

Figura 163. Día tipo VE-N2, biomonitoreo prolongado MSC. Elaboración propia.

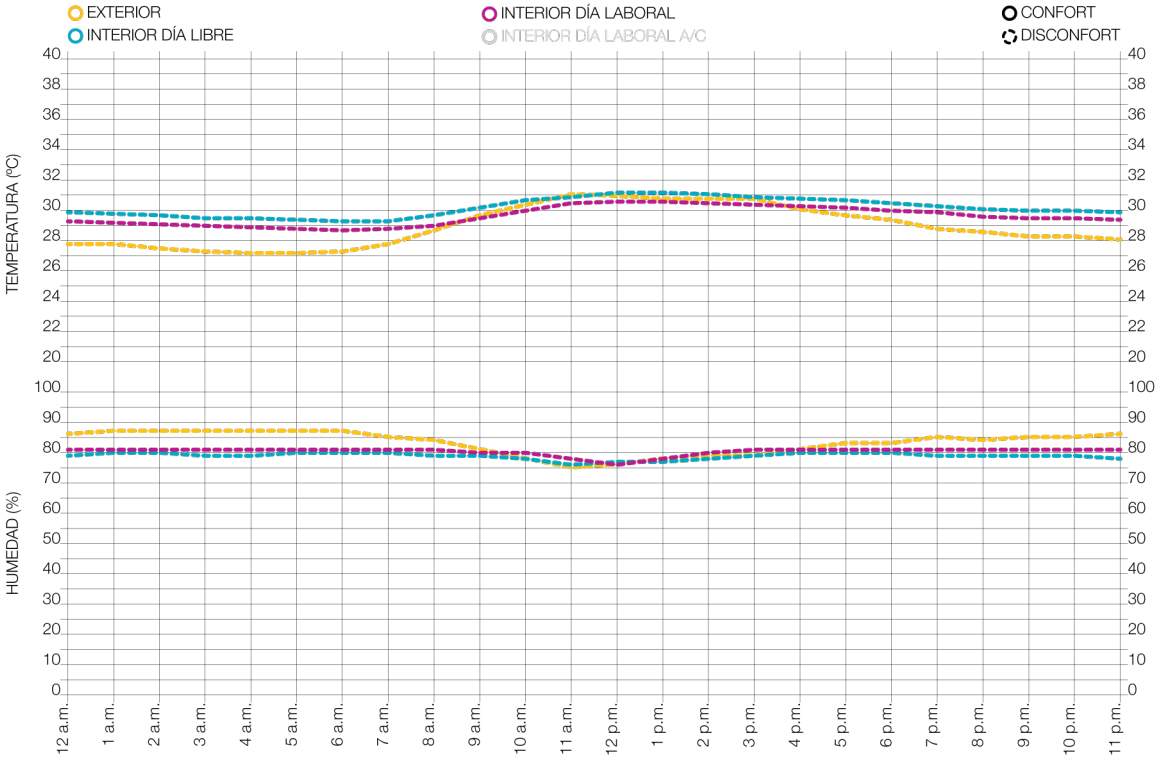
ppm en la tarde, debido a la mayor concentración de personas a esa hora. El único medio de renovación de aire es la puerta principal, la cual permanece abierta la mayor parte del día.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 1.4 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 46% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

CI-N2 Area central de circulación (). Ubicada en el segundo nivel del edificio, en la parte central del mismo. Posee un vacío central, por lo que comparte volumen de aire con el área de circulación del primer nivel (CI-N1).

Biomonitoreo prolongado. Presenta una temperatura media de 30.2ºC durante los días libres, y de 29.6ºC durante los días laborales. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de la 1 p.m. con 32.0ºC, y la mínima alrededor de las 7 a.m. con 29.1ºC, para un rango de oscilación de 2.9ºC. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 12 p.m. con 31.8ºC, y la mínima alrededor de las 9 a.m. con 27.9ºC, para un rango de oscilación de 3.9ºC.

En cuanto a la humedad, la media es de 79% para los días libres, y de 80% para los días labora-



	T MED (ºC)	T MAX (ºC)	T MIN (ºC)	OSCILACIÓN (Δ)	H MED (%)	H MAX (ºC)	H MIN (%)	OSCILACIÓN (Δ)	CONFORT	DISCONFORT
	30.2	32.0	29.1	2.9	79	85	71	14	0	24
	29.6	31.8	27.9	3.9	80	88	68	20	0	24

Figura 164. Día tipo CI-N2, biomonitoreo prolongado MSC. Elaboración propia.

les. En condiciones de desocupación, la máxima se registra alrededor de las 7 p.m. con 85%, y la mínima alrededor de la 1 p.m. con 71%, para un rango de oscilación de 14 puntos porcentuales. En condiciones de ocupación, la máxima se registra alrededor de las 10 a.m. con 88%, y la mínima alrededor de las 9 a.m. con 68%, para un rango de oscilación de 20 puntos porcentuales.

Tanto durante los días libres como los días laborales, presenta condiciones fuera del área de bienestar durante las 24 horas. En ambos casos, la humedad media se mantiene cercana 80%.

En general, la temperatura media es mayor a la exterior, mientras que la humedad media es menor. En días libres, presenta el menor valor de temperatura media, al igual que GA-N1, VI-N2 y VE-N2; y el mayor valor de humedad media, junto con VE-N2. En días laborales, presenta uno de los mayores valores de humedad media, después de VE-N2.

Mediciones manuales. No registra movimiento del aire, pese a que comparte volumen de aire con CI-N1. Registra los valores más bajos de temperatura en materiales, con un promedio de 31.4ºC en piso, 31.2ºC en cielos y 31.3ºC en paredes. La concentración promedio de CO2 es de 280 ppm.

Cuenta con las puertas de emergencia (Este y Oeste) como medios de renovación del aire. La parte superior de la torre cuenta con vidrio fijo, por lo que el aire caliente sube y queda atrapado y circulando.

Índice de Fanger. Obtiene un voto medio estimado (PMV) de 1.9 y un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) de 72% que sitúan el espacio fuera del área de confort.

2.4 SELECCIÓN DE LOS CASOS A SIMULAR

A continuación se sintetizan las características más relevantes, por escala, de todos los casos de estudio. Esto con el fin de contraponer las características y particularidades de cada caso. Posteriormente se incluyen las observaciones determinantes en la selección de los casos a simular.

MACRO escala		
SANTA ANA	CIUDAD COLÓN	ATENAS
Altitud. 904 m s.n.m.	Altitud. 770 m s.n.m.	Altitud. 698 m s.n.m.
ZV 2010. bh-P	ZV 2010. bmh-P	ZV 2010. bmh-P
ZV 2080. bs-T	ZV 2080. bs-T	ZV 2080. bs-T
RESUMEN CLIMÁTICO		
Estación 84195-Aeropuerto de Pavas (1996-2014)	Interpolación 84143-Orotina (1995-2005) 84199-Belén (2005-2014)	Interpolación 84199-Belén (2005-2014) 78027-Puntarenas (2001-2015)
T med. 23.0ºC	T med. 24.5ºC	T med. 24.1ºC
T max. 28.6ºC - abr	T max. 31.4ºC - mar	T max. 31.9ºC - abr
T min. 18.1ºC - ene	T min. 19.4ºC - set-ene	T min. 17.1ºC - mar
Δ. 9.6ºC	Δ. 12.0ºC	Δ. 14.9ºC
H med. 75%	H med. 74%	H med. 74%
H max. 84% - oct	H max. 84% - oct	H max. 89% - oct
H min. 67% - mar	H min. 60% - feb	H min. 61% - mar
Δ. 17 puntos porcentuales	Δ. 24 puntos porcentuales	Δ. 28 puntos porcentuales
Vientos. 3.7 m/s - Este	Vientos. 4.2 m/s - Sureste	Vientos. 1.6 m/s - Noreste
Pma. 1649.0 mm	Pma. 1359.9 mm	Pma. 1474.0 mm
ZONA DE BIENESTAR		
Fuera del área de bienestar saludable casi en su totalidad, debido a humedades muy altas y temperaturas algo bajas en horas de la madrugada. Requiere ventilación por las tardes, de febrero a octubre.	Fuera del área de bienestar saludable en algunos momentos del año debido a humedades muy altas y temperaturas algo bajas en horas de la madrugada. Requiere ventilación por las tardes, de enero a setiembre.	Fuera del área de bienestar saludable en algunos momentos del año, debido a humedades muy altas y temperaturas muy bajas en horas de la madrugada. Requiere ventilación por las tardes, de febrero a mayo.

Figura 165. Síntesis de características de cada caso, según macro escala (características climáticas). Elaboración propia.

MACRO escala

OROTINA	ESPARZA	PUNTARENAS
Altitud. 233 m s.n.m.	Altitud. 208 m s.n.m.	Altitud. 4 m s.n.m.
ZV 2010. bh-T	ZV 2010. bh-T	ZV 2010. bs-T
ZV 2080. bs-T	ZV 2080. bs-T	ZV 2080. bms-T
RESUMEN CLIMÁTICO		
Estación 84143-Orotina (1995-2005)	Interpolación 84199-Belén (2005-2014) 78027-Puntarenas (2001-2015)	Estación 78027-Puntarenas (2001-2015)
T med. 27.3ºC	T med. 26.3ºC	T med. 27.0ºC
35.5ºC - mar	31.2ºC - mar	31.6ºC - mar
21.4ºC - dic	22.4ºC - set, oct	23.4ºC - oct
Δ. 14.1ºC	Δ. 8.8ºC	Δ. 8.2ºC
H med. 78%	H med. 76%	H med. 77%
H max. 91% - oct	H max. 85% - oct	H max. 81% - oct
H min. 57% - febr	H min. 66% - mar	H min. 67% - mar
Δ. 34 puntos porcentuales	Δ. 19 puntos porcentuales	Δ. 14 puntos porcentuales
Vientos. 2.4 m/s - Noreste	Vientos. 3.5 m/s - Sur	Vientos. 3.1 m/s - Sur
Pma. 2330.7 mm	Pma. 1305.5 mm	Pma. 1360.9 mm
ZONA DE BIENESTAR		
Fuera del área de bienestar saludable casi en su totalidad, debido a humedades muy altas durante la época lluviosa y temperaturas muy altas durante la época seca.	Fuera del área de bienestar saludable casi en su totalidad, debido principalmente a humedades muy altas y temperaturas algo bajas durante las madrugadas.	Fuera del área de bienestar saludable en su totalidad, debido principalmente a humedades muy altas.
Requiere ventilación por las tardes, durante casi todos los meses del año. Presenta calor excesivo en las tardes de marzo.	Requiere ventilación por las tardes, de febrero a abril.	Requiere ventilación por las tardes, de enero a abril.

MESO escala

SANTA ANA - EMAI	CIUDAD COLÓN - ASMP	ATENAS - ECA
E. Municipal de Artes Integradas Construcción. 1998 L-V 8 a.m. a 6 p.m. S 8 a.m. a 12 p.m. L-D 8 a.m. a 10 p.m. (activ. esp.)	Área de Salud Mora-Palmichal Construcción. 2015 L-V 7 a.m. a 4 p.m.	Escuela Central de Atenas Construcción. 1953 L-V 7 a.m. a 3 p.m.
ENTORNO INMEDIATO		
Zona residencial y comercial al Sur del centro de Santa Ana. Rodeado de comercios y casas de habitación de uno y dos niveles, y un parqueo al costado Sur. Jardines y vegetación escasos, de baja altura.	Zona residencial, al Norte del centro urbano de Ciudad Colón. Terrenos amplios sin edificar al Norte y Este. Lotes pequeños con casas de habitación de uno y dos niveles al Sur y Oeste.	Zona comercial y residencial, al centro de la ciudad de Atenas. Frente a la plaza recreativa de la localidad. Rodeado de casas de habitación, jardines con vegetación mediana a pequeña, y una quebrada al Este.
CONFIGURACIÓN		
Bloque rectangular con eje longitudinal de Este a Oeste, y rotación de 0º. 3 niveles de 3.9 m Huella. 870.9 m2 - 21.9%	Dos bloques rectangulares unidos por un conector central, con eje longitudinal de Norte a Sur, y rotación de 39° hacia el Oeste. 2 niveles de 4.76 m Huella. 1557.0 m2 - 12.4%	Bloque rectangular con patio central, eje longitudinal de Este a Oeste, y rotación de 0º. 2 niveles de 4.0 y 4.5 m Huella. 3882.0 m2 - 32.9%
SISTEMA CONSTRUCTIVO		
Muros y columnas de concreto armado, con cerramientos en mampostería. Columnas y vigas metálicas expuestas. Cubiertas con diferentes alturas y pendientes, a una y dos aguas.	Muros y columnas de concreto armado, con cerramientos de mampostería y muros cortina en fachadas principales. Cubiertas en dos aguas, hacia una losa de concreto.	Muros y columnas de concreto armado con cerramientos en mampostería. Cubiertas a cuatro aguas, hacia los patios internos del edificio.

Figura 166. Síntesis de características de cada caso, según meso escala (relación con el entorno). Elaboración propia.

MESO escala

OROTINA - PMO	ESPARZA - PME	PUNTARENAS - MSC
Palacio Municipal de Orotina Construcción. 1970 L-J 7 a.m. a 4 p.m. V 7 a.m. a 3 p.m.	Palacio Municipal de Esparza Construcción. 2015 L-J 7 a.m. a 4 p.m. V 7 a.m. a 3 p.m.	Ministerio de Salud de Chacarita Construcción. 2010 L-J 7 a.m. a 4 p.m. V 7 a.m. a 3 p.m.
ENTORNO INMEDIATO		
Zona comercial, al centro de la ciudad de Orotina. Lote esquinero frente al parque central de la localidad. Rodeado de propiedades pequeñas con comercios e instituciones de un nivel. Vegetación escasa.	Zona principalmente residencial, al centro de la ciudad de Esparza. Rodeado de lotes pequeños ocupados con casas de habitación de un nivel. Jardines y vegetación escasos.	Zona principalmente residencial. Casas de habitación de un nivel al Oeste. Lote desocupado al Este, con vegetación de poca altura y el mar al Sur.
CONFIGURACIÓN		
Bloque rectangular con eje longitudinal de Norte a Sur, y rotación de 8° hacia el Este. 2 niveles de 3.5 m Huella. 634.0 m2 - 86.9%	Bloque rectangular con eje longitudinal de Norte a Sur, y rotación de 21° hacia el Este. 3 niveles de 4.0 m Huella. 503.6 m2 - 43.5%	Bloque rectangular con eje longitudinal de Norte a Sur, y rotación de 0º. 2 niveles de 3.2 m Huella. 176.2 m2 - 11.5%
SISTEMA CONSTRUCTIVO		
Muros y columnas de concreto armado con cerramientos en mampostería y livianos. Cubiertas a tres aguas.	Muros y columnas de concreto armado, con cerramientos de mampostería y muros cortina en fachadas principales. Cubiertas curvas a dos aguas.	Muros y columnas de concreto armado con cerramientos internos de mampostería. Cubiertas a cuatro aguas.

MESO escala

SANTA ANA - EMAI	CIUDAD COLÓN - ASMP	ATENAS - ECA
Envolvente. 2189.6 m2	Envolvente. 2884.8 m2	Envolvente. 2380.7 m2
Aberturas. 9.1%	Aberturas. 2.9%	Aberturas. 2.8%
RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE		
Cubierta. Mayor incidencia de enero a marzo. Valores máximos entre 11 a.m. y 2 p.m.	Cubierta. Mayor incidencia alrededor de los equinoccios. Valores máximos entre 11 a.m. y 2 p.m.	Cubierta. Mayor incidencia alrededor de los equinoccios. Valores máximos entre 11 a.m. y 2 p.m.
Fac. Norte. Mayor incidencia de mayo a julio. Valores máximos entre 8 y 11 a.m.	Fac. Noroeste. Mayor incidencia de mayo a julio. Valores máximos entre 2 y 4 p.m.	Fac. Norte. Mayor incidencia de mayo a julio. Valores máximos entre 8 a.m. y 2 p.m.
Fac. Sur. Mayor incidencia de diciembre a febrero. Valores máximos entre 12 y 4 p.m.	Fac. Sureste. Mayor incidencia de noviembre a febrero. Valores máximos entre 10 a.m. y 1 p.m.	Fac. Sur. Mayor incidencia de octubre y marzo. Valores máximos entre 11 a.m y 2 p.m.
Fac. Este. Mayor incidencia de febrero a abril. Valores máximos entre 9 y 11 a.m.	Fac. Noreste. Mayor incidencia de abril a junio. Valores máximos entre 9 y 11 a.m.	Fac. Este. Mayor incidencia de febrero a abril. Valores máximos entre 9 y 11 a.m.
Fac. Oeste. Mayor incidencia de febrero a abril. Valores máximos entre 2 y 5 p.m.	Fac. Suroeste. Mayor incidencia de diciembre a marzo. Valores máximos entre 2 y 5 p.m.	Fac. Oeste. Mayor incidencia de febrero a abril. Valores máximos entre 3 y 5 p.m.
VIENTOS LOCALES		
Dirección Este	Dirección Sureste	Dirección Noreste
Nivel 1 ≤ 0.9 m/s	Nivel 1 ≤ 0.5 m/s	Nivel 1 ≤ 0.5 m/s
Niveles 2 y 3 ≤ 1.1 m/s	Nivel 2 ≤ 1.0 m/s	Nivel 2 ≤ 1.1 m/s
Presión positiva en las fachadas Norte, Sur y Este. Presión negativa en la fachada Oeste.	Presión positiva en las fachadas Sureste y Noreste. Presión negativa en las fachadas Noroeste y Suroeste.	Presión positiva en las fachadas Norte y Este. Presión negativa en la fachada Sur y Oeste.

Figura 167. Síntesis de características de cada caso, según meso escala (envolvente). Elaboración propia.

MESO escala

OROTINA - PMO	ESPARZA - PME	PUNTARENAS - MSC
Envolvente. 882.8 m2	Envolvente. 1486.2 m2	Envolvente. 493.3 m2
Aberturas. 2.3%	Aberturas. 3.9%	Aberturas. 14.4%
RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE		
Cubierta. Mayor incidencia alrededor de los equinoccios. Valores máximos entre 11 a.m. y 2 p.m.	Cubierta. Mayor incidencia alrededor de los equinoccios. Valores máximos entre 11 a.m. y 2 p.m.	Cubierta. Mayor incidencia alrededor de los equinoccios. Valores máximos entre 11 a.m. y 2 p.m.
Fac. Norte. Mayor incidencia de mayo a julio. Valores máximos entre 8 a.m. y 2 p.m.	Fac. Norte. Mayor incidencia de mayo a julio. Valores máximos entre 8 y 11 a.m.	Fac. Norte. Mayor incidencia de mayo a agosto. Valores máximos entre 8 a.m. y 3 p.m.
Fac. Sur. Mayor incidencia de octubre y marzo. Valores máximos entre 8 a.m. y 2 p.m.	Fac. Sur. Mayor incidencia de diciembre a enero. Valores máximos entre 2 y 4 p.m.	Fac. Sur. Mayor incidencia de octubre a febrero. Valores máximos entre 9 a.m. y 3 p.m.
Fac. Este. Mayor incidencia de febrero a abril. Valores máximos entre 9 y 11 a.m.	Fac. Este. Mayor incidencia de enero a marzo. Valores máximos entre 9 y 11 a.m.	Fac. Este. Mayor incidencia de febrero a octubre. Valores máximos entre 8 y 11 a.m.
Fac. Oeste. Mayor incidencia de febrero a abril. Valores máximos entre 3 y 5 p.m.	Fac. Oeste. Mayor incidencia de abril a junio. Valores máximos entre 3 y 5 p.m.	Fac. Oeste. Mayor incidencia de enero a marzo. Valores máximos entre 3 y 5 p.m.
VIENTOS LOCALES		
Dirección Noreste	Dirección Noreste	Dirección Sur
Nivel 1 ≤ 0.5 m/s	Nivel 1 ≤ 0.5 m/s	Nivel 1 ≤ 0.5 m/s
Nivel 2 ≤ 1.0 m/s	Niveles 2 y 3 ≤ 1.0 m/s	Nivel 2 ≤ 0.5 m/s
Presión positiva en las fachadas Norte y Este. Presión negativa en la fachada Sur y Oeste.	Presión positiva en las fachadas Norte y Este. Presión negativa en las fachadas Sur y Oeste.	Presión positiva en la fachada Sur. Presión negativa en la fachada Norte.

MICRO escala

SANTA ANA - EMAI		CIUDAD COLÓN - ASMP		ATENAS - ECA	
Mediciones. Abril - Mayo, 2017		Mediciones. Mayo, 2017		Mediciones. Abril - Mayo, 2017	
EXTERIOR		EXTERIOR		EXTERIOR	
T med. 24.2ºC	H med. 77%	T med. 24.1ºC	H med. 86%	T med. 25.1ºC	H med. 82%
T max. 31.4ºC	H max. 92%	T max. 28.6ºC	H max. 93%	T max. 31.0ºC	H max. 93%
T min. 19.8ºC	H min. 52%	T min. 21.7ºC	H min. 69%	T min. 20.6ºC	H min. 57%
Δ. 11.6ºC	Δ. 40 pp	Δ. 6.9ºC	Δ. 24 pp	Δ. 10.4ºC	Δ. 36 pp
Disconfort. 18 horas		Disconfort. 20 horas		Disconfort. 18 horas	
		INTERIOR. Días libres		INTERIOR. Días libres	
		T med. 24.0ºC	H med. 76%	T med. 26.0ºC	H med. 77%
		T max. 27.5ºC	H max. 87%	T max. 30.2ºC	H max. 88%
		T min. 22.4ºC	H min. 63%	T min. 22.4ºC	H min. 60%
		Δ. 5.1ºC	Δ. 24 pp	Δ. 7.8ºC	Δ. 28 pp
		Disconfort. 0 horas		Disconfort. 0 horas	
INTERIOR. Activ. moderada		INTERIOR. Días laborales		INTERIOR. Días lectivos	
T med. 25.1ºC	H med. 75%	T med. 25.2ºC	H med. 74%	T med. 26.2ºC	H med. 77%
T max. 28.6ºC	H max. 89%	T max. 28.6ºC	H max. 83%	T max. 30.9ºC	H max. 89%
T min. 21.2ºC	H min. 60%	T min. 22.7ºC	H min. 64%	T min. 22.1ºC	H min. 54%
Δ. 7.4ºC	Δ. 29 pp	Δ. 5.9ºC	Δ. 19 pp	Δ. 8.8ºC	Δ. 35 pp
Disconfort. 17 horas		Disconfort. 0 horas		Disconfort. 0 horas	
INTERIOR. Activ. sedentaria		INTERIOR A/C. Días laborales			
T med. 24.8ºC	H med. 76%	T med. 24.0ºC	H med. 80%		
T max. 28.9ºC	H max. 91%	T max. 26.8ºC	H max. 90%		
T min. 21.1ºC	H min. 58%	T min. 21.3ºC	H min. 61%		
Δ. 7.8ºC	Δ. 33 pp	Δ. 5.5ºC	Δ. 29 pp		
Disconfort. 0 horas		Disconfort. 14 horas			

Figura 168. Síntesis de características de cada caso, según micro escala (días tipo interior-exterior). Elaboración propia.

MICRO escala

OROTINA - PMO		ESPARZA - PME		PUNTARENAS - MSC	
Mediciones. Abril, 2017		Mediciones. Abril, 2017		Mediciones. Abril, 2017	
EXTERIOR		EXTERIOR		EXTERIOR	
T med. 32.2ºC	H med. 52%	T med. 31.7ºC	H med. 55%	T med. 28.8ºC	H med. 83%
T max. 45.2ºC	H max. 81%	T max. 45.8ºC	H max. 84%	T max. 33.5ºC	H max. 92%
T min. 25.5ºC	H min. 24%	T min. 24.9ºC	H min. 21%	T min. 25.7ºC	H min. 67%
Δ. 19.7ºC	Δ. 57 pp	Δ. 20.9ºC	Δ. 63 pp	Δ. 7.9ºC	Δ. 25 pp
Disconfort. 15 horas		Disconfort. 15 horas		Disconfort. 24 horas	
INTERIOR. Días libres		INTERIOR. Días libres		INTERIOR. Días libres	
T med. 30.6ºC	H med. 55%	T med. 30.4ºC	H med. 54%	T med. 30.3ºC	H med. 73%
T max. 34.0ºC	H max. 70%	T max. 37.0ºC	H max. 63%	T max. 34.1ºC	H max. 85%
T min. 26.4ºC	H min. 41%	T min. 24.3ºC	H min. 43%	T min. 27.4ºC	H min. 49%
Δ. 7.6ºC	Δ. 29 pp	Δ. 12.7ºC	Δ. 20 pp	Δ. 6.7ºC	Δ. 37 pp
Disconfort. 14 horas		Disconfort. 13 horas		Disconfort. 24 horas	
INTERIOR. Días laborales		INTERIOR. Días laborales		INTERIOR. Días laborales	
T med. 28.7ºC	H med. 68%	T med. 29.5ºC	H med. 63%	T med. 29.6ºC	H med. 75%
T max. 33.4ºC	H max. 80%	T max. 32.5ºC	H max. 76%	T max. 33.6ºC	H max. 89%
T min. 26.5ºC	H min. 46%	T min. 26.9ºC	H min. 46%	T min. 23.6ºC	H min. 51%
Δ. 6.9ºC	Δ. 34 pp	Δ. 5.6ºC	Δ. 30 pp	Δ. 10.0ºC	Δ. 38 pp
Disconfort. 6 horas		Disconfort. 9 horas		Disconfort. 24 horas	
INTERIOR A/C. Días laborales		INTERIOR A/C. Días laborales			
T med. 28.1ºC	H med. 62%	T med. 27.8ºC	H med. 61%		
T max. 33.5ºC	H max. 76%	T max. 32.5ºC	H max. 72%		
T min. 23.3ºC	H min. 42%	T min. 22.3ºC	H min. 51%		
Δ. 10.2ºC	Δ. 34 pp	Δ. 10.2ºC	Δ. 21 pp		
Disconfort. 0 horas		Disconfort. 1 hora			

MICRO escala

SANTA ANA - EMAI		CIUDAD COLÓN - ASMP		ATENAS - ECA	
Mediciones. Abril - Mayo, 2017		Mediciones. Mayo, 2017		Mediciones. Abril - Mayo, 2017	
EX-N3 (Exterior)		EX-N1 (Exterior)		EX-N1 (Exterior)	
-	CO2. 274 ppm	-	CO2. 268 ppm	-	CO2. 277 ppm
-	T med. 24.2ºC	-	T med. 24.1ºC	-	T med. 25.1ºC
-	H med. 77%	-	H med. 86%	-	H med. 82%
-	Disconfort. 18 h	-	Disconfort. 20 h	-	Disconfort. 18 h
-	PMV. 1.0	-	PMV. 1.1	-	PMV. 0
-	PPD. 26%	-	PPD. 31%	-	PPD. 5%
AD-N1 (Activ. Sedentaria)		SE-N1 (A/C)		SE-N1	
DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LECTIVO
-	CO2. 312 ppm	-	CO2. 345 ppm	-	CO2. 302 ppm
-	T med. 25.7ºC	T med. 23.0ºC	T med. 23.6ºC	T med. 26.5ºC	T med. 26.7ºC
-	H med. 72%	H med. 84%	H med. 82%	H med. 76%	H med. 76%
-	Disconfort. 0 h	Disconfort. 24 h	Disconfort. 21 h	Disconfort. 2 h	Disconfort. 2 h
-	PMV. 0.7	-	PMV. 0.1	-	PMV. 1.1
-	PPD. 15%	-	PPD. 5%	-	PPD. 31%
SI-N1 (Activ. Moderada)		VE-N1		A3-N1	
DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LECTIVO
-	CO2. 287 ppm	-	CO2. 348 ppm	-	CO2. 288 ppm
-	T med. 25.7ºC	T med. 25.4ºC	T med. 25.8ºC	T med. 26.0ºC	T med. 26.1ºC
-	H med. 72%	H med. 75%	H med. 76%	H med. 76%	H med. 76%
-	Disconfort. 24 h	Disconfort. 0 h	Disconfort. 0 h	Disconfort. 4 h	Disconfort. 4 h
-	PMV. 1.4	-	PMV. 0.7	-	PMV. 0.2
-	PPD. 46%	-	PPD. 15%	-	PPD. 6%
TB-N2 (Activ. Moderada)		TS-N2 (A/C)		A6-N1	
DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LECTIVO
-	CO2. 681 ppm	-	CO2. 449 ppm	-	CO2. 254 ppm
-	T med. 24.7ºC	T med. 24.1ºC	T med. 24.5ºC	T med. 26.3ºC	T med. 26.4ºC
-	H med. 76%	H med. 81%	H med. 78%	H med. 75%	H med. 76%
-	Disconfort. 13 h	Disconfort. 15 h	Disconfort. 12 h	Disconfort. 2 h	Disconfort. 2 h
-	PMV. 2.3	-	PMV. 0.3	-	PMV. 1.0
-	PPD. 88%	-	PPD. 7%	-	PPD. 26%

MICRO escala

OROTINA - PMO		ESPARZA - PME		PUNTARENAS - MSC	
Mediciones. Abril, 2017		Mediciones. Abril, 2017		Mediciones. Abril, 2017	
EX-N2 (Exterior)		EX-N1 (Exterior)		EX-N1 (Exterior)	
-	-	-	CO2. 369 ppm	-	CO2. 251 ppm
-	T med. 32.2ºC	-	T med. 31.7ºC	-	T med. 28.8ºC
-	H med. 52%	-	H med. 55%	-	H med. 83%
-	Disconfort. 15 h	-	Disconfort. 15 h	-	Disconfort. 24 h
-	PMV. 2.3	-	PMV. 2.4	-	PMV. 1.3
-	PPD. 88%	-	PPD. 91%	-	PPD. 40%
PS-N1 (A/C)		PS-N1		GA-N1	
DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LABORAL
-	CO2. 981 ppm	-	CO2. 406 ppm	-	CO2. 294 ppm
T med. 30.9ºC	T med. 28.5ºC	T med. 29.4ºC	T med. 29.4ºC	T med. 30.2ºC	T med. 29.5ºC
H med. 52%	H med. 56%	H med. 55%	H med. 63%	H med. 77%	H med. 79%
Disconfort. 18 h	Disconfort. 0 h	Disconfort. 3 h	Disconfort. 9 h	Disconfort. 24 h	Disconfort. 24 h
-	PMV. 1.4	-	PMV. 1.8	-	PMV. 1.9
-	PPD. 46%	-	PPD. 67%	-	PPD. 72%
PP-N1		CI-N2		CI-N1	
DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LABORAL
-	CO2. 560 ppm	-	CO2. 537 ppm	-	CO2. 270 ppm
T med. 30.1ºC	T med. 28.7ºC	T med. 29.7ºC	T med. 29.3ºC	T med. 30.8ºC	T med. 29.7ºC
H med. 55%	H med. 68%	H med. 55%	H med. 64%	H med. 56%	H med. 59%
Disconfort. 11 h	Disconfort. 6 h	Disconfort. 6 h	Disconfort. 7 h	Disconfort. 18 h	Disconfort. 12 h
-	PMV. 1.6	-	PMV. 1.8	-	PMV. 1.9
-	PPD. 56%	-	PPD. 67%	-	PPD. 72%
CB-N1 (A/C)		OP-N2 (A/C)		VI-N2	
DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LABORAL
-	CO2. 562 ppm	-	CO2. 1630 ppm	-	CO2. 322 ppm
T med. 30.5ºC	T med. 28.3ºC	T med. 31.6ºC	T med. 26.8ºC	T med. 30.2ºC	T med. 29.7ºC
H med. 55%	H med. 64%	H med. 52%	H med. 60%	H med. 77%	H med. 78%
Disconfort. 16 h	Disconfort. 0 h	Disconfort. 18 h	Disconfort. 8 h	Disconfort. 24 h	Disconfort. 24 h
-	PMV. 1.4	-	PMV. 1.0	-	PMV. 2.2
-	PPD. 46%	-	PPD. 26%	-	PPD. 85%

MICRO escala

SANTA ANA - EMAI		CIUDAD COLÓN - ASMP		ATENAS - ECA	
Mediciones. Abril - Mayo, 2017		Mediciones. Mayo, 2017		Mediciones. Abril - Mayo, 2017	
TA-N2 (Activ. Moderada)		PE-N2		A11-N1	
DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LECTIVO
-	CO2. 296 ppm	-	CO2. 474 ppm	-	CO2. 303 ppm
-	T med. 24.8ºC	T med. 23.8ºC	T med. 24.9ºC	T med. 25.1ºC	T med. 25.4ºC
-	H med. 76%	H med. 71%	H med. 73%	H med. 81%	H med. 80%
-	Disconfort. 14 h	Disconfort. 6 h	Disconfort. 0 h	Disconfort. 15 h	Disconfort. 13 h
-	PMV. 0.4	-	PMV. 0.4	-	PMV. 0.3
-	PPD. 8%	-	PPD. 8%	-	PPD. 7%
AU-N3 (Activ. Sedentaria)		SE-N2		A28-N2	
DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LECTIVO
-	CO2. 1029 ppm	-	CO2. 426 ppm	-	CO2. 318 ppm
-	T med. 24.2ºC	T med. 23.9ºC	T med. 24.8ºC	T med. 26.4ºC	T med. 26.4ºC
-	H med. 79%	H med. 70%	H med. 72%	H med. 76%	H med. 77%
-	Disconfort. 12 h	Disconfort. 0 h	Disconfort. 0 h	Disconfort. 2 h	Disconfort. 0 h
-	PMV. 0.2	-	PMV. 0.4	-	PMV. 1.0
-	PPD. 6%	-	PPD. 8%	-	PPD. 26%
SR-N3 (Activ. Sedentaria)				A35-N2	
DÍA LIBRE	DÍA LABORAL			DÍA LIBRE	DÍA LECTIVO
-	CO2. 339 ppm			-	CO2. 275 ppm
-	T med. 24.6ºC			T med. 26.1ºC	T med. 26.3ºC
-	H med. 76%			H med. 77%	H med. 78%
-	Disconfort. 1 h			Disconfort. 0 h	Disconfort. 3 h
-	PMV. 0.3			-	PMV. 0.7
-	PPD. 7%			-	PPD. 15%

Figura 169. Síntesis de características de cada caso, según micro escala (día tipo por espacio). Elaboración propia.

MICRO escala

OROTINA - PMO		ESPARZA - PME		PUNTARENAS - MSC	
Mediciones. Abril, 2017		Mediciones. Abril, 2017		Mediciones. Abril, 2017	
CN-N1 (A/C)		CI-N3		VE-N2	
DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LABORAL
-	CO2. 840 ppm	-	CO2. 417 ppm	-	CO2. 289 ppm
T med. 29.9ºC	T med. 26.6ºC	T med. 30.5ºC	T med. 29.7ºC	T med. 30.2ºC	T med. 29.5ºC
H med. 58%	H med. 61%	H med. 54%	H med. 63%	H med. 79%	H med. 81%
Disconfort. 12 h	Disconfort. 6 h	Disconfort. 14 h	Disconfort. 15 h	Disconfort. 24 h	Disconfort. 24 h
-	PMV. 0.8	-	PMV. 1.9	-	PMV. 1.4
-	PPD. 19%	-	PPD. 72%	-	PPD. 46%
CM-N2 (A/C)		CM-N3 (A/C)		CI-N2	
DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LABORAL	DÍA LIBRE	DÍA LABORAL
-	CO2. 513 ppm	-	CO2. 473 ppm	-	CO2. 280 ppm
T med. 30.9ºC	T med. 29.5ºC	T med. 30.7ºC	T med. 28.7ºC	T med. 30.2ºC	T med. 29.6ºC
H med. 53%	H med. 64%	H med. 56%	H med. 62%	H med. 79%	H med. 80%
Disconfort. 15 h	Disconfort. 14 h	Disconfort. 18 h	Disconfort. 3 h	Disconfort. 24 h	Disconfort. 24 h
-	PMV. 1.8	-	PMV. 1.6	-	PMV. 1.9
-	PPD. 67%	-	PPD. 56%	-	PPD. 72%
OU-N2 (A/C)					
DÍA LIBRE	DÍA LABORAL				
-	CO2. 798 ppm				
T med. 31.0ºC	T med. 27.4ºC				
H med. 54%	H med. 67%				
Disconfort. 16 h	Disconfort. 0 h				
-	PMV. 1.2				
-	PPD. 35%				

Macro escala. Los casos de estudio se distribuyen en Puntarenas, Alajuela y San José, con una variación de altitud de 900 m s.n.m. entre el asentamiento más bajo (Puntarenas al extremo Oeste), y el más alto (Santa Ana al extremo Este). En los sectores ubicados al Este, las zonas de piso premontano son absorbidas por zonas de piso basal para el 2080, lo que implica el aumento de la biotemperatura y de la evapotranspiración potencial. Desde el Oeste, se extiende el bosque seco tropical y aparece el bosque muy seco tropical para el 2080, lo que implica la aparición de la provincia de humedad semiárida en el país.

En cuanto a condiciones climáticas, las temperaturas medias son elevadas en Puntarenas, Esparza y Orotina, con valores entre 26.3ºC y 27.3ºC; y más confortables en Atenas, Ciudad Colón y Santa Ana, con valores entre 23.0ºC a 24.5ºC. Las humedades medias se mantienen entre el 74% y 78% en todas las ubicaciones, y tienden a oscilar entre el 60% y 90%, por lo que en general se debe controlar la humedad por medio de ventilación.

Meso escala. A excepción de la Escuela Central de Atenas y el Área de Salud Mora-Palmichal, los edificios se encuentran rodeados de tejido urbano denso. El contexto inmediato al Palacio Municipal de Esparza y Palacio Municipal de Orotina es el más denso, con lotes más pequeños y espacio reducido, lo que limita la oportunidad de intervención.

La Escuela Central de Atenas y la Escuela Municipal de Artes Integradas, poseen una configuración y orientación más favorables con respecto a los demás casos, al tener el eje longitudinal dispuesto en el sentido Este-Oeste. Mientras que el Área de Salud Mora-Palmichal cuenta con una configuración que podría ser favorable, pero una orientación desfavorable al estar dispuesto en el sentido Noroeste-Sureste. Los demás casos presentan una orientación menos adecuada, con el eje longitudinal en sentido Norte-Sur.

La incidencia de radiación y sombreamiento son las esperables según la orientación de los edificios. En general, los mayores valores de radiación se dan en cubiertas. Mientras que en fachadas, el menor impacto se da al Norte y Sur, y el mayor impacto al Este y Oeste. A pesar de la orientación, los edificios con auto sombreamiento, el Ministerio de Salud de Chacarita y el Palacio Municipal de Orotina, presentan menores valores de radiación solar incidente. En el caso particular del Área de Salud Mora-Palmichal, la radiación en fachadas es más uniforme debido a la rotación. En ninguno de los casos, la vegetación cercana genera sombreamiento importante.

En cuanto a ventilación, las velocidades son muy bajas en todos los casos, oscilando entre 0.5 y 1.1 m/s. Esto, sumado a la falta o mal dimensionamiento de aberturas, tanto de entrada como de salida, no permite que el aire al interior de los edificios se renueve.

Micro escala. En la mayoría de los casos la envolvente logra disminuir el impacto de las condiciones externas. Alcanzando inclusive 24 horas de bienestar en la Escuela Central de Atenas y en el

Área de Salud Mora-Palmichal, tanto en días libres como laborales, y sin el uso de aire acondicionado. Sin embargo, en Ciudad Colón, las condiciones empeoran con el uso de aire acondicionado. En los espacios de la Escuela Municipal de Artes Integradas donde la actividad es de mayor intensidad, las condiciones de disconfort se extienden considerablemente con respecto a los espacios con actividad sedentaria.

Sólo en el caso del Ministerio de Salud de Chacarita, la envolvente no atenúa las condiciones externas. Por lo que las horas de disconfort se mantienen durante todo el día, tanto al interior como al exterior, debido a la humedad del ambiente conjugada con altas temperaturas.

Para la última escala de evaluación interfiere el uso de aire acondicionado en algunos espacios del Palacio Municipal de Esparza, Palacio Municipal de Orotina y Área de Salud Mora-Palmichal. No obstante, es posible establecer algunas conclusiones:

Los espacios externos de Esparza y Orotina son los menos confortables, con 91 y 88% de insatisfechos. Esto se relaciona más a la materialidad de los puntos donde se coloca el data logger, que a las condiciones climáticas del lugar. La Escuela Central de Atenas y el Área de Salud Mora-Palmichal se mantienen como las edificaciones más confortables, con los PMV más cercanos a 0, por lo que en promedio, no se supera el 21% de insatisfechos en todos los niveles de ambos edificios.

A este punto sobresalen los casos de Puntarenas y Santa Ana. Estos representan los dos extremos del área delimitada en cuanto a ubicación y altitud. Y por lo tanto, el cambio para el 2080 de bosque seco tropical a bosque muy seco tropical en el caso de Puntarenas, y de bosque húmedo premontano a bosque seco tropical en el caso de Santa Ana. Adicionalmente, representan un ejemplo de orientación del eje longitudinal en el sentido Norte-Sur, en el caso del Ministerio de Salud de Chacarita, y Este-Oeste, en el caso de la Escuela Municipal de Artes Integradas. Así como un ejemplo de horario de oficina con actividad sedentaria, y horario extendido con actividades de intensidad variada.

Finalmente, en ambos casos no hay uso de aire acondicionado, lo que contribuye a la precisión de los datos analizados en el diagnóstico. A nivel de edificio, ambos presentan la mayor cantidad de horas de disconfort en condiciones de ocupación. La suma de estas características, hace que la continuación del estudio del Ministerio de Salud de Chacarita y la Escuela Municipal de Artes Integradas en la etapa de simulación, sea la muestra más variada de los casos de estudio analizados.

CAPÍTULO

3

SIMULACIONES Y RESULTADOS

3.1 GENERACIÓN DEL ARCHIVO CLIMÁTICO 2080

Para obtener archivos climáticos para el año 2080, se utiliza un método de proyección, a través de un modelo de serie de tiempo. Esto a partir de la desagregación de datos diarios proyectados mediante el análisis de datos históricos para las ciudades de Puntarenas y Santa Ana.

Los datos históricos provienen del IMN, los cuales son generados por medio de estaciones meteorológicas. En el caso de Puntarenas corresponden a los años entre 2001 y 2015 de la estación 78027 de Puntarenas; y en el caso de Santa Ana, corresponden a los años entre 2009 y 2016, de la estación automática 84195 del Aeropuerto de Pavas. Ambos se presentan en una periodicidad horaria.

Los datos proyectados tienen como fuente el Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI). Se utiliza el archivo de datos cesm1_cam5 (Hidalgo, H.G., Alfaro, E.J., Quesada-Montano, B., 2016). Dicho archivo se genera por medio de la corrida del modelo GCM usando diferentes métricas y variables. Los datos se presentan en una periodicidad diaria.

El proceso de generación del archivo climático para ambos casos de estudio se resume en los siguientes pasos:

1. Preparar un archivo climático base con datos horarios históricos del Instituto Meteorológico Nacional, se utiliza el periodo de años 2001-2015 para Puntarenas y 2009-2016 para Santa Ana, con cada una de las variables climáticas, temperatura, radiación, humedad, precipitación y velocidad de los vientos.

2. Para cada variable climática, se determina el promedio diario de los datos históricos provenientes del IMN y el valor del promedio se coloca en las 24 horas de cada día al que corresponde.

3. Se calcula el valor de la desviación estándar de los datos horarios de IMN con respecto al promedio diario del CIGEFI.

4. Se insertan los datos promedios diarios del CIGEFI de los años 2001 al 2015 para Puntarenas y 2009 al 2016 para Santa Ana.

5. Se desagregan los datos promedios diarios del CIGEFI, insertados anteriormente, para obtener datos horarios, esto se logra repitiendo el valor promedio diario en las 24 horas de cada día al que corresponde, al dato de cada hora se le suma la desviación estándar, obtenida anteriormente.

6. Para cada variable se calcula el promedio de las desviaciones estándar por hora, esto se realiza en todos los años de los cuales se disponen datos. La cantidad de datos obtenidos debe corresponder a la cantidad de horas que contiene un año.

7. En una nueva columna se insertan los datos promedios diarios del CIGEFI correspondientes al año 2080, para Puntarenas y Santa Ana. El valor del promedio se coloca en las 24 horas de cada día al que corresponde.

8. Se desagregan los datos promedios diarios del CIGEFI correspondientes al año 2080, para obtener datos horarios, esto se logra repitiendo el valor promedio en las 24 horas de cada día al que corresponde, al dato se le suma el promedio de las desviaciones estándar obtenida en cada hora de todos los años.

Luego de realizar este procedimiento para cada variable climática, se toman los datos resultantes para generar el archivo climático del año 2080 de Puntarenas y Santa Ana. Los archivos climáticos se utilizan para realizar las simulaciones de los modelos digitales en los escenarios futuros.

Notas:

- Se eliminan los días 29 de febrero en donde corresponda, esto para evitar alteraciones en el consecutivo vertical de los datos con la suma de 24 horas en los años bisiestos.
- Al insertar datos promedios diarios, el valor debe ser el mismo para las 24 horas del día al que corresponde.
- Se trabaja cada variable de manera independiente sobre el machote una vez creado.

De este método también se obtienen los datos para la creación de herramientas utilizadas para evaluar el confort higrotérmico en el año

2080.

Para efectos de la investigación interesan los datos resultantes del año 2080 para construir los archivos climáticos de las dos zonas de estudio con base en los escenarios proyectados por Jiménez, M. (2009). Sin embargo, es posible obtener datos proyectados de cualquier otro año y para cualquier ciudad de Costa Rica, siempre y cuando se cuente con la información necesaria.

A continuación se realiza un breve análisis comparativo de los resultados obtenidos para el 2080, en relación a los datos climáticos actuales del IMN (refiérase al capítulo 2, secciones 2.1.1 Santa Ana y 2.1.6 Puntarenas). Esto con el fin de dar a entender los cambios proyectados para cada caso, así como sus implicaciones en cuanto al confort higrotérmico.

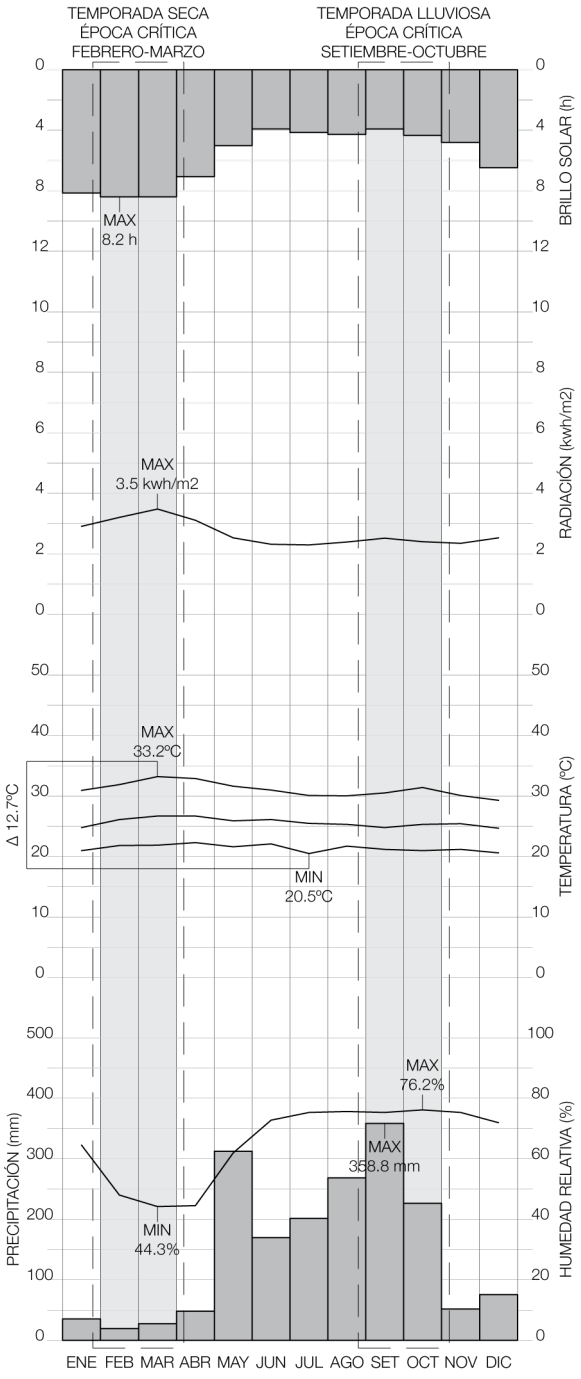


Figura 170. Climograma de columnas, Santa Ana 2080. Elaboración propia con datos desagregados del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI).

3.1.1 SANTA ANA 2080

Temperatura y radiación. En el caso de Santa Ana, la temperatura mínima aumenta en 2.4ºC con respecto al 2015. Se proyecta para el mes de julio con 20.5ºC, mientras que la radiación mínima se extiende durante los meses de junio, julio y noviembre, con 2.3 kwh/m2.

La temperatura máxima aumenta en 4.6ºC con respecto al 2015. Se proyecta para el mes de marzo, con 33.2ºC, al igual que la mayor incidencia de radiación, con 3.5 kwh/m2.

La temperatura media anual aumenta en 2.7ºC, siendo de 25.6ºC. El rango de oscilación es 2.2ºC mayor que el actual, alcanzando los 12.7ºC.

Marzo es el mes con mayor oscilación de temperaturas, con un rango de 11.3ºC, mientras que agosto es el mes con menor oscilación, con un rango de 8.3ºC.

Vientos. La velocidad media anual de los vientos se proyecta en 7.0 m/s, que corresponde a vientos muy fuertes en la escala Beaufort de la fuerza de los vientos. Predominan los provenientes del Este durante todo el año.

Las menores velocidades se dan en el mes de junio, con 4.5 m/s. Mientras que las mayores velocidades coinciden con la época seca, con 10.6 m/s en el mes de febrero.

Precipitación y humedad. La humedad mínima disminuye en 22.4 puntos porcentuales con respecto al 2015. Se proyecta para el mes de marzo, con 44.3%, mientras que la precipitación mínima se proyecta para el mes de febrero, con 19.9 mm.

La humedad máxima disminuye 7.9 puntos porcentuales con respecto al 2015. Se proyecta para el mes de octubre, con 76.2%, mientras que la precipitación máxima se proyecta para el mes de setiembre, con 358.8 mm.

La humedad media disminuye en 9.8 puntos porcentuales, siendo de 65.5%. El rango de oscilación es 14.5 puntos porcentuales mayor que el actual, alcanzando los 31.9 puntos porcentuales.

Climograma de bienestar adaptado (CBA). Para determinar los rangos de confort higrotérmico se utiliza nuevamente el CBA, herramienta que relaciona los parámetros climáticos y del usuario que inciden en la sensación térmica.

En el caso de Santa Ana, se mantiene la combinación actividad de moderada, con un met de 3.33 y un clo de 0.7, y actividad sedentaria, con un met de 1.22 y un clo de 0.7, según la norma ISO 7730-2005. Se identifica un área de bienestar en la cual aumentan las temperaturas, oscilando entre 23.7ºC y 29.7ºC, con un 20% de humedad relativa, y 23.1ºC y 27.1ºC, con un 80% de humedad relativa.

De acuerdo al gráfico, Santa Ana presenta condiciones dentro del área de bienestar en algún momento de todos los meses del año. Sin embargo los rangos de oscilación de las temperaturas se extienden más allá de la zona de bienestar, y en algunos meses la humedad supera el 80%.

A lo largo del año, las condiciones de bienestar con el 10% de insatisfechos, se dan únicamente antes de las 10 a.m. Durante las tardes se requiere de ventilación para regular la sensación higrotérmica, a partir de las 12 p.m. La necesidad de ventilación continua se triplica, y desaparece la necesidad de radiación durante las madrugadas.

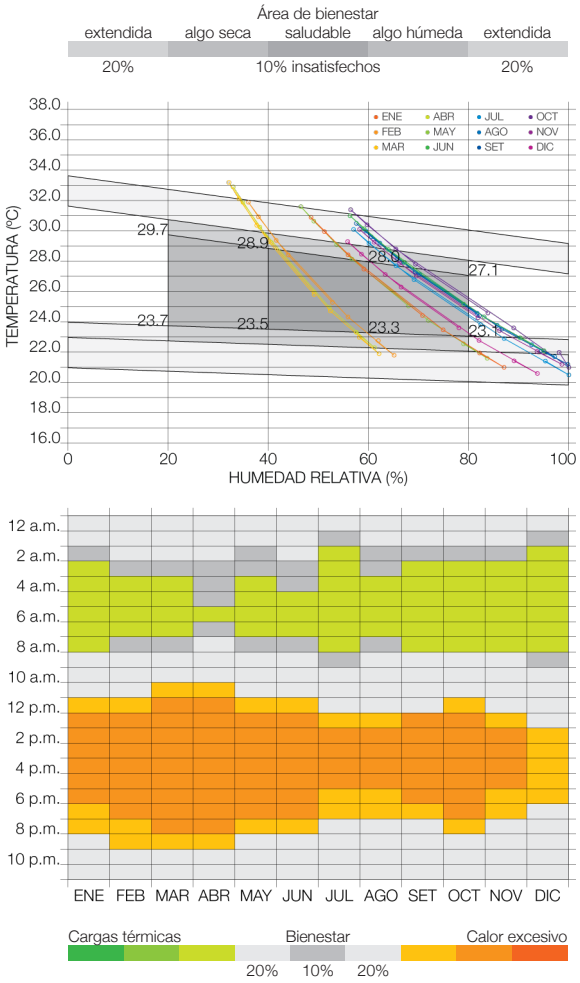


Figura 171. Climograma de bienestar adaptado (arriba). Elaboración propia con datos del CIGEFI.

Figura 172. Gráfico de isopletas (abajo). Elaboración propia con datos del CIGEFI.

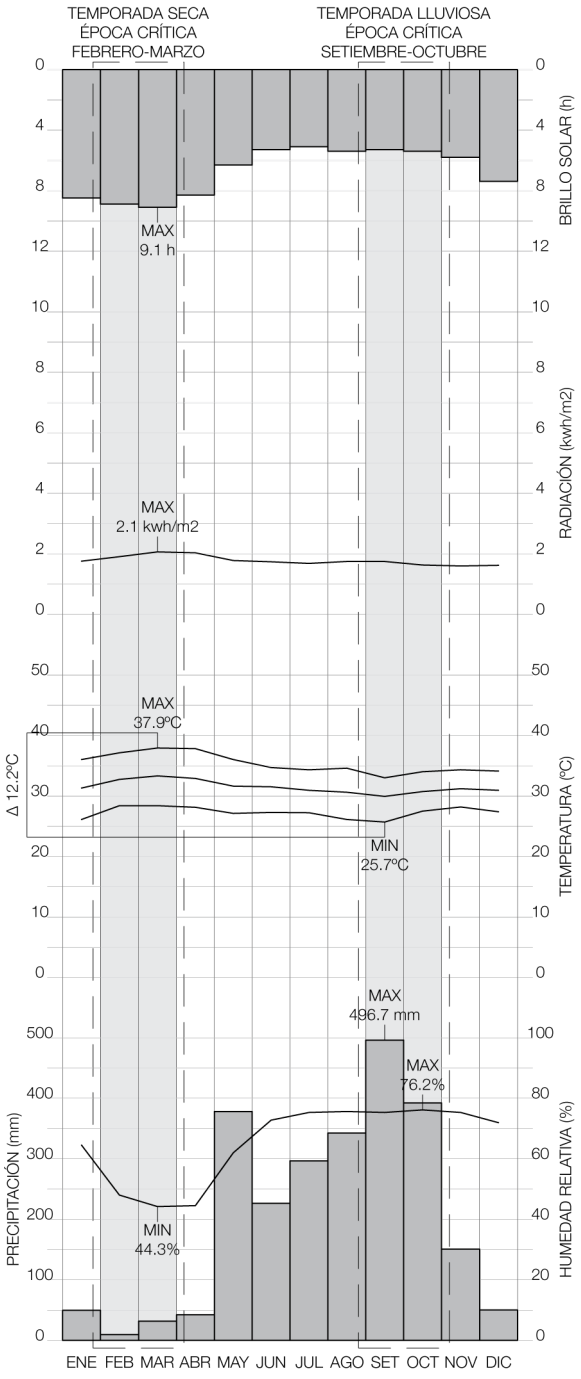


Figura 173. Climograma de columnas, Puntarenas 2080. Elaboración propia con datos desagregados del Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI).

3.1.2 PUNTARENAS 2080

Temperatura y radiación. En el caso de Puntarenas, la temperatura mínima aumenta en 2.3ºC con respecto al 2015. Se proyecta para el mes de setiembre con 25.7ºC, mientras que la radiación mínima se extiende durante los meses de octubre a diciembre, con 1.6 kwh/m2.

La temperatura máxima aumenta en 6.3ºC con respecto al 2015. Se proyecta para el mes de marzo, con 37.9ºC, al igual que la mayor incidencia de radiación, con 2.1 kwh/m2.

La temperatura media anual aumenta en 4.5ºC, siendo de 31.5ºC. El rango de oscilación es 4.0ºC mayor que el actual, alcanzando los 12.2ºC.

Enero es el mes con mayor oscilación de temperaturas, con un rango de 9.9ºC, mientras que noviembre es el mes con menor oscilación, con un rango de 6.2ºC.

Vientos. La velocidad media anual de los vientos se proyecta en 2.9 m/s, que corresponde a vientos muy ligeros en la escala Beaufort de la fuerza de los vientos. Predominan los provenientes del Sur durante todo el año.

Las menores velocidades se dan en el mes de junio, con 1.9 m/s. Mientras que las mayores velocidades coinciden con la época seca, con 4.5 m/s en el mes de febrero.

Precipitación y humedad. La humedad mínima disminuye en 22.3 puntos porcentuales con respecto al 2015. Se proyecta para el mes de marzo, con 44.3%, mientras que la precipitación mínima se proyecta para el mes de febrero, con 9.4 mm.

La humedad máxima disminuye 8.8 puntos porcentuales con respecto al 2015. Se proyecta para el mes de octubre, con 76.2%, mientras que la precipitación máxima se proyecta para el mes de setiembre, con 496.7 mm.

La humedad media disminuye en 11.6 puntos porcentuales, siendo de 65.5%. El rango de oscilación es 13.5 puntos porcentuales mayor que el actual, alcanzando los 31.9 puntos porcentuales.

Climograma de bienestar adaptado (CBA). Para determinar los rangos de confort higrotérmico se utiliza nuevamente el CBA, herramienta que relaciona los parámetros climáticos y del usuario, que inciden en la sensación térmica.

En el caso de Puntarenas, se mantiene un met de 1.22 y un clo de 0.7, para actividad sedentaria de oficina según la norma ISO 7730-2005. Se mantiene el área de bienestar, delimitada por temperaturas que oscilan entre 26.0ºC y 32.5ºC, con un 20% de humedad relativa, y 24.6ºC y 28.2ºC, con un 80% de humedad relativa.

De acuerdo al gráfico, Puntarenas se ubica fuera del área de bienestar casi en la totalidad del año. Principalmente debido a temperaturas muy altas durante todo el año, y a humedades superiores al 80% en la época lluviosa.

A lo largo del año, las condiciones de bienestar, con el 20% de insatisfechos, se dan únicamente durante las primeras horas del día. A partir de las 10 a.m., se requiere de ventilación para regular la sensación higrotérmica. De enero a mayo, a partir de las 12 m.d., el calor resulta excesivo.

Adicionalmente, aparece el calor excesivo y la necesidad de ventilación continua. Desaparece la zona de bienestar saludable, por lo que nunca hay menos del 20% de insatisfechos.

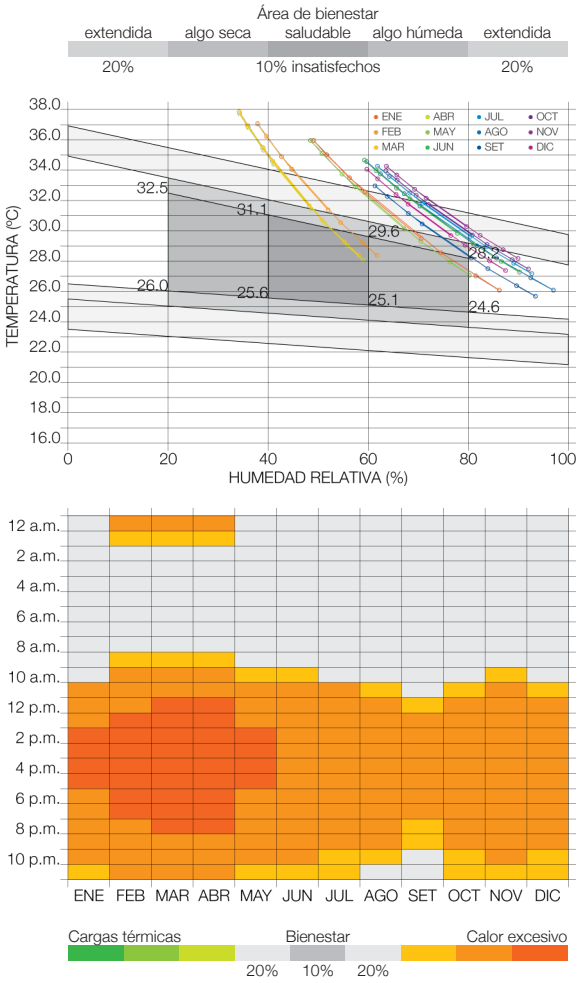


Figura 174. Climograma de bienestar adaptado (arriba). Elaboración propia con datos del CIGEFI.

Figura 175. Gráfico de isopletas (abajo). Elaboración propia con datos del CIGEFI.

3.2 MODELADO Y CALIBRACIÓN

3.2.1 ESCUELA MUNICIPAL DE ARTES INTEGRADAS (EMAI), SANTA ANA

De forma inicial se eligen las zonas térmicas para calibrar el modelo digital con el comportamiento real del edificio. Para ello se utilizan los datos de los espacios monitoreados en la etapa de análisis.

Se elabora un modelo tridimensional para el análisis térmico en el software de simulación Design Builder. En este modelo se ingresan los datos climáticos y los componentes externos que tienen un impacto sobre el edificio y las zonas térmicas definidas.

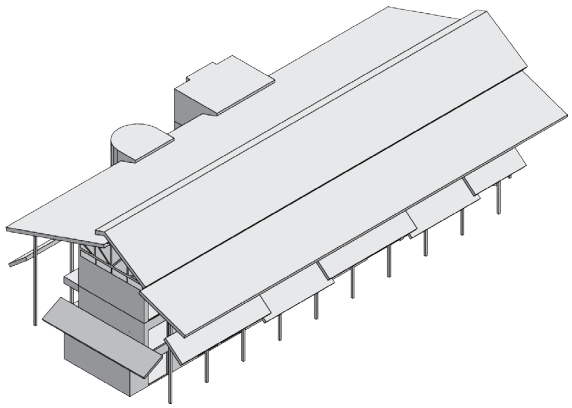


Figura 176. Modelo de calibración, EMAI 2015. Elaboración propia.

Mediante una simulación inicial, se procede a calibrar el comportamiento de las zonas térmicas utilizando como referencia los datos de las mediciones prolongadas durante un día tipo. Dicha calibración se logra adaptando elementos dentro del programa, con el fin de simular el comportamiento real en los gráficos generados.

Los datos resultantes se evalúan mediante hojas de cálculo, para determinar las horas del día que se encuentran dentro de los rangos de bienestar determinados por el CBA (Capítulo 2, sección 2.1.1 Santa Ana).

La curva de temperatura exterior corresponde a los datos suministrados por el IMN, mientras que la curva de temperatura interior refleja el comportamiento de la zona térmica en el modelo digital. La curva del día tipo, corresponde al comportamiento monitoreado durante las mediciones prolongadas.

Resultados. Como resultado, se logra que el comportamiento de la simulación en el software sea similar a la de las mediciones prolongadas. En el caso del EMAI, todas las zonas térmicas analizadas presentan una temperatura superior a la externa durante la mayor parte de las horas del día. Únicamente entre 9 a.m. y 2 p.m. la temperatura interna es menor que la externa.

Para un espacio ubicado en el primer nivel, AD-N1, las condiciones son de confort durante las 24 horas del día. Con 16 horas en condiciones algo húmedas para la salud pero térmicamente aceptables, antes de las 9 a.m. y a partir de las 5 p.m.

Para un espacio ubicado en el tercer nivel, AU-N3, las condiciones son de confort durante 17 horas del día. Con 15 horas en condiciones algo húmedas para la salud pero térmicamente aceptables, antes de las 9 a.m. y a partir de las 6 p.m.

Conclusiones. El edificio en general presenta 16 horas en condiciones de bienestar entre 7 p.m. y 11 a.m., con condiciones algo húmedas para la salud durante 14 de esas horas. Durante el 60% del horario de ocupación las condiciones son de disconfort, principalmente después del medio día.

Esto implica que ante las condiciones climáticas proyectadas para Santa Ana en el año 2080, la situación empeora de forma considerable. La simulación del edificio en su condición actual, pero con los datos del 2080, muestra que la temperatura interna supera la externa durante la mayor parte del día, por lo que la envolvente del edificio no genera protección en su interior.

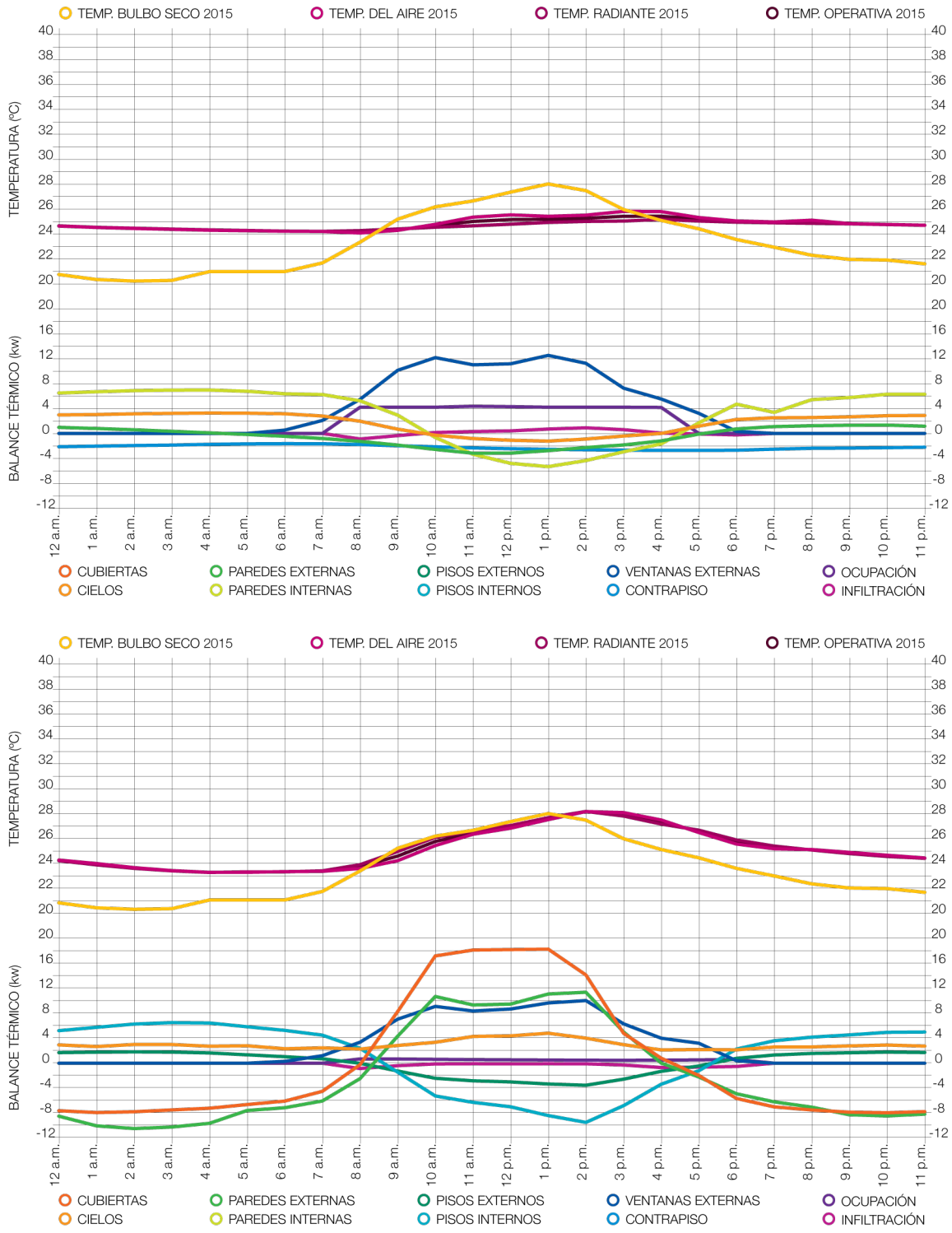


Figura 177. Calibración de espacios AD-N1 (arriba) y AU-N3 (abajo) con datos climáticos del 2015. Elaboración propia.

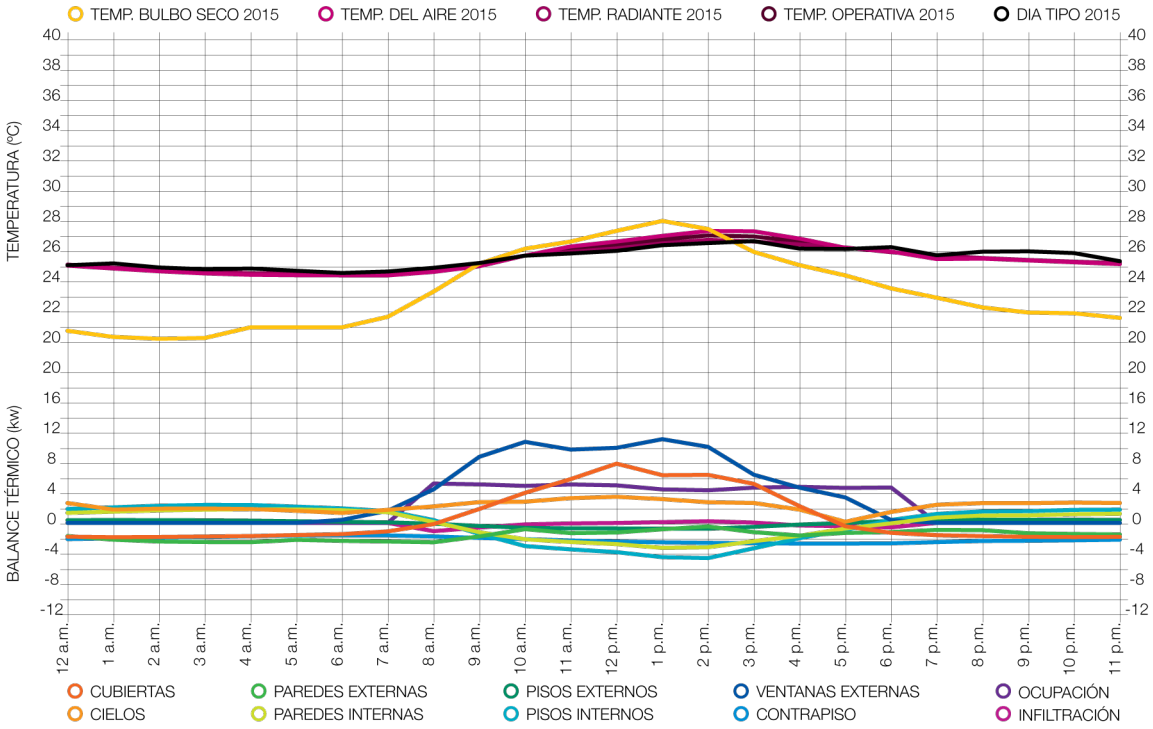


Figura 178. Calibración del modelo con datos climáticos del 2015. Elaboración propia.

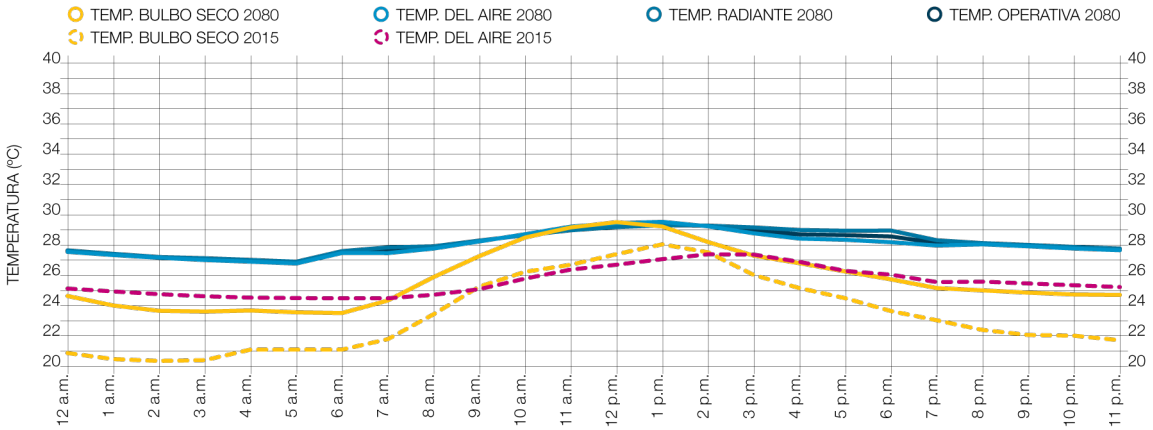


Figura 179. Simulación del modelo calibrado con datos climáticos del 2080. Elaboración propia.

3.2.2 MINISTERIO DE SALUD DE CHACARITA (MSC), PUNTARENAS

De forma inicial se eligen las zonas térmicas para calibrar el modelo digital con el comportamiento real del edificio. Para ello se utilizan los datos de los espacios monitoreados en la etapa de análisis.

Se elabora un modelo tridimensional para el análisis térmico en el software de simulación Design Builder. En este modelo se ingresan los datos climáticos y los componentes externos que tienen un impacto sobre el edificio y las zonas térmicas definidas. En el caso de MSC estos elementos son dos bodegas en la fachada Norte.

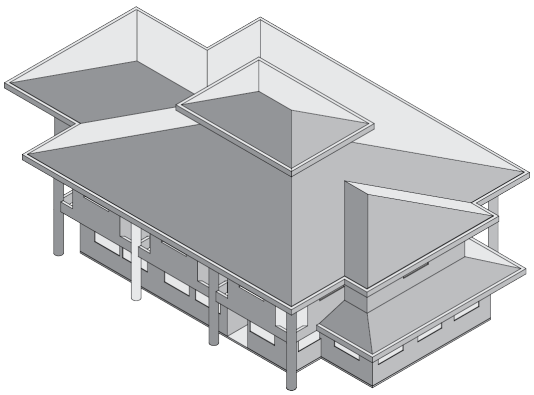


Figura 180. Modelo de calibración, MSC 2015. Elaboración propia.

Mediante una simulación inicial, se procede a calibrar el comportamiento de las zonas térmicas utilizando como referencia los datos de las mediciones prolongadas durante un día tipo. Dicha calibración se logra adaptando elementos dentro del programa, con el fin de simular el comportamiento real en los gráficos generados.

Los datos resultantes se evalúan mediante hojas de cálculo, para determinar las horas del día que se encuentran dentro de los rangos de bienestar determinados por el CBA (Capítulo 2, sección 2.1.6 Puntarenas).

La curva de temperatura exterior corresponde a los datos suministrados por el IMN, mientras que la curva de temperatura interior refleja el comportamiento de la zona térmica en el modelo digital. La curva del día tipo, corresponde al comportamiento monitoreado durante las mediciones prolongadas.

Resultados. Como resultado, se logra que el comportamiento de la simulación en el software sea similar a la de las mediciones prolongadas. En el caso del MSC durante un día tipo en el momento más crítico del mes de abril, todas las zonas térmicas analizadas presentan una temperatura superior a la externa durante las horas de ocupación.

Para un espacio ubicado en el primer nivel, CI-N1, las condiciones son de disconfort durante las 24 horas del día.

Para un espacio ubicado en el segundo nivel, VE-N2, las condiciones son de confort durante sólo 1 hora, a las 7 a.m., con condiciones algo húmedas para la salud pero térmicamente aceptables.

Conclusiones. El edificio en general presenta 12 horas en condiciones de bienestar entre 9 p.m. y 9 a.m., con condiciones algo húmedas para la salud durante 11 de esas horas. Durante el 80% del horario de ocupación las condiciones son de disconfort.

Esto implica que ante las condiciones climáticas proyectadas para Puntarenas en el año 2080, la situación empeora de forma considerable. La simulación del edificio en su condición actual, pero con los datos del 2080, muestra que la temperatura interna supera la externa durante la mayor parte del día; por lo que la envolvente del edificio no genera protección en su interior.

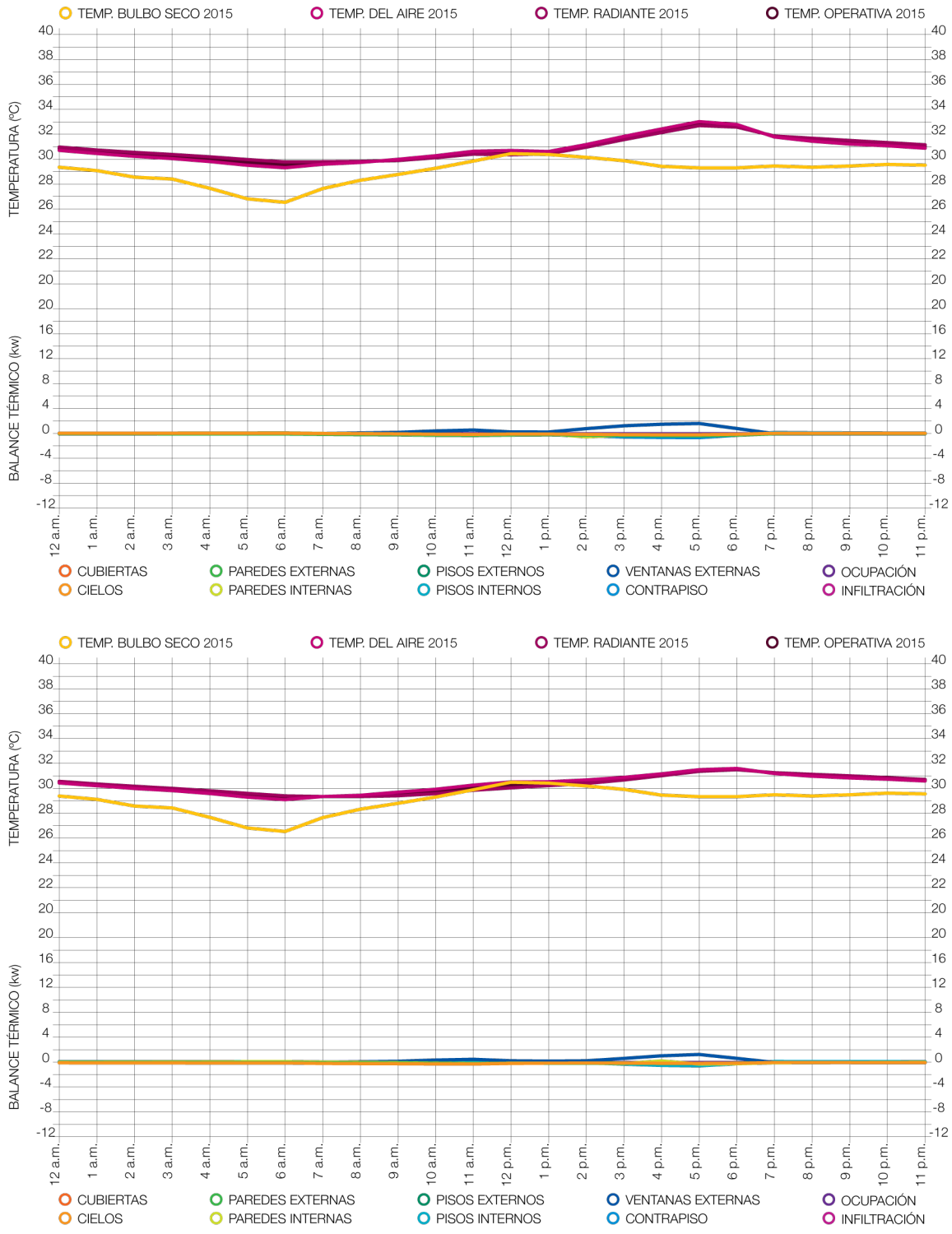


Figura 181. Calibración de espacios CI-N1 (arriba) y VE-N2 (abajo) con datos climáticos del 2015. Elaboración propia.

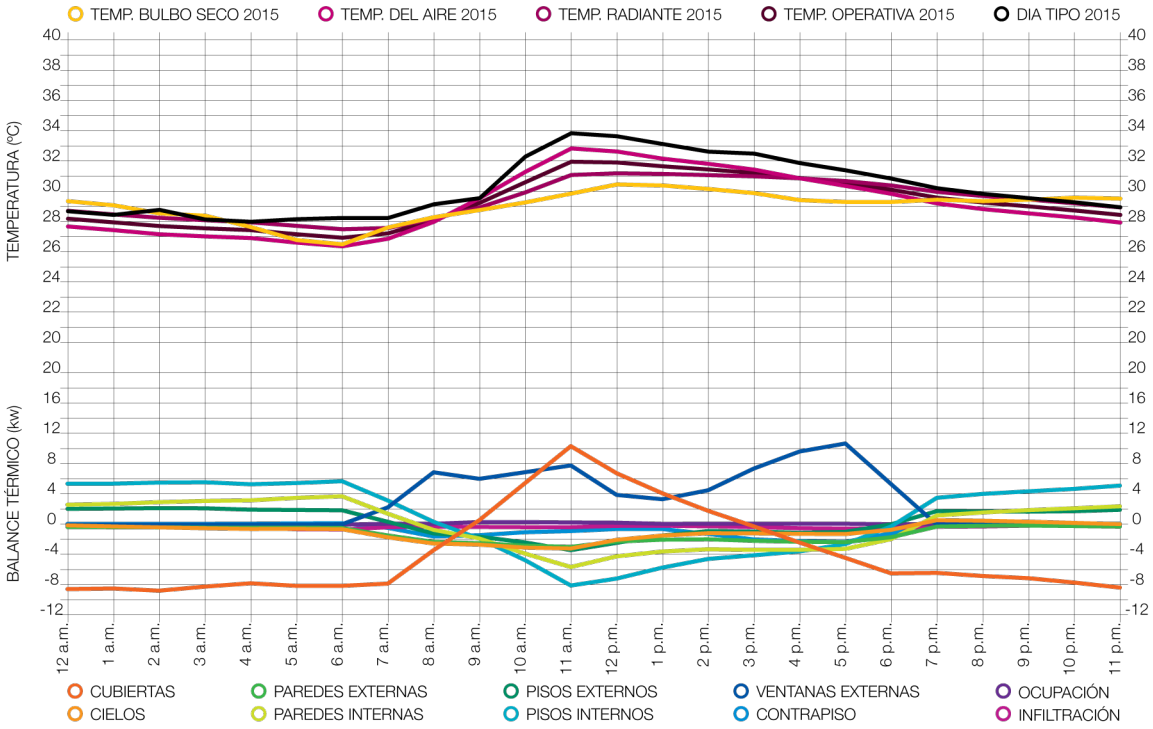


Figura 182. Calibración del modelo con datos climáticos del 2015. Elaboración propia.

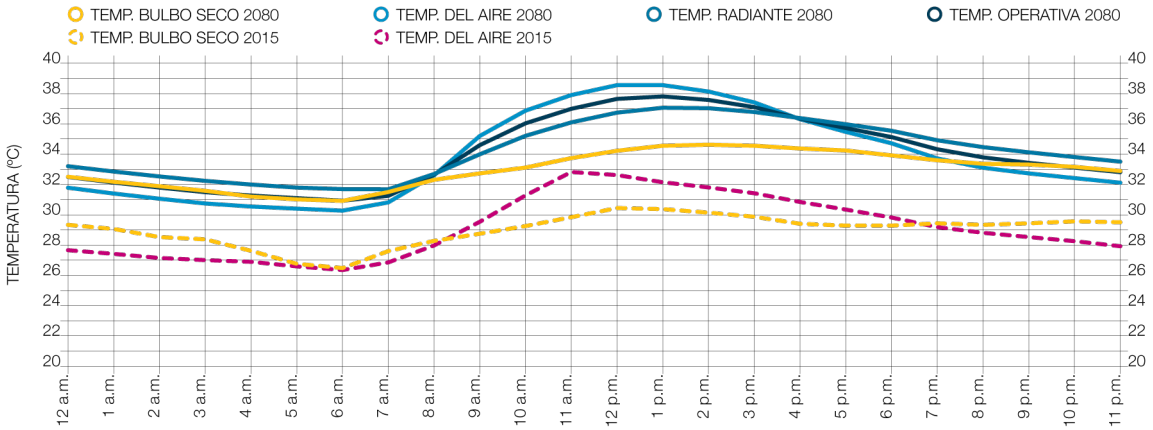


Figura 183. Simulación del modelo calibrado con datos climáticos del 2080. Elaboración propia.

3.3 PROPUESTA DE ADAPTACIÓN 2080

3.3.1 ESCUELA MUNICIPAL DE ARTES INTEGRADAS (EMAI), SANTA ANA

La propuesta de adaptación consiste en una alteración aplicable al edificio en su condición actual, pero en el escenario 2080. No se pretende alterar drásticamente la configuración, distribución o la estructura del edificio. Sino que consiste en la intervención de las capas de materialidad de la envolvente, así como la sustracción o sustitución de algunos elementos.

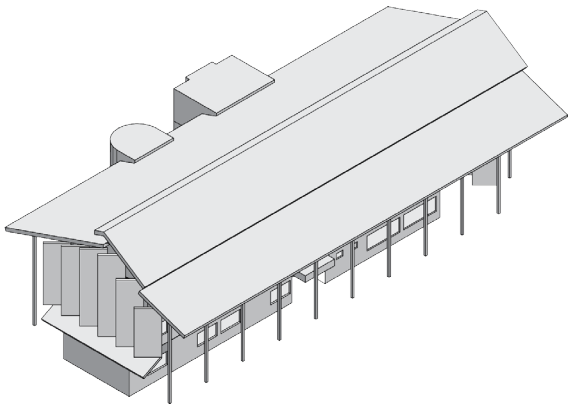


Figura 184. Propuesta de adaptación moderada, EMAI 2080. Elaboración propia.

Los datos resultantes se evalúan mediante hojas de cálculo, para determinar las horas del día que se encuentran dentro de los rangos de bienestar determinados por el CBA para el 2080.

En el caso del EMAI, se realizan las siguientes modificaciones:

- Colocación de cielos en cubierta y aleros, y creación de aberturas, con el fin de disipar el calor almacenado entre la cubierta y los cielos del tercer nivel.
- Eliminación de aleros ubicados en segundo nivel, para disminuir el calor que irradian a fachadas. Además de la adaptación de la cubierta, utilizando como referencia los ángulos solares de 13.5° hacia el Norte y 33.5° hacia el Sur.
- Diseño de elementos de protección solar en la fachada Este, los cuales también inciden sobre parte de la ventanería de fachadas Norte y Sur.
- Modificación de dimensiones de buques de ventanería externa, para reducir la incidencia directa de radiación a los espacios.
- Aumento de las aberturas en ventanería para generar ventilación en espacios internos.
- Aumento de la masa térmica de la envolvente, para reducir la transmisión de calor hacia el interior de los espacios.
- Sustitución de cielos por una losa de concreto, en el tercer nivel, para reducir la transmisión de calor generada por las cubiertas.
- Cambios de materialidad en pisos, generando una capa de aire entre la losa de entrepiso y el acabado.

Resultados. Para un espacio ubicado en el primer nivel, AD-N1, las condiciones son de confort durante las 24 horas del día. Con 9 horas en condiciones algo secas para la salud pero térmicamente aceptables, entre 8 a.m. y 4 p.m.

Para un espacio ubicado en el tercer nivel, AU-N3, las condiciones de confort se mantienen

ZONA DE BIENESTAR ALGO SECA																					
T MAX (ºC)	29.7	29.7	29.6	29.6	29.5	29.5	29.5	29.4	29.4	29.3	29.3	29.3	29.2	29.2	29.1	29.1	29.1	29.0	29.0	28.9	28.9
T MIN (ºC)	23.7	23.7	23.7	23.7	23.7	23.7	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.6	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5
H MED (%)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
ZONA DE BIENESTAR SALUDABLE																					
T MAX (ºC)	28.9	28.9	28.8	28.8	28.7	28.7	28.6	28.6	28.5	28.5	28.5	28.4	28.4	28.3	28.3	28.2	28.2	28.1	28.1	28.0	28.0
T MIN (ºC)	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3
H MED (%)	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
ZONA DE BIENESTAR ALGO HÚMEDA																					
T MAX (ºC)	28.0	28.0	27.9	27.9	27.8	27.8	27.7	27.7	27.6	27.6	27.6	27.5	27.5	27.4	27.4	27.3	27.3	27.2	27.2	27.1	27.1
T MIN (ºC)	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.3	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1
H MED (%)	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80

Figura 185. Zonas de bienestar determinadas por el CBA para el 2080 (refiérase al capítulo 3, sección 3.1.1 Santa Ana 2080). Elaboración propia.

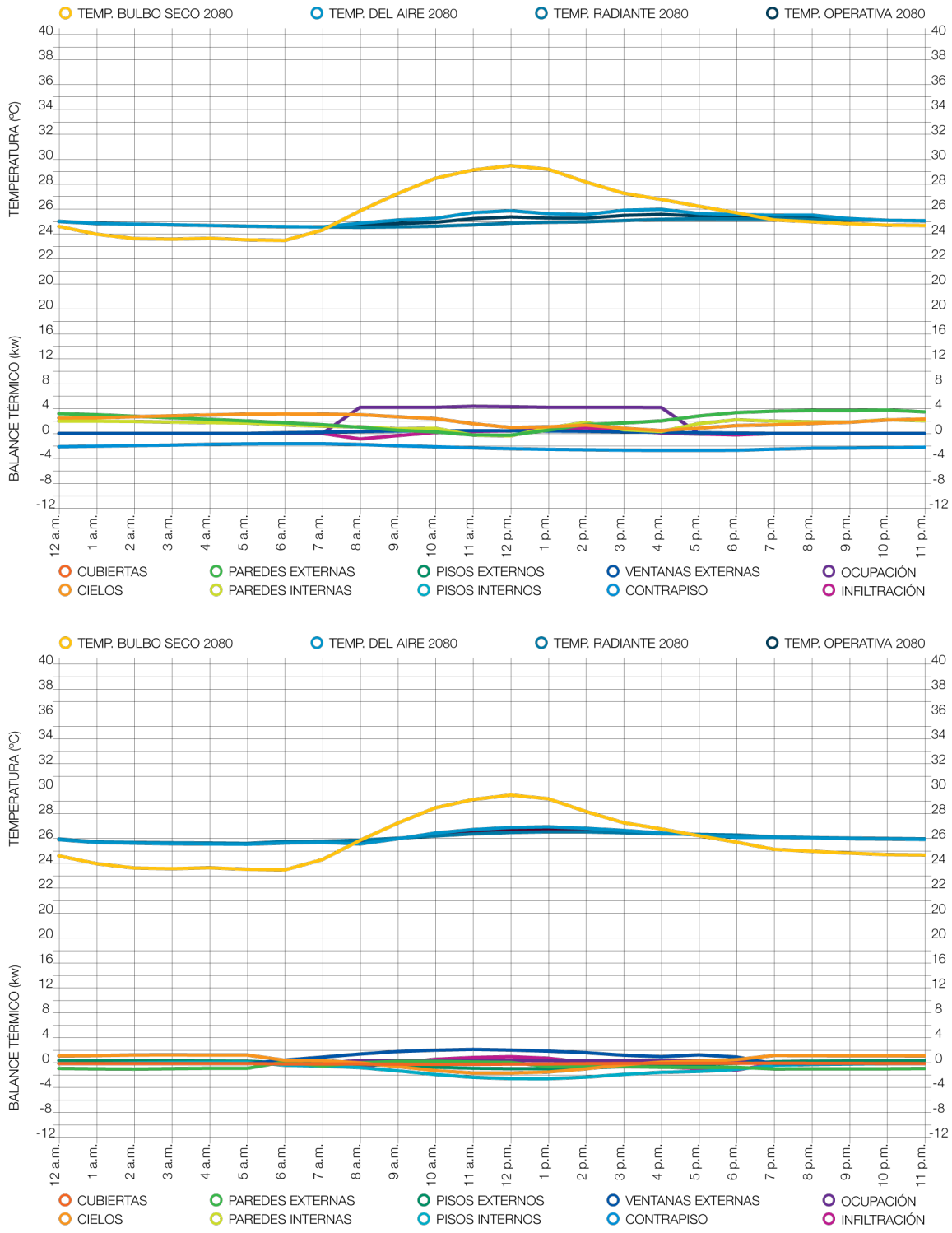


Figura 186. Simulación de espacios en propuesta de adaptación moderada, AD-N1 (arriba) y AU-N3 (abajo), con datos climáticos del 2080. Elaboración propia.

con 24 horas de confort, de las cuales 9 presentan condiciones algo secas para la salud pero térmicamente aceptables, entre 8 a.m. y 4 p.m.

Las estrategias pasivas tradicionales aplicadas permiten mantener el edificio con una temperatura interna por debajo de la externa entre 8 a.m. y 4 p.m., con una diferencia de 2.5°C con respecto a la máxima exterior. Como resultado de las intervenciones, la disminución de calor por ventanería externa, cielos y cubiertas, es notable.

Esto se refleja en el incremento de las horas de bienestar a nivel general. El edificio presenta 24 horas en condiciones de bienestar. Con condiciones algo secas para la salud durante 9 de esas horas, entre 8 a.m. y 4 p.m.

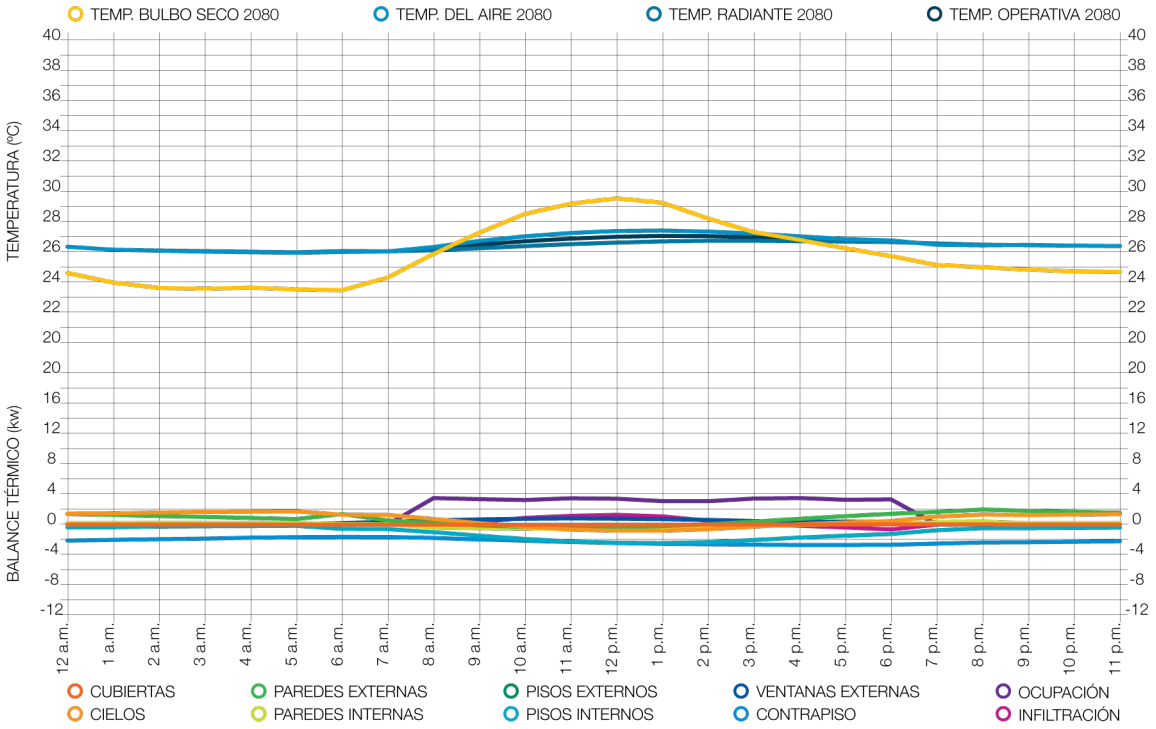


Figura 187. Simulación de propuesta de adaptación moderada, con datos climáticos del 2080. Elaboración propia.

3.3.2 MINISTERIO DE SALUD DE CHACARITA (MSC), PUNTARENAS

La propuesta de adaptación consiste en una alteración aplicable al edificio en su condición actual, pero en el escenario 2080. No se pretende alterar drásticamente la configuración, distribución o la estructura del edificio. Sino que consiste en la intervención de las capas de materialidad de la envolvente, así como la sustracción o sustitución de algunos elementos.

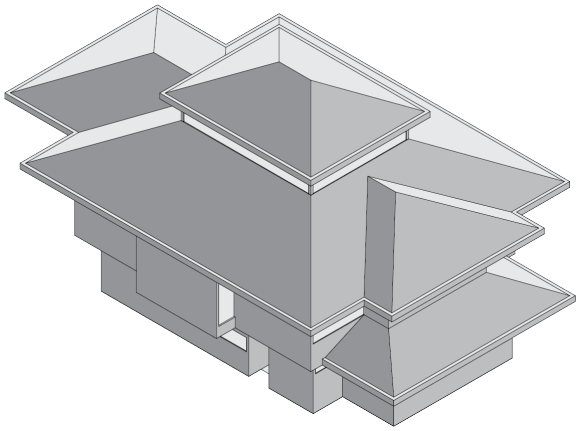


Figura 188. Propuesta de adaptación moderada, MSC 2080. Elaboración propia.

Los datos resultantes se evalúan mediante hojas de cálculo, para determinar las horas del día que se encuentran dentro de los rangos de bienestar determinados por el CBA para el 2080.

En el caso del MSC, se realizan las siguientes modificaciones:

- Modificación de la pendiente en cubierta, de un 25% a un 45% con el fin de mitigar la ganancia de calor.
- Proyección de aleros alrededor del edificio, utilizando como referencia el ángulo de inclinación solar de 33.5° para la fachada Sur.
- Proyección del volumen del nivel superior, para generar auto sombreamiento del edificio hacia el nivel inferior.
- Ampliación del vacío y área central de circulación, con el fin de aumentar el volumen de aire.
- Aumento de la masa térmica de la envolvente, para reducir la transmisión de calor hacia el interior de los espacios.
- Hermetización del edificio, mediante la eliminación de la infiltración de aire y aperturas en ventanería.
- Cambios de materialidad en pisos, paredes, cielos y cubiertas.
- Modificación de dimensiones y eliminación de buques de ventanería externa, adaptándolos para aprovechar el sombreamiento de aleros y volumen del segundo nivel. Se eliminan ventanas en fachadas Este y Oeste para reducir las ganancias térmicas por radiación.

Resultados. Para un espacio ubicado en el primer nivel, CI-N1, las condiciones son de confort durante sólo 2, entre 1 y 3 p.m., con condiciones de bienestar saludables.

Para un espacio ubicado en el segundo nivel, VE-N2, las condiciones de confort se mantienen con sólo 2 horas en condiciones de bienestar saludable, entre 1 y 3 p.m.

Las estrategias pasivas tradicionales aplicadas permiten mantener el edificio con una tempe-

ZONA DE BIENESTAR ALGO SECA																					
T MAX (ºC)	32.5	32.4	32.4	32.3	32.2	32.2	32.1	32.0	31.9	31.9	31.8	31.7	31.7	31.6	31.5	31.5	31.4	31.3	31.2	31.2	31.1
T MIN (ºC)	26.0	26.0	26.0	25.9	25.9	25.9	25.9	25.9	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	25.6	25.6	25.6
H MED (%)	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
ZONA DE BIENESTAR SALUDABLE																					
T MAX (ºC)	31.1	31.0	31.0	30.9	30.8	30.7	30.7	30.6	30.5	30.4	30.4	30.3	30.2	30.1	30.1	30.0	29.9	29.8	29.8	29.7	29.6
T MIN (ºC)	25.6	25.6	25.6	25.5	25.5	25.5	25.5	25.4	25.4	25.4	25.4	25.3	25.3	25.3	25.3	25.2	25.2	25.2	25.2	25.1	25.1
H MED (%)	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
ZONA DE BIENESTAR ALGO HÚMEDA																					
T MAX (ºC)	29.6	29.5	29.5	29.4	29.3	29.3	29.2	29.1	29.0	29.0	28.9	28.8	28.8	28.7	28.6	28.6	28.5	28.4	28.3	28.3	28.2
T MIN (ºC)	25.1	25.1	25.1	25.0	25.0	25.0	25.0	24.9	24.9	24.9	24.9	24.8	24.8	24.8	24.8	24.7	24.7	24.7	24.7	24.6	24.6
H MED (%)	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80

Figura 189. Zonas de bienestar determinadas por el CBA para el 2080 (refiérase al capítulo 3, sección 3.1.2 Puntarenas 2080). Elaboración propia.

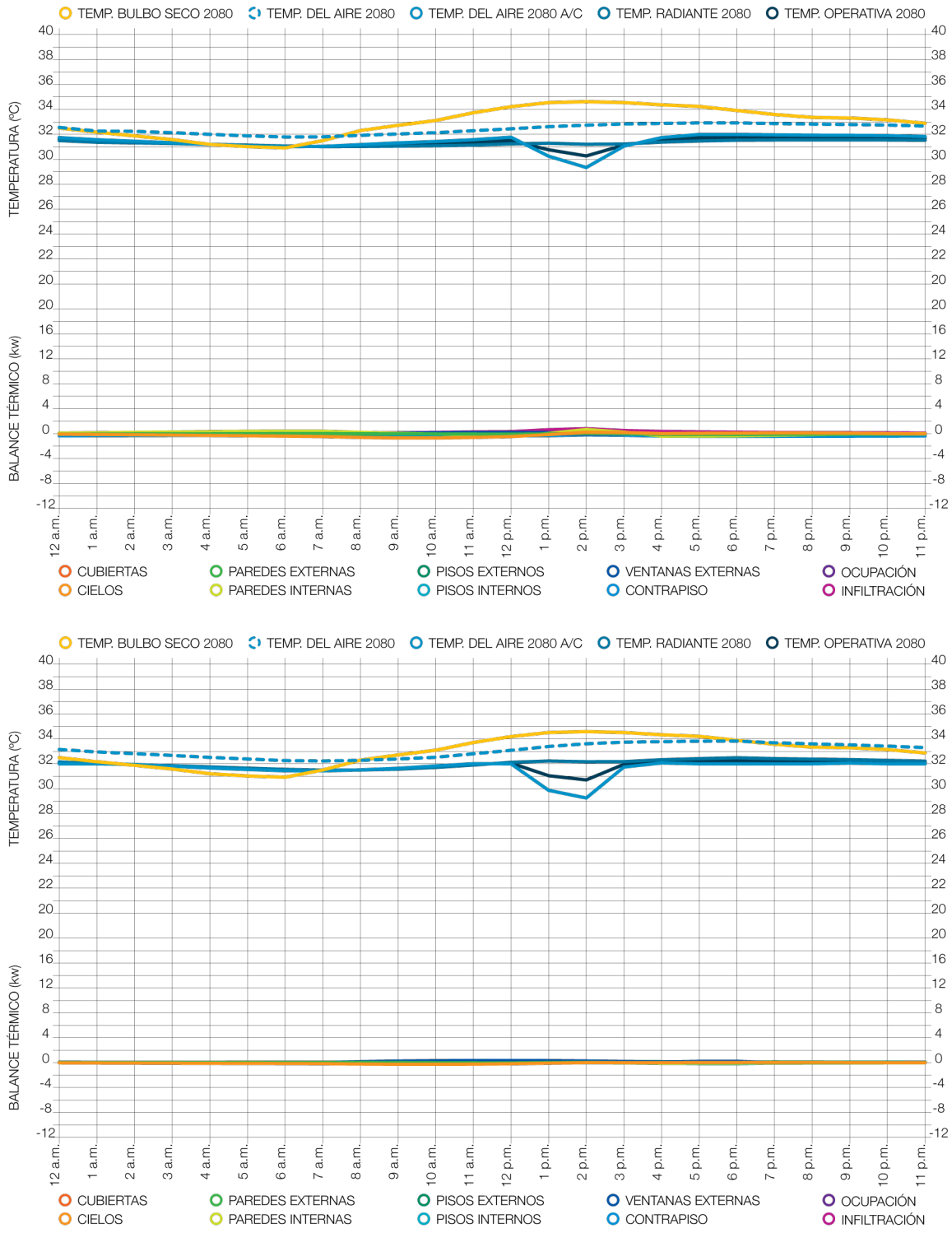


Figura 190. Simulación de espacios en propuesta de adaptación moderada, CI-N1 (arriba) y VE-N2 (abajo), con datos climáticos del 2080. Elaboración propia.

ratura interna por debajo de la externa antes de la 1 p.m. y después de las 6 p.m. Sin embargo, las condiciones de disconfort se mantienen durante la mayor parte del día. Por lo tanto se propone el uso de aire acondicionado, durante 1 a 2 horas al día, para contrarrestar las horas críticas.

El resultado son 8 horas en condiciones de confort a nivel de edificio. Sin embargo esto sólo coincide con el horario de ocupación entre 7 y 9 a.m. y entre 1 y 3 p.m. Ante un escenario tan crítico las estrategias pasivas tradicionales no son suficientes.

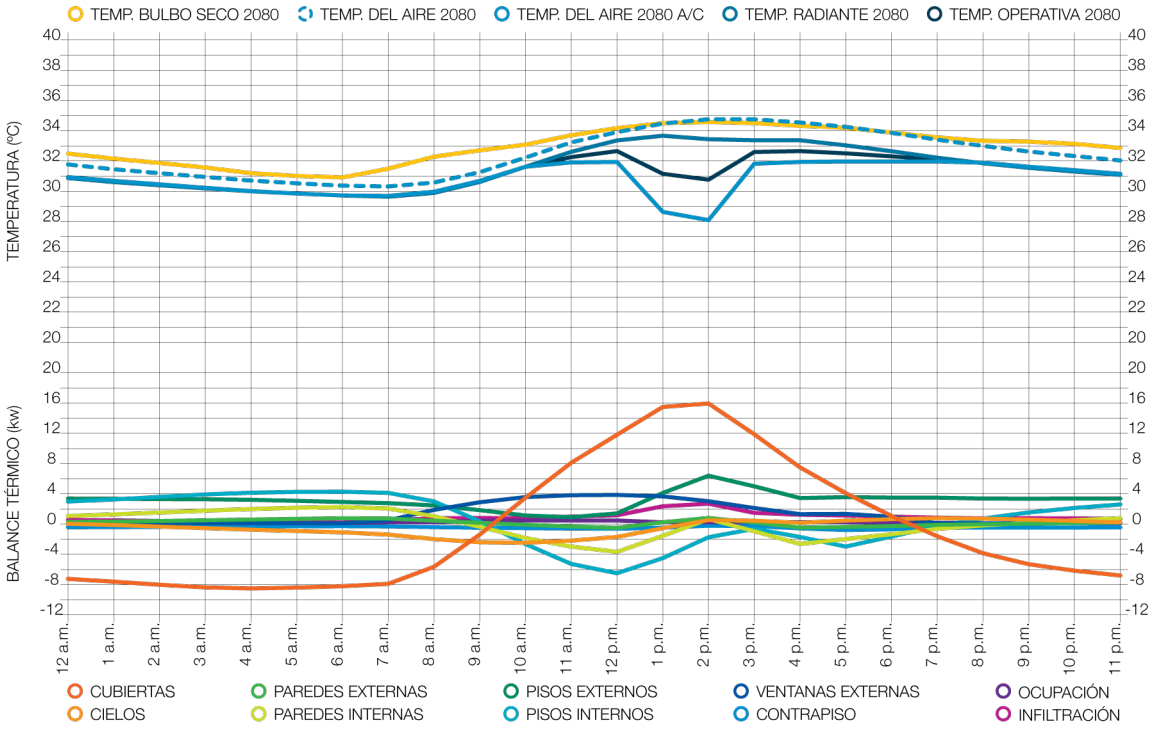


Figura 191. Simulación de propuesta de adaptación moderada, con datos climáticos del 2080. Elaboración propia.

3.4 PROPUESTA DE REDISEÑO 2080

3.4.1 ESCUELA MUNICIPAL DE ARTES INTEGRADAS (EMAI), SANTA ANA

La propuesta de rediseño consiste en la reconfiguración del diseño del edificio, para mejorar el confort por medio de estrategias de arquitectura bioclimática. En este caso, se altera la orientación, configuración, distribución y estructura del edificio. Además de la modificación de las capas de la envolvente, y la sustracción o sustitución de algunos elementos.

Los datos resultantes se evalúan mediante hojas de cálculo, para determinar las horas del día que se encuentran dentro de los rangos de bienestar determinados por el CBA para el 2080 (refiérase a la sección 3.3.1).

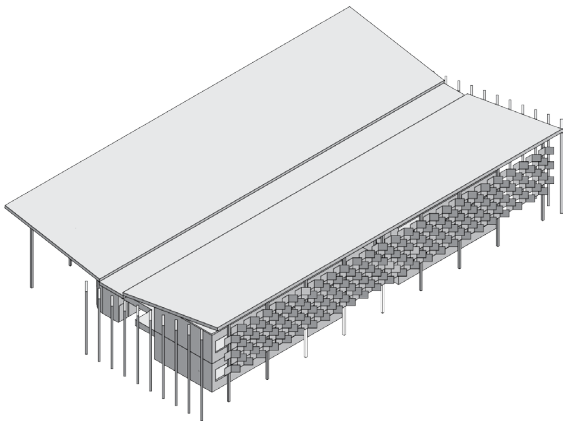


Figura 192. Propuesta de rediseño, EMAI 2080. Elaboración propia.

En el caso del EMAI, se realizan las siguientes modificaciones:

- Cambios en la configuración espacial, pasando de tres a dos niveles, con el fin de mantener mayor área en contacto con la superficie terrestre, y aprovechar la inercia térmica. SR-N3 pasa al primer nivel y AU-N3 pasa al segundo nivel. Se mantienen las dimensiones y proporción de los espacios.
- Cambios en la distribución espacial, al generar un gran pasillo central en lugar de externo. Esta condición favorece el sombreamiento, manteniendo las condiciones de ventilación e iluminación natural.
- Aumento de la masa térmica de la envolvente, para reducir la transmisión de calor hacia el interior de los espacios.
- Modificación de cubiertas, invirtiendo la dirección de la pendiente hacia el centro, con inclinaciones de 20% hacia el Sur y 30% hacia el Norte.
- Eliminación de la cámara de aire entre la cubierta y el cielo para permitir el paso de ventilación.
- Proyección de aleros, utilizando como referencia los ángulos de inclinación solar de 13.5° hacia el Norte y 33.5° hacia el Sur.
- Eliminación de ventanería externa en fachadas Este y Oeste. Los espacios de los cuales se elimina ventanería poseen aberturas en fachadas Norte o Sur.
- Aumento de las aberturas en ventanería para generar ventilación en espacios internos.
- Sustitución de cielos por una losa de concreto, en el segundo nivel, para reducir la transmisión de calor generada por las cubiertas.
- Diseño de elementos de protección solar en las fachadas Este y Oeste, y de forma complementaria, el uso de pieles en fachadas Norte y Sur.

Resultados. Para un espacio ubicado en el primer nivel, AD-N1, las condiciones son de confort durante las 24 horas del día. Con 8 horas en condiciones algo secas para la salud pero térmicamente aceptables, entre 8 a.m. y 4 p.m.

Para un espacio ubicado en el segundo nivel, AU-N2, las condiciones de confort se mantienen con 24 horas de confort, de las cuales 9 presentan condiciones algo secas para la salud pero térmicamente aceptables, entre 8 a.m. y 4 p.m.

Conclusiones. La reconfiguración de los espacios, es la intervención que mejores resultados genera, debido a la inercia térmica que mantiene la temperatura constante en el interior del edificio.

De acuerdo a la simulación, los espacios ubicados en el primer nivel se mantienen con una temperatura media de 22.7°C. Esto es 3.1°C menos que al exterior. Los espacios del segundo nivel se calientan más debido a su cercanía con la cubierta, manteniendo una temperatura media de 25.6°C.

Sin embargo la reubicación de los espacios permite una reducción de 0.5°C en el nivel superior, con respecto a la propuesta de adaptación

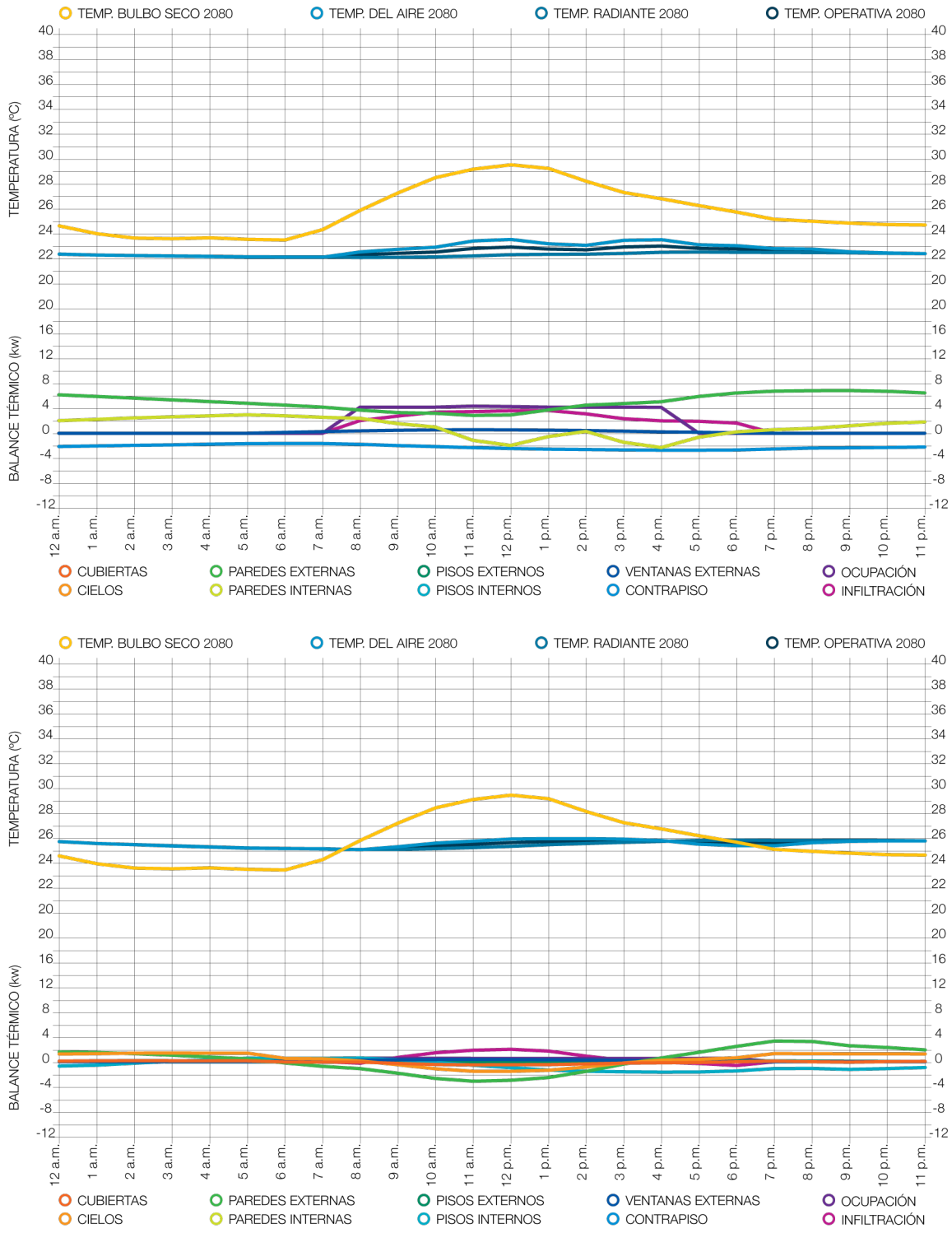


Figura 193. Simulación de espacios en propuesta de rediseño, nivel 1 (arriba) y nivel 2 (abajo), con datos climáticos del 2080. Elaboración propia.

moderada. Las estrategias pasivas tradicionales permiten mantener la temperatura interna por debajo de la externa entre 8 a.m. y 5 p.m.

Esto se refleja en el incremento de las horas de bienestar a nivel general. El edificio presenta 24 horas en condiciones de bienestar. Con condiciones algo secas para la salud durante 9 de esas horas, entre 8 a.m. y 4 p.m.

La temperatura media del EMAI en su condición actual, pero en 2080, es de 28.0ºC. Con la intervención de adaptación moderada, este valor se reduce a 26.8ºC. La humedad media se mantiene en 44%, con tendencia hacia la baja pero dentro del rango de bienestar saludable.

Adicionalmente se logra un avance significativo en el balance térmico de la envolvente, disminuyendo las ganancias por cubiertas, cielos, y ventanas externas. El resultado es 24 horas de condiciones dentro de los rangos de bienestar determinados mediante el CBA para el 2080.

Con la propuesta de rediseño, la temperatura media al interior del edificio se reduce a 26.0ºC, esto es 2.0ºC menor que la que presentaría el edificio actual en 2080. La humedad media se mantiene en 44%, conservando la tendencia hacia la baja pero dentro del rango de bienestar saludable.

Se mantiene la mejoría en el balance térmico, variando ligeramente de la propuesta de adaptación moderada. El resultado es también de 24 horas de condiciones dentro de los rangos de bienestar determinados mediante el CBA para el 2080.

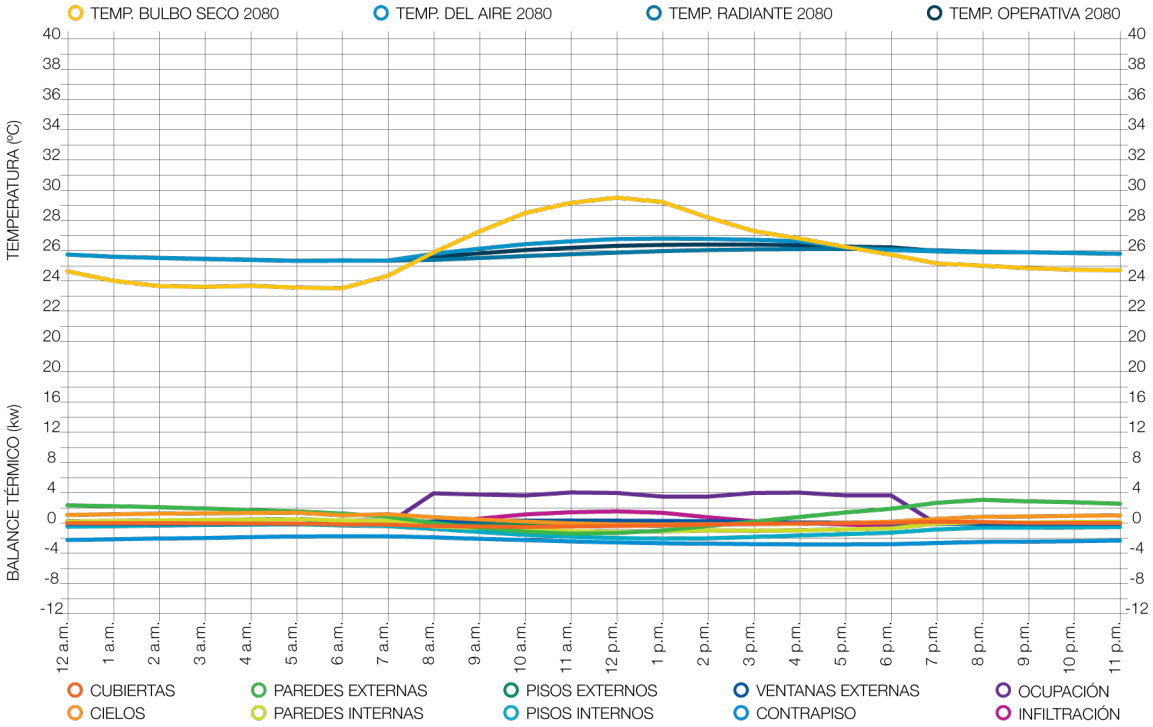


Figura 194. Simulación de propuesta de rediseño, con datos climáticos del 2080. Elaboración propia.

3.4.2 MINISTERIO DE SALUD DE CHACARITA (MSC), PUNTARENAS

La propuesta de rediseño consiste en la reconfiguración del diseño del edificio, para mejorar el confort por medio de estrategias de arquitectura bioclimática. En este caso, se altera la orientación, configuración, distribución y estructura del edificio. Además de la modificación de las capas de la envolvente, y la sustracción o sustitución de algunos elementos.

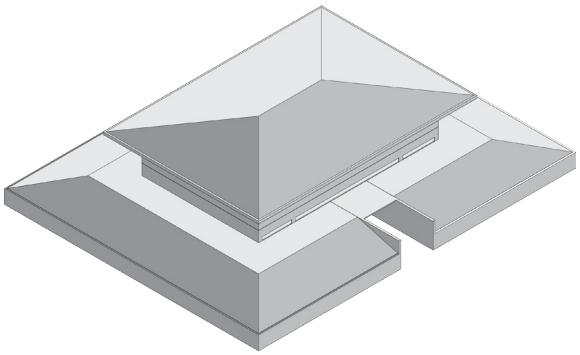


Figura 195. Propuesta de rediseño, MSC 2080. Elaboración propia.

Los datos resultantes se evalúan mediante hojas de cálculo, para determinar las horas del día que se encuentran dentro de los rangos de bienestar determinados por el CBA para el 2080.

En el caso del MSC, se realizan las siguientes modificaciones:

- Rotación del eje longitudinal del edificio, en el sentido Este-Oeste, con el fin de exponer las fachadas de mayor área a la menor cantidad de radiación solar directa.
- Cambios en la configuración espacial, generando un relleno que cubra el 70% de la envolvente del primer nivel, para aprovechar la inercia térmica debido al contacto con la superficie terrestre.
- Cambios en la distribución espacial, al disponer los espacios alrededor de un patio central que conecta los volúmenes de aire de ambos niveles, permitiendo a la vez la entrada de iluminación natural indirecta.
- Aumento de la masa térmica de la envolvente, para reducir la transmisión de calor hacia el interior de los espacios.
- Proyección de los aleros alrededor del edificio, utilizando como referencia los ángulos de inclinación solar de 13.5° hacia el Norte y 33.5° hacia el Sur.
- Eliminación de ventanería externa en fachadas Este y Oeste. Cabe destacar que los espacios de los cuales se elimina ventanería poseen aberturas en fachadas Norte o Sur.

Resultados. Para un espacio ubicado en el primer nivel, CI-N1, las condiciones son de confort durante las 24 horas del día, principalmente debido a la disminución de la temperatura interna.

Para un espacio ubicado en el segundo nivel, VE-N2, las condiciones de confort se mantienen con 24 horas de bienestar saludable.

Conclusiones. Rodear el edificio de tierra, ya sea mediante relleno o excavación, es la intervención que mejores resultados genera. Esto debido a la inercia térmica que mantiene la temperatura constante en el interior del edificio.

De acuerdo a la simulación, los espacios ubicados en el primer nivel se mantienen con una temperatura media de 24.9°C. Esto es 8.1°C menos que al exterior. Los espacios del segundo nivel se calientan más, debido a su cercanía con la cubierta, manteniendo una temperatura media de 28.2°C.

A pesar de la optimización de la cubierta, este sigue siendo el componente que genera mayor ganancia térmica en el edificio. Sin embargo, la conexión del volumen de aire entre niveles por medio del patio central, permite refrescar el segundo nivel.

Esto se refleja en el incremento de las horas de bienestar a nivel general. El edificio presenta 24 horas en condiciones de bienestar saludable.

La temperatura media del MSC en su condición actual, pero en 2080, es de 33.9ºC. Con la intervención de adaptación moderada, este valor se reduce a 30.9ºC. La humedad media se mantiene en 49%, lo cual se ubica dentro del rango de bienestar saludable.

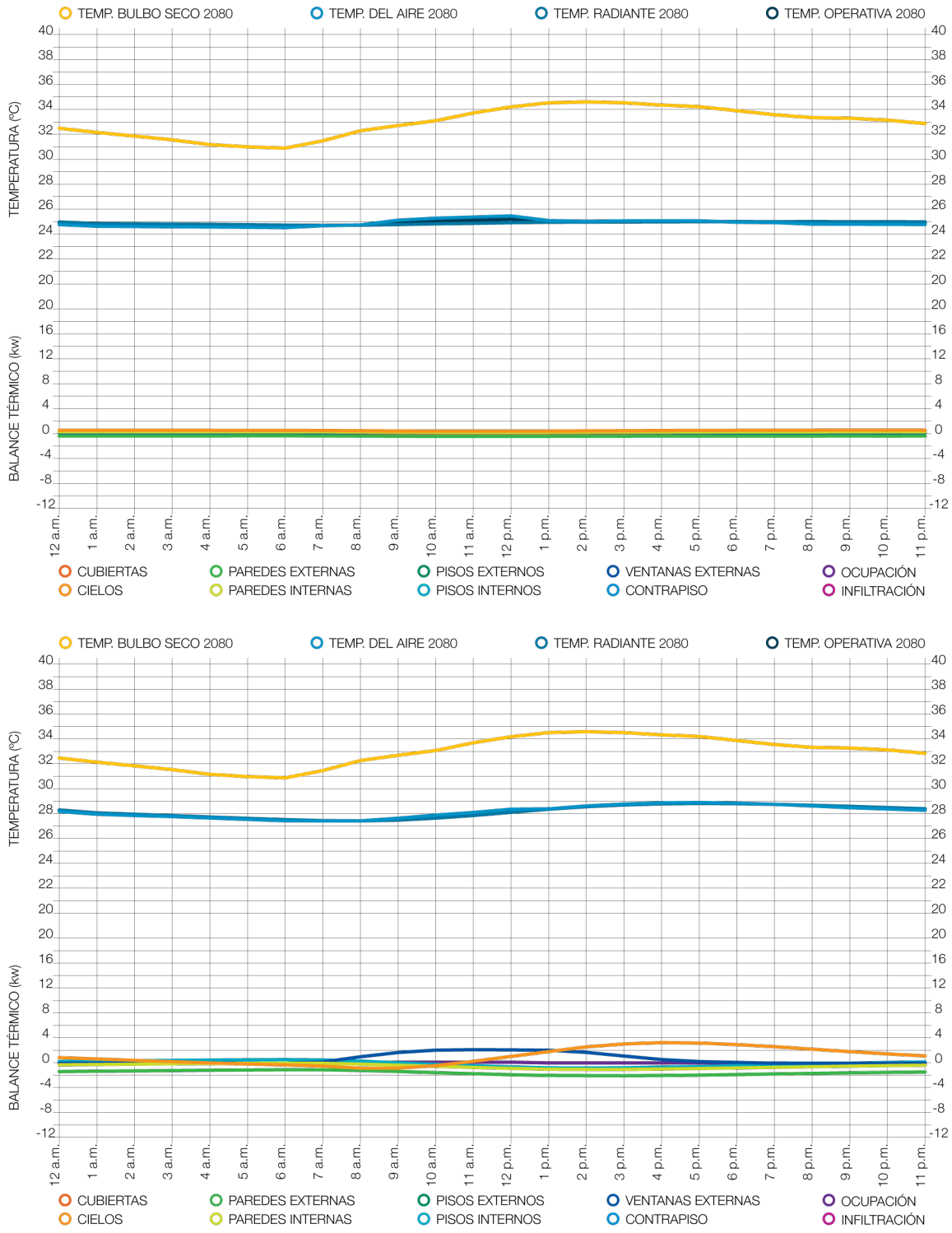


Figura 196. Simulación de espacios en propuesta de rediseño, nivel 1 (arriba) y nivel 2 (abajo), con datos climáticos del 2080. Elaboración propia.

Aunque las condiciones siguen estando fuera de los rangos de confort determinados mediante el CBA, se logra un avance significativo en el balance térmico de la envolvente. Principalmente, al disminuir las ganancias por pisos internos y ventanas externas. Sin embargo, la propuesta no consigue mitigar las ganancias generadas por cubierta.

Con la propuesta de rediseño, la temperatura media al interior del edificio se reduce a 27.7ºC, esto es 6.2ºC menor que la que presentaría el edificio actual en 2080. La humedad media se mantiene en 49%, lo cual se ubica dentro del rango de bienestar saludable.

Los resultados son mucho más favorables que en la propuesta de adaptación moderada, con una reducción de 3.2ºC más con respecto al exterior. Esto genera 24 horas de condiciones dentro de los rangos de bienestar saludable, determinados mediante el CBA para el 2080, sin la necesidad del uso de aire acondicionado.

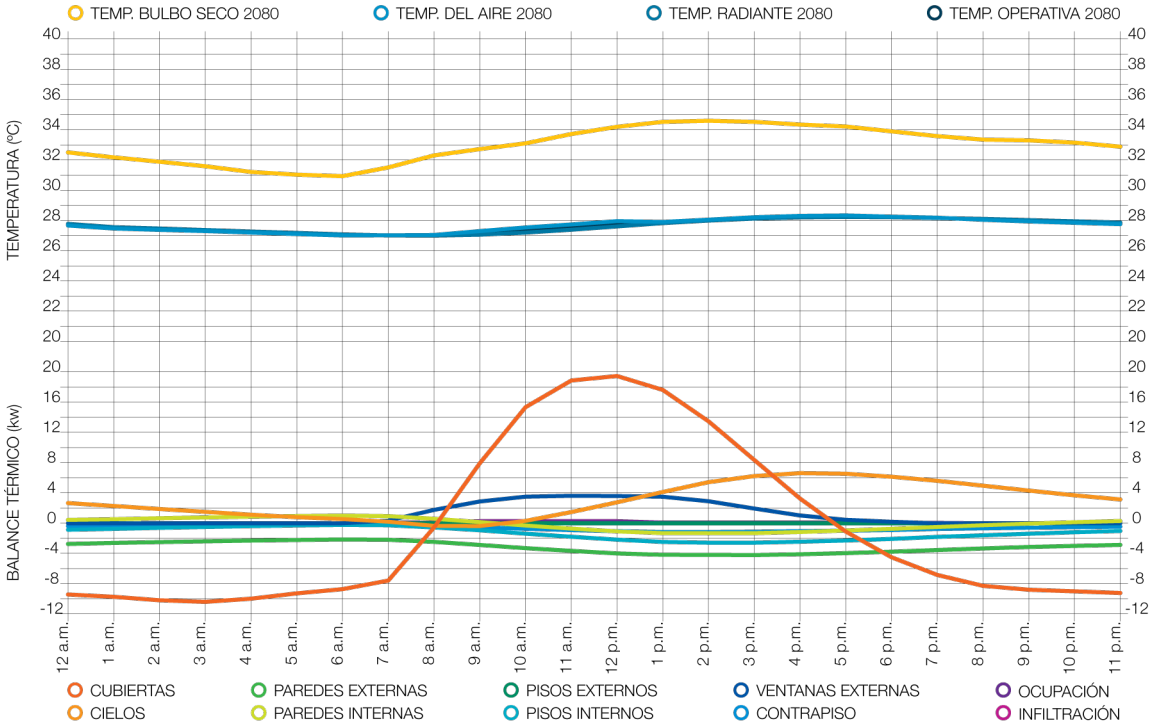


Figura 197. Simulación de propuesta de rediseño, con datos climáticos del 2080. Elaboración propia.

3.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El entorno está en constante cambio y el calentamiento global es uno de los ejemplos más claros de esto. La investigación deja en evidencia que la arquitectura es concebida como algo genérico y no como una respuesta a situaciones y contextos específicos.

Los casos de estudio demuestran que las edificaciones no funcionan de manera óptima en las condiciones climáticas actuales, y las condiciones de confort son limitadas. El panorama para casos como estos es realmente complicado ante los aumentos de temperatura y el comportamiento climático venidero.

Este tipo de iniciativas académicas marcan un precedente y una motivación para que la práctica de la arquitectura empiece a darle la importancia y la prioridad que amerita el diseño en relación al entorno, apoyándose de metodologías y tecnologías que no son la norma, como lo es el caso de las simulaciones energéticas.

Para esta investigación se generan archivos climáticos horarios con datos proyectados para el año 2080. Con esta herramienta y el uso de datos de instituciones como el CIGEFI y el IMN, se pueden generar archivos climáticos para cualquier año y para cualquier zona del país, de los cuales se tenga referencia.

Durante la investigación se observa cómo la aplicación de ciertas estrategias, materiales, etc., que han sido utilizados en contextos similares en otros momentos históricos, y que han sido recomendadas por las fuentes bibliográficas consultadas, no necesariamente funcionan en contextos tan críticos como los que se proyectan para años venideros, como es el caso del 2080.

Sin embargo, a partir de los resultados de ambos casos de simulación, es posible definir variables que modifican positivamente el comportamiento térmico. Esto sienta un precedente sobre lo que representa el cambio climático para el bienestar de las personas, y cómo se debe repensar la forma de diseñar arquitectura. De ahí, la importancia de la simulación energética como herramienta de diseño.

La adaptación y resiliencia al cambio climático demanda enormes esfuerzos económicos, por lo que la simulación energética se vuelve un instrumento indispensable de comprobación para prever si las respuestas planteadas a ciertos problemas funcionan efectivamente. El proceso permite en poco tiempo probar cuantas estrategias y materiales sean necesarios, hasta dar con la respuesta óptima para un problema sin la necesidad de ser aplicada en sitio para su comprobación. Esto con el fin de asegurar que los grandes esfuerzos económicos no sean en vano.

A lo largo de los años, el Laboratorio de Arquitectura Tropical de la Universidad de Costa Rica ha producido una gran cantidad de proyectos de investigación dentro del marco de la arquitectura bioclimática. Los datos proyectados utilizados en esta investigación, y la simulación energética como herramienta pueden ser utilizados como referencia para retomar otras investigaciones como la *Guía de Diseño Bioclimático,* y generar una nueva guía enfocada en el desarrollo de arquitectura bioclimática en condiciones de cambio climático futuro.

BIBLIOGRAFÍA

Alfaro, A., Aymerich, N., Blanco, G., Bolaños, L., Campos, A., Matarrita, A. (2013). *Guía de diseño bioclimático según clasificación de Zonas de Vida de Holdridge*. Seminario de graduación. San José: UCR.

Arce, E., Fernández, D., Herrera, M., Rodríguez, S., Vásquez, A., Vega, C. (2012). *Guía de estrategias pasivas de diseño bioclimático para espacios educativos*. Seminario de graduación. San José: UCR.

Arias, R., Villalta, Y. (2009). *Desarrollo del Parque Industrial en el Gran Puntarenas: Un análisis de ventajas competitivas y de clima empresarial para las inversiones industriales en el territorio*. Ciencias Económicas, 27, 125-139. Recuperado de: http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/economicas/article/download/7112/6796

Arias, R., Sánchez, L., Vargas, L., Agüero, O. (2015). *Criterios para la identificación y definición de territorios con potencial de desarrollo productivo para el establecimiento de Zonas Económicas Especiales de Desarrollo (ZEED) en Costa Rica*. Ciencias Económicas, 33 (1), 89-119. Doi: 10.15517/RCE.V33I1.19995

Celis, F. (2000). *Arquitectura bioclimática, conceptos básicos y panorama actual*. Boletín CF+S, 14, 1-12. Recuperado de: http://www.polired.upm.es/index.php/boletincfs/article/view/2270

CEPAL, CAC, COMISCA, CCAD, COSEFIN, SIECA, SICA, UKAID, DANIDA (2015). *Cambio climático en Centroamérica: Impactos potenciales y opciones de política pública*, LC/MEX/L.1196, México, D.F.: CEPAL.

Chalmers, P. (2014). *Cambio climático: Implicaciones para los edificios. Hallazgos claves del 5to. Informe de evaluación del IPCC*. Recuperado de: http://www.cisl.cam.ac.uk/ipcc

CMCC Convención Marco sobre el Cambio Climático (2015). *Aprobación del Acuerdo de París*. París: UNFCCC.

DeKay, M., Brown, G. (2014). *Sun, wind & light architectural design strategies*. Estados Unidos de América: Wiley.

Flor, J., Gonzáles, M., Mora, F., Obando, M., Rodríguez, V., Víquez, A. (2011). *Diseño de la envolvente y sus implicaciones en el confort higrotérmico*. Seminario de graduación. San José: UCR.

García, M. (2011). *Viviendas bioclimáticas en Galicia*. La Coruña: IFPS. Recuperado de: http://www.asociacion-touda.org/documentos/bioclimatica.pdf

Germer, J. (1983). *Estrategias pasivas para Costa Rica. Una aplicación regional del diseño bioclimático*. San José.

González, M. (2009). *Morfología geométrica de la envolvente arquitectónica como elemento de control térmico*. Tesis de maestría. Puebla: IPN.

GWP, UE, ZONAF, BCIE (2011). *Situación de los recursos hídricos en Centroamérica: hacia una gestión integrada*. Tegucigalpa: Impresiones industriales.

Hernández, A., Fariña, J., Fernández, V., Gálvez, M., Urrutia, N., Astorga, C., Ceberio, I., Gonçalves, A., Castro, A., Feliciano, M. (2013). *Manual de diseño bioclimático urbano. Recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas*. Bragança, Portugal: Instituto Politécnico de Bragança.

Hidalgo, H.G., Alfaro, E.J. (2014). *Skill of CMIP5 climate models in reproducing 20th century basic climate features in Central America*. Int J Climatol, 35 (12), 3397-3421. Doi: 10.1002/joc.4216

Hidalgo, H.G., Alfaro, E.J., Quesada-Montano, B. (2016). *Observed (1970-1999) climate variability in Central America using a high-resolution meteorological dataset with implication to climate change studies*. Climatic Change, 141 (1), 13-28. Recuperado de: http://link.springer.com/article/10.1007/s10584-016-1786-y

Hidalgo, H.G., Amador, J.A., Alfaro, E.J., Quesada, B. (2013). *Hydrological climate change projections for Central America*. J of Hydrol, 495, 94-112. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.05.004

Holdridge, L.R. (2000). *Ecología basada en Zonas de Vida*. San José: IICA.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC (2011). *Costa Rica: Población total proyectada por grupos de edades, según provincia, can-*

tón, distrito y sexo 2011-2025. San José: INEC.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC (2013). *Estimaciones y proyecciones de población por sexo y edad 1950-2050*. San José: INEC.

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *Apéndice II: Glosario. Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, 177-194*. Recuperado de: http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/ccw%20sp/appendix_2_sp.pdf

ISO (2005). *International Standard ISO 7730:2005 (E) Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Suiza: ISO. Recuperado de: http://www.iso.org/standard/39155.html

Jiménez, M., Chain, A., Locatelli, B. (2010). *Efectos del cambio climático en la distribución de las Zonas de Vida de Centroamérica*. Revista Recursos Naturales y Ambiente, No.59-60, 32-40. Turrialba: CATIE.

Jiménez, M. (2009). *Resiliencia de los ecosistemas naturales terrestres de Costa Rica al cambio climático*. Turrialba: CATIE.

Ministerio de Ambiente y Energía MINAE (2015). *Contribución prevista y determinada a nivel nacional de Costa Rica*. Recuperado de: http://www.cac.int/node/781

Ministerio de Obras Públicas y Transporte MOPT (2017). *Red Vial Nacional Costa Rica*. Recuperado de: https://www.mopt.go.cr/wps/portal/Home/informacionrelevante/planificacion

Monteverde, A. (2014). *Guía de estrategias de diseño pasivo para la edificación*. Valencia: IVE.

Neila, J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*. Madrid: Munilla-Lería.

Oxman, R. (2008). *Performance-based Design: Current Practices and Research Issues*. International Journal of Architectural Computing, 6 (1), 10. Doi: 10.1260/147807708784640090

Sancho, A. (2013). *Re+adaptar: Uso de la simulación digital para reacondicionar bioclimáticamente edificios existentes*. Tesis de Licenciatura en Arquitectura. San José: UCR.

Sosa, M., Siem, G. (2004). *Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico*. Caracas: IDEC.

World Bank (2014). *Turn Down The Heat: Confronting the New Climate Normal*. Washington, DC: World Bank.

World Resources Institute (2012). *Top 10 emitters in 2012*. Recuperado de: http://ow.ly/fdCz300nYxx

Universidad de Costa Rica | Facultad de Ingeniería | Escuela de Arquitectura

2018