

**Propuesta de diseño arquitectónico para mejorar los espacios de mayor permanencia
en un parque deportivo y recreativo en la ciudad de Santiago de Cali a través del
análisis de radiación y rangos de tolerancia solar**

Estudio de caso:

Polideportivo Ciudad los Álamos

Valentina García Gutiérrez

**TESIS DE MAESTRÍA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE**

Asesora:

Elizabeth Parra Correa, Magíster (MSc) en Bioclimática



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

Universidad Javeriana Cali

Facultad de Creación y Hábitat

Maestría en Hábitat Sustentable

Cali, Colombia

2026

Agradecimientos

A Dios, por abrirme las oportunidades para continuar mi formación profesional y permitirme culminar este proceso académico.

A la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, por la calidad académica y humana de su formación, y por el acompañamiento de docentes comprometidos con la enseñanza y el desarrollo integral de sus estudiantes.

A mi tutora, Elizabeth Parra Correa, por su disposición, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso. Agradezco profundamente su orientación constante, la transmisión de sus conocimientos y su acompañamiento incluso en los momentos de mayor dificultad.

A mi esposo, por su apoyo incondicional y comprensión; a mi bebé, que viene en camino, por convertirse en una fuente de motivación; a mi madre y a mi familia, por su respaldo permanente durante este proceso.

A mis amigos y a todas las personas que, de una u otra forma, hicieron parte de este camino, mi sincero agradecimiento.

Resumen

El espacio público en Santiago de Cali enfrenta retos particulares derivados de su clima tropical cálido seco y de la alta exposición solar que predomina durante gran parte del año. Estas condiciones inciden directamente en el confort térmico de los usuarios y, en consecuencia, en la manera como habitan, recorren y permanecen en los espacios exteriores. En este contexto, resulta fundamental comprender cómo la radiación solar afecta los lugares de estancia prolongada y de qué manera estos pueden ajustarse para ofrecer experiencias urbanas más seguras, accesibles y confortables. Bajo esta premisa, el Polideportivo Ciudad Los Álamos se configura como un escenario representativo para estudiar la relación entre el diseño arquitectónico, las condiciones climáticas y las dinámicas de uso en un entorno deportivo y recreativo de alta concurrencia.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación se centra en evaluar, mediante el análisis de radiación y rangos de tolerancia solar, el diseño de los espacios de mayor permanencia observados en el Polideportivo, con el fin de establecer criterios de mejora acordes a las condiciones ambientales locales. Para ello, se adopta la metodología propuesta por Julie A. Waldron y Jorge H. Salazar para el cálculo de áreas de permanencia en espacios públicos, según condiciones simuladas de radiación solar, adaptada a este caso de estudio. Esta metodología se articula con la construcción de un modelo paramétrico en *Rhinoceros 3D*, vinculado a la interfaz visual *Grasshopper* y el complemento de simulación ambiental *Ladybug*.

A partir de las simulaciones, se diagnosticó el desempeño actual de cada espacio seleccionado, identificando zonas según las horas de exposición solar y los rangos de tolerancia solar asociados. Con estos insumos, se formularon propuestas de diseño arquitectónico basadas en estrategias bioclimáticas pasivas orientadas a mejorar las condiciones reconocidas. Posteriormente, estas estrategias fueron integradas en el modelo paramétrico, manteniendo constantes los parámetros ambientales para comparar el escenario preexistente con el propuesto.

Los resultados evidencian mejoras en las condiciones de exposición a la radiación solar y en los rangos de tolerancia de cada espacio, además de un aumento significativo de las áreas destinadas a actividades de larga permanencia. Este incremento se refleja en el análisis porcentual realizado para cada espacio, demostrando que la propuesta de diseño arquitectónico no solo reduce la exposición solar, sino que redistribuye las oportunidades de uso y disfrute del polideportivo. Estos hallazgos respaldan la pertinencia de integrar herramientas de simulación ambiental en el diseño de espacios públicos en climas cálidos secos y la utilidad de la metodología aplicada para orientar la zonificación de actividades dentro de equipamientos o espacios abiertos. Este enfoque puede replicarse en escenarios urbanos con dinámicas similares, aportando insumos para futuras investigaciones sobre habitabilidad y confort térmico en espacios públicos abiertos.

Finalmente, se reconoce que, aunque la investigación se apoyó en archivos climáticos existentes, sería valioso complementar futuras aplicaciones con mediciones ambientales directas en sitio, lo que permitiría disponer de datos más actualizados y precisos para fortalecer el análisis y la formulación de la propuesta de diseño arquitectónico futuro.

Palabras clave: Espacio público, radiación solar, clima tropical cálido seco, simulación ambiental, urbanismo bioclimático, permanencia

Abstract

The public space in Santiago de Cali faces particular challenges due to its warm, dry tropical climate and the high levels of solar exposure that prevail throughout most of the year. These conditions directly impact users' thermal comfort and, consequently, the way people inhabit, use, and remain in outdoor spaces. In this context, it is essential to understand how solar radiation affects areas intended for prolonged occupancy and how these spaces can be adapted to provide safer, more accessible, and more comfortable urban zones.

Under this premise, the "*Polideportivo Ciudad Los Álamos*" is considered a representative case study for examining the relationship between architectural design, climatic conditions, and the dynamic use of a highly frequented sports and recreational space.

Based on the above, the objective of this research focuses on evaluating through solar radiation analysis and solar tolerance ranges the design of the spaces with the highest levels of occupancy observed in the sports complex, with the aim of establishing improvement criteria aligned with local environmental conditions. To this end, the methodology proposed by Julie A. Waldron and Jorge H. Salazar for calculating areas of permanence in public spaces under simulated solar radiation conditions was adopted and adapted to this case study. This methodology is integrated with the construction of a parametric model in *Rhinoceros 3D*, linked to the *Grasshopper* visual programming interface and the *Ladybug* environmental simulation plugin.

Based on the simulations, the current performance of each selected space was diagnosed by identifying zones according to hours of solar exposure and associated solar tolerance ranges. Using these inputs, design proposals were formulated based on passive bioclimatic strategies aimed at improving the identified conditions. These strategies were subsequently incorporated into the parametric model, keeping environmental parameters constant in order to compare the pre-existing scenario with the proposed one.

The results demonstrate improvements in solar radiation exposure conditions and solar tolerance ranges for each space, as well as a significant increase in areas designated for long-term activities. This increase is reflected in the percentage analysis conducted for each space,

showing that the proposal not only reduces solar exposure but also redistributes opportunities for use and enjoyment within the sports complex. These findings support the relevance of integrating environmental simulation tools into the design of public spaces in warm dry climates, as well as the usefulness of the applied methodology in guiding activity zoning within facilities or open spaces. This approach can be replicated in urban scenarios with similar dynamics, contributing valuable inputs for future research on habitability and thermal comfort in open public spaces.

Finally, it is acknowledged that although this research relied on existing climatic data files, future applications would benefit from incorporating direct on-site environmental measurements. This would allow for more up-to-date and precise data, strengthening both the analysis and the formulation of future architectural proposals.

Keywords: Public space, solar radiation, warm dry tropical climate, environmental simulation, bioclimatic urbanism, permanence

Tabla de Contenido

Introducción	14
Planteamiento del Problema.....	14
Justificación.....	16
Objetivos	18
<i>Objetivo general</i>	18
<i>Objetivos específicos</i>	18
Marco Teórico	19
Diseño Arquitectónico para el Desarrollo de Espacios Públicos de Calidad	19
Parámetros de Diseño en Espacios Públicos Destinados a la Recreación Activa y Deportiva: Relación Entre los Usuarios y los Espacios de Permanencia.....	22
Evaluación de Áreas de Permanencia a Partir del Análisis de Simulaciones de Radiación Solar y Rangos de Tolerancia Solar a Través de Modelos Paramétricos.....	30
Metodología.....	37
Etapa 1: Identificar los Espacios de Mayor Permanencia	38
Etapa 2: Desarrollo de Modelo Paramétrico	38
Etapa 3: Realizar Diagnóstico del Modelo Paramétrico	39
Etapa 4: Definición de las Estrategias Bioclimáticas Pasivas	41
Etapa 5: Análisis en Paralelo del Porcentaje de Área por Categoría de Permanencia Asociada a una Actividad en el Diseño Arquitectónico Existente y en la Propuesta	41
Caso de Estudio.....	43
Descripción del Proyecto.....	43
<i>Localización</i>	43
<i>Condiciones ambientales urbanas:</i>	44
<i>Condiciones climáticas urbanas:</i>	44

<i>Comportamiento térmico anual:</i>	45
<i>Distribución de radiación solar:</i>	46
<i>Implicaciones para el contexto de estudio:</i>	46
<i>Carta solar localizada en el caso de estudio:</i>	47
<i>Diagrama rosa de viento según estación climática Barrio La Flora:</i>	49
<i>Condiciones de conectividad de equipamientos urbanos:</i>	49
<i>Descripción técnica Polideportivo Ciudad Los Álamos:</i>	50
Resultados	53
Etapa 1: Identificar los espacios de mayor permanencia	53
<i>Comentarios y consideraciones de lo observado: factores de uso</i> <i>identificados</i>	55
Etapa 2: Desarrollo de modelo paramétrico.....	58
Etapa 3: Realizar diagnóstico del modelo paramétrico	61
<i>Diagnóstico de Espacio 1</i>	62
<i>Diagnóstico de Espacio 2</i>	63
<i>Diagnóstico de Espacio 3</i>	64
Etapa 4: Definición de las estrategias bioclimáticas pasivas.....	65
<i>Estrategias bioclimáticas pasivas propuestas para el Espacio 1</i>	68
<i>Estrategias bioclimáticas pasivas propuestas para el Espacio 2</i>	70
<i>Estrategias bioclimáticas pasivas propuestas para el Espacio 3</i>	71
Etapa 5: Análisis en paralelo del porcentaje de área por categoría de permanencia asociada a una actividad en el diseño existente y la propuesta de diseño. ..	72
<i>Análisis en paralelo del Espacio 1</i>	73
<i>Análisis en paralelo del Espacio 2</i>	76
<i>Análisis en paralelo del Espacio 3</i>	79
Visualizaciones de la Propuesta de Diseño Arquitectónico y las Categorías de Áreas de Permanencia Asociadas a una Actividad	82
<i>Visualización de la propuesta Espacio 1</i>	83

<i>Visualización de la propuesta Espacio 2</i>	86
<i>Visualización de la propuesta Espacio 3</i>	88
Conclusiones	92
Referencias	94
Anexos	97

Lista de Tablas

Tabla 1 Aspectos y requisitos para el diseño de las zonas de estancia según el MaEPE ..	24
Tabla 2 Parámetros de diseño basados en el libro Humanización del espacio público	27
Tabla 3 Categorías de áreas de permanencia asociadas a una actividad según los rangos de tolerancia solar	34
Tabla 4 Horarios de uso y actividad Polideportivo Ciudad Los Álamos	52
Tabla 5 Representación gráfica de conversión de datos	61

Lista de Figuras

Figura 1 Normativa para garantizar la protección solar y las disposiciones de dotación y vegetación en zonas de estancia.....	25
Figura 2 Ejemplo ilustrado del uso de zonas de estancia del espacio público	29
Figura 3 Evaluación de la exposición solar aplicada sobre un edificio y sus alrededores donde se ubican elementos naturales (vegetación)	31
Figura 4 Evaluación de la exposición solar y áreas de permanencia aplicada a un caso de estudio “Plaza de la Concepción” Mompox - Colombia.....	32
Figura 5 Posturas corporales estándar adoptadas en espacios públicos con colores de acuerdo a los rangos de tolerancia solar	33
Figura 6 Herramientas plugin de Ladybug.....	36
Figura 7 Esquema conceptual de la metodología.....	37
Figura 8 Ejemplo de visualización de traducción geométrica del entorno construido. Uso de Grasshopper.....	38
Figura 9 Ejemplificación de simulación de horas de radiación solar- Uso de Ladybug	39
Figura 10 Ejemplificación de traducción de resultados de simulación de horas de radiación solar a una nueva colorimetría	40
Figura 11 Ejemplificación de análisis en paralelo del porcentaje de área por categoría de área de permanencia.....	42
Figura 12 Esquema de localización caso de estudio	43
Figura 13 Esquema de condiciones ambientales urbanas	44
Figura 14 Gráfico de temperatura anual de Cali, según la estación climática DAGMA-ERA	45
Figura 15 Rosa de radiación solar.....	46
Figura 16 Carta solar localizada en el caso de estudio	47
Figura 17 Diagrama rosa de vientos según estación climática barrio La Flora	48
Figura 18 Esquema de conectividad de equipamientos urbanos.....	50

Figura 19	Esquema de zonificación Polideportivo Ciudad Los Álamos.....	51
Figura 20	Esquema, factores de uso en los espacios de mayor permanencia	53
Figura 21	Registro fotográfico y observaciones de campo	54
Figura 22	Esquema de selección de espacios de mayor permanencia	57
Figura 23	Ejemplo de un algoritmo para cargar una geometría en lenguaje paramétrico ...	58
Figura 24	Captura el componente D, de la Figura 23	60
Figura 25	Diagnóstico de Espacio 1	62
Figura 26	Diagnóstico de Espacio 2.....	63
Figura 27	Diagnóstico de Espacio 3.....	64
Figura 28	Esquema conceptual.....	66
Figura 29	Ejercicio de elaboración propia de simulación de una pérgola modular como elemento de control solar	68
Figura 30	Esquema 3D del Espacio 1, con elementos de control solar propuestos (Tonalidad azul).....	68
Figura 31	Esquema 3D del Espacio 2, con elementos de control solar propuestos (Tonalidad roja)	70
Figura 32	Esquema 3D del Espacio 3, con elementos de control solar propuestos (Tonalidad anaranjada)	71
Figura 33	Análisis en paralelo para el Espacio 1	73
Figura 34	Esquema comparativo del porcentaje de área por categoría de permanencia y posturas corporales asociadas del Espacio 1	75
Figura 35	Análisis en paralelo para el Espacio 2.....	76
Figura 36	Esquema comparativo del porcentaje de área por categoría de permanencia asociada a una actividad, en relación con las posturas corporales del Espacio 2....	78
Figura 37	Análisis en paralelo para el Espacio 3.....	79
Figura 38	Esquema comparativo del porcentaje de área por categoría de permanencia asociada a una actividad, en relación con las posturas corporales del Espacio 3....	81

Figura 39 Visualización de la propuesta para el Espacio 1 según la jornada mañana y tarde	84
Figura 40 Visualización de la propuesta de diseño para las áreas de permanencia de estancia, tránsito y pausa del Espacio 1.....	86
Figura 41 Visualización de la propuesta para el Espacio 2 según la jornada mañana y tarde	87
Figura 42 Visualización de la propuesta de diseño para las áreas de permanencia de estancia, tránsito y pausa del Espacio 2.....	88
Figura 43 Visualización de la propuesta para el Espacio 3 según la jornada mañana y tarde	89
Figura 44 Visualización de la propuesta de diseño para las áreas de permanencia de estancia, tránsito y pausa del Espacio 3.....	90
Figura 45 Visualización en conjunto de la propuesta de diseño para las áreas de permanencia de estancia, tránsito y pausa del Espacio 3.....	91

Introducción

El arquitecto y urbanista Jan Gehl (como se citó en ONU-Hábitat, *Guía global para el espacio público*, 2019, p.40) destacó la importancia de crear entornos urbanos centrados en las necesidades y experiencias de las personas, definiendo criterios y principios claves para evaluar la calidad de dichos espacios. Gehl categorizó en tres grupos la calidad de un espacio público: la protección (sensación de seguridad), el confort (oportunidades de uso, actividad y permanencia) y el disfrute (oportunidades de disfrute y calidad estética). No obstante, es relevante señalar que los factores ambientales inciden en la probabilidad de que las personas permanezcan durante periodos prolongados en espacios públicos exteriores. Por ejemplo, Colombia se caracteriza por su clima tropical, donde los factores ambientales, como la radiación solar, muestran poca variación y se mantienen constantes durante el año. En consecuencia, las personas se sienten atraídas por espacios al aire libre donde tienen la posibilidad de elegir donde sentarse, caminar, ejercitarse y disfrutar del clima exterior en distintos momentos del día y del año.

Ante esta perspectiva, el fenómeno solar emerge como un área de investigación para integrar en la evaluación de la calidad de un espacio urbano. Con el propósito de profundizar en este ámbito, el presente proyecto involucra reflexiones en torno a factores ambientales y factores humanos para la toma de decisiones en los procesos de proyección arquitectónica urbana. Se aborda el análisis en paralelo de la radiación solar promedio anual y los rangos de tolerancia solar de las personas en un espacio urbano construido, con la intención de establecer, a partir de las conclusiones, bases de diseño arquitectónico en los espacios de mayor permanencia. Además, se busca predecir los intervalos de uso, vocación y dinámicas de estos espacios, permitiendo a las personas una mayor probabilidad de permanecer durante diferentes periodos de tiempo según su interés y necesidad.

Planteamiento del Problema

El espacio público constituye un componente fundamental de la vida urbana. En Colombia, el Decreto 1504 de 1998 (Presidencia de la República, 1998) y el Acuerdo 069 de

2000 Art. 116 del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Cali (Alcaldía de Santiago de Cali, 2000), lo reconocen como un elemento estructurante del territorio, encargado de articular dinámicas ambientales, sociales y urbanas. De acuerdo con estas normativas, el espacio público debe garantizar condiciones adecuadas de accesibilidad, confort, seguridad y habitabilidad para todo tipo de usuarios, subrayando su relevancia tanto en la organización espacial de la ciudad como en la construcción de dinámicas sociales que en ella se desarrollan.

A nivel internacional, la Carta del Espacio Público de la II Bienal del Espacio Público de 2013, suscrita en Roma, complementa esta visión al señalar que “cada espacio público posee particularidades asociadas a sus dimensiones espaciales, históricas, ambientales, sociales y económicas” (ONU-Hábitat, 2019, p. 127, párr.6). Esta diversidad implica que los procesos de diseño deben ser sensibles a las condiciones locales y a las necesidades de los ciudadanos, quienes constituyen los usuarios finales y potenciales apropiadores de dichos espacios.

Sin embargo, estas consideraciones no se han aplicado de manera plena en diversos espacios públicos de Cali, especialmente en aquellos dirigidos a actividades recreativas y deportivas al aire libre. Como consecuencia, se observan áreas con bajo nivel de uso y permanencia, particularmente durante el día, condición acentuada por el clima tropical cálido de la ciudad. En este sentido, Jan Gehl plantea que la calidad del espacio público puede evaluarse por su “animación y dinamismo”, definidos por la presencia simultánea de personas y el tiempo que permanecen en el lugar: “La actividad social general o animación de un entorno es el producto del número de personas y la duración de su permanencia” (ONU-Hábitat, 2019, p. 127, párr.6; Gehl, 2011). En consecuencia, un espacio que reduce las posibilidades de permanencia y limita la vida social difícilmente puede ser considerado un espacio público de calidad.

A esta problemática se suma el compromiso adoptado por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS, 2015), que establecen para el año 2030 la obligación de garantizar que el diseño de las ciudades debe proporcionar el acceso a espacios públicos seguros, incluyentes,

accesibles y verdes para todos, en especial mujeres, niños, adultos mayores y personas con discapacidades. Cumplir este objetivo no solo implica aumentar la cantidad de espacios públicos, sino también adaptar y mejorar existentes, eliminando las barreras físicas y ambientales que restringen el acceso y el disfrute de ciertos grupos de usuarios.

En este contexto, resulta evidente el interés particular por comprender la interacción entre el ser humano y su entorno urbano. En el caso de esta investigación, se centra particularmente en analizar la relación entre las áreas de permanencia y las condiciones de radiación y la tolerancia solar en los espacios públicos con fines deportivos y recreativos de la ciudad de Santiago de Cali. Dichos espacios, compuestos por zonas verdes, áreas duras, mobiliario urbano, árboles y otros elementos de uso colectivo e individual, demandará soluciones que integren criterios ambientales capaces de promover dinámicas sociales que incentiven el uso y la permanencia prolongada.

Justificación

De acuerdo con la necesidad imperante de elevar los estándares de accesibilidad, seguridad y sostenibilidad ambiental en los espacios urbanos, la planificación y el diseño arquitectónico, ligados a un concepto de funcionalidad, en muchos casos resultan insuficientes al no considerar de manera integral las dinámicas propias del entorno, en particular aquellas asociadas a los factores climáticos. En ciudades ubicadas en el trópico, como Santiago de Cali, la radiación solar constituye una condición constante que incide directamente en la manera como las personas usan, recorren y permanecen en los espacios exteriores, haciendo del control solar y de la provisión de sombra un aspecto determinante para los espacios públicos. La ausencia de estos criterios, especialmente en áreas destinadas a la permanencia prolongada, limita el uso efectivo del espacio y condiciona los procesos de apropiación por parte de los usuarios.

Tras realizar una visita a diversos escenarios deportivos en la ciudad de Cali, se identificó la existencia de espacios concebidos para la permanencia y otros que, sin haber sido diseñados con ese propósito, son adoptados por los usuarios como lugares de mayor

estancia. Estas dinámicas ponen en evidencia la relación directa entre las condiciones de radiación solar propias del clima tropical y las decisiones de uso del espacio. En este contexto, la investigación se centra intencionalmente en el análisis del Polideportivo Ciudad Los Álamos, un equipamiento que presenta variaciones significativas en su ocupación según el día y horario. Durante la semana, la permanencia de los usuarios se asocia principalmente a los horarios de las clases de patinaje o hockey, mientras que los fines de semana el espacio se consolida como un lugar de encuentro familiar vinculado a actividades deportivas, recreativas y de ocio.

No obstante, se observa que, frente a la alta exposición solar, los usuarios desarrollan estrategias informales para adaptar el entorno a sus necesidades de permanencia. Entre estas prácticas se identifican el uso de sombrillas en las graderías, la instalación de bancas con retazos de madera, la construcción artesanal de cubiertas con polisombras y la incorporación de elementos lúdicos como columpios hechos de llantas recicladas, apoyados en los árboles existentes. Estas acciones evidencian una respuesta directa a las condiciones de radiación solar y revelan una demanda no resuelta por el diseño arquitectónico preexistente, particularmente en relación con la provisión de sombra en las áreas de mayor permanencia.

Es aquí entonces, donde se destaca la importancia de la vocación del espacio y de la interacción de las personas con el entorno construido, en función de las condiciones climáticas. Se reconoce que estos lugares están destinados al uso y disfrute colectivo e individual, y que su permanencia en el tiempo depende de la capacidad del diseño para identificar y atender los aspectos susceptibles de mejora frente a las dinámicas actuales de uso y apropiación. A partir de esta reflexión surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo se podría **mejorar** el diseño arquitectónico de los espacios de mayor permanencia en un parque deportivo y recreativo en la ciudad de Santiago de Cali a través del análisis de radiación y rangos de tolerancia solar?

Objetivos

Objetivo general

Evaluar a través del análisis de radiación y rangos de tolerancia solar, el diseño arquitectónico de los espacios de mayor permanencia.

Objetivos específicos

- **Realizar** un diagnóstico de la exposición y rangos de tolerancia solar en los espacios de mayor permanencia.
- **Proponer** un diseño arquitectónico según los datos identificados, que permita conocer las ventajas y mejoras del diseño.
- **Analizar** el aporte del diseño arquitectónico propuesto sobre la integración de los datos de radiación y tolerancia solar.

Marco Teórico

El marco teórico y referencial comprende tres categorías que exponen conceptos teóricos y métricas esenciales para el desarrollo del proyecto. La primera categoría aborda el diseño arquitectónico orientado al desarrollo de espacios públicos de calidad; la segunda aborda los parámetros de diseño asociados a los espacios públicos destinados a la recreación activa y al deporte, con énfasis en la relación entre los usuarios, las áreas de estancia y su permanencia en ellas; la tercera categoría introduce la evaluación de áreas de estancia a partir del análisis de la radiación solar y los rangos de tolerancia solar, mediante simulaciones realizadas a través de modelos paramétricos.

Diseño Arquitectónico para el Desarrollo de Espacios Públicos de Calidad

Una definición adoptada por la Carta del Espacio Público (ONU-Hábitat, 2019) describe que: “Los espacios públicos son un elemento clave del bienestar individual y social, los lugares de la vida colectiva de una comunidad, la expresión de la diversidad de su patrimonio común cultural y natural, y un fundamento de su identidad...La comunidad se reconoce en sus espacios públicos y *persigue la mejoría de su calidad espacial.*”

Desde esta perspectiva, el diseño arquitectónico de los espacios públicos desempeña un papel fundamental en la configuración de entornos accesibles, inclusivos y funcionales para la comunidad. Jan Gehl señala que un espacio público de calidad debe responder a criterios que se agrupan en tres aspectos: protección, confort y disfrute. **La protección** se orienta a minimizar experiencias negativas como la delincuencia, la violencia o los accidentes; **el confort** se relaciona con las condiciones que permiten desarrollar actividades al aire libre y, en consecuencia, permanecer en un lugar; mientras que **el disfrute** se asocia a la experiencia sensorial positiva del espacio (ONU-Hábitat, 2019, p.40), dando lugar a expresiones como: “un lugar agradable para estar, encontrarse e invitar a otros”.

Si bien la percepción de calidad puede variar entre individuos, la guía global para el espacio público (ONU-Hábitat, 2019, p.63) plantea que cuando un espacio tiene una identidad clara puede definirse como “lugar”. En este sentido, el objetivo del diseño arquitectónico

debería ser que los espacios públicos se consoliden como escenarios donde las personas se encuentren como parte de sus actividades cotidianas, y no como elementos que dificulten o limiten su uso.

El análisis del espacio público no puede desvincularse del comportamiento y la experiencia de quienes lo utilizan. Jorge Hernán Salazar (2010), en su libro *Uso y apropiación de los espacios públicos*, enfatiza que “La apropiación es un fenómeno personal, subjetivo y a veces incluso inconsciente, pero que necesariamente manifiesta una intención de uso y por lo tanto, constituye una expresión de voluntad” (p.89). De acuerdo con este autor, la apropiación del espacio se ve influenciada por factores como la diversidad de actividades, el equilibrio social, el número de usuarios y los tiempos de permanencia.

En relación con las dinámicas de uso, Jan Gehl clasifica las actividades que se desarrollan en el espacio público en tres categorías: actividades necesarias, actividades opcionales y actividades sociales, tal como se expone en su libro: “La humanización del espacio urbano” (Gehl, 2006):

Las actividades necesarias corresponden a aquellas de carácter cotidiano u obligatorio, que se realizan durante todo el año y bajo casi cualquier condición ambiental, siendo relativamente independientes del entorno externo. En este caso, los participantes no tienen margen de elección (Gehl, 2006, p.17). No obstante, Gehl señala que cuando los ambientes exteriores presentan una buena calidad, estas actividades tienden a prolongarse, dando lugar a situaciones como detenerse, sentarse o interactuar, lo cual introduce actividades de tipo opcional.

Las actividades opcionales son aquellas en las que se participa únicamente cuando existe el deseo o cuando el tiempo y el lugar lo permiten o invitan a ello. Por esta razón, su desarrollo depende directamente de que las condiciones externas sean favorables. Ejemplos de estas actividades son pasear, sentarse a observar el entorno o disfrutar del clima.

Las actividades sociales, por su parte, son aquellas que dependen de la presencia de otras personas en el espacio público. Incluyen desde saludos y juegos infantiles hasta actividades comunitarias, así como formas de contacto pasivo como ver y oír a otros.

Para comprender el alcance del concepto de calidad en los espacios urbanos, resulta necesario integrar los aportes provenientes de la planificación y el diseño del urbanismo sustentable. Estos enfoques coinciden en que las condiciones climatológicas propias de cada lugar influyen directamente en la percepción de calidad y en la permanencia de las personas en los espacios exteriores.

En este contexto, adquiere relevancia el concepto de confort térmico, definido por la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE, 2020*) como *“aquella condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico”*. Givoni en 1981 (Perico, 2013) amplía esta noción al describir el confort térmico como la ausencia de sensaciones de incomodidad provocadas por el frío o el calor. No obstante, estudios realizados por Huntington en Estados Unidos, citados en el libro *Arquitectura y Clima* (Olgyay, 2006), evidencian que la percepción del confort no depende exclusivamente de la temperatura, sino que está condicionada a las reacciones físicas y psicológicas de las personas frente a múltiples elementos físicos del entorno, entre ellos factores lumínicos, acústicos, climáticos y espaciales.

En concordancia con lo anterior, el artículo *Microclima y Confort térmico Urbano* (Theran et al., 2019) señala que el diseño urbano debe orientarse a la construcción de espacios que permitan el esparcimiento, la relación, el descanso, el confort y el desarrollo de la cotidianidad, sin desvincularse del medio ambiente natural.

Por su parte, la arquitecta Julie A. Waldron (Waldron y Salazar, 2012), en su análisis del Parque Biblioteca Guayabal en Medellín, explora cómo el diseño arquitectónico incide en la percepción y el uso del espacio público por parte de la comunidad. La autora sostiene que *“La calidad ambiental en el diseño arquitectónico hace referencia a la capacidad de integrar las variables ambientales con los requerimientos humanos”*, señalando que los parámetros definidos por el cuerpo, las actividades a desarrollar y el funcionamiento del proyecto determinan las decisiones arquitectónicas finales.

En conjunto, estos aportes permiten comprender que la calidad del espacio público depende tanto de su configuración física como de la manera en que el diseño arquitectónico posibilita experiencias humanas diversas y satisfactorias. Aunque la percepción del confort y la calidad es subjetiva y variable entre individuos, el diseño arquitectónico tiene la responsabilidad de incorporar criterios que reconozcan al usuario como eje central del espacio público.

Parámetros de Diseño en Espacios Públicos Destinados a la Recreación Activa y Deportiva: Relación Entre los Usuarios y los Espacios de Permanencia

Desde una perspectiva normativa, el Manual de Elementos Constituidos del Espacio Público de Santiago de Cali (MECEP) (Alcaldía de Santiago de Cali, 2000) organiza el espacio público en siete subsistemas. Dentro de esta clasificación, los espacios destinados a la recreación activa y al deporte, como los parques polideportivos, se integran al Subsistema 3: sistema de espacio público de encuentro ciudadano y recreación. Este subsistema reúne áreas abiertas y equipamientos diseñados para favorecer la actividad física, el encuentro social y el uso comunitario. En el caso de los parques polideportivos, su infraestructura suele incorporar canchas, graderías, camerinos, cubiertas y servicios sanitarios, elementos que buscan asegurar condiciones adecuadas para el desarrollo de actividades deportivas y recreativas.

De manera complementaria, el Ministerio del Deporte de Colombia, a través del Manual para el diseño de Escenarios Deportivos (MED) (Departamento Administrativo del Deporte, la Recreación, la Actividad Física y el Aprovechamiento del Tiempo Libre COLDEPORTES, 2018), establece lineamientos técnicos relacionados con aspectos como la orientación, la zonificación, las dimensiones y la iluminación, orientados a asegurar condiciones apropiadas para la práctica deportiva. No obstante, como señala Jan Gehl (Gehl, 2011), el cumplimiento de requerimientos técnicos por sí solo no garantiza la calidad del espacio público si no se consideran las condiciones específicas del entorno y las dinámicas reales de uso. En este sentido, la ubicación en relación con los factores ambientales resulta

determinante para favorecer la permanencia y el uso efectivo de estos espacios.

Autores como Ester Higuera (Higuera, 2011), desde el enfoque del urbanismo bioclimático, refuerzan esta visión al entender la ciudad como un ecosistema urbano, en el cual las decisiones de diseño deben responder a la interacción entre el ambiente construido y las condiciones climáticas locales. Esta aproximación pone en evidencia que, más allá del cumplimiento de los requerimientos técnicos establecidos por el MED, es necesario incorporar criterios relacionados con la habitabilidad, la calidad espacial y las condiciones ambientales, especialmente en espacios públicos exteriores expuestos de manera directa a las variables climáticas.

En este marco, las zonas de estancia adquieren un papel fundamental dentro de los espacios públicos destinados a la recreación activa y al deporte, ya que permiten el descanso, el encuentro y la permanencia de los usuarios. De acuerdo con el Manual de adecuación del Espacio Público Efectivo (MaEPE) del Municipio de Santiago de Cali (Alcaldía de Santiago de Cali, 2018), estas zonas se definen como áreas duras adecuadas para la permanencia, dotadas tanto de elementos arquitectónicos como con elementos naturales. Su función principal es servir como espacios de apoyo a las zonas de recreación activa, facilitando condiciones para la estancia dentro del parque.

En concordancia con esta definición, el MaEPE establece una serie de aspectos y requisitos para el diseño de las zonas de estancia (**Tabla 1**), en los que se reconoce la importancia de la sombra, la disposición del mobiliario y la relación entre los elementos naturales y construidos como factores determinantes para la permanencia de los usuarios.

Si bien estos lineamientos se formulan desde un enfoque general y normativo, su inclusión en el marco teórico resulta pertinente, en la medida en que constituyen un antecedente técnico que respalda el objetivo del presente proyecto.

Tabla 1

Aspectos y requisitos para el diseño de las zonas de estancia según el MaEPE

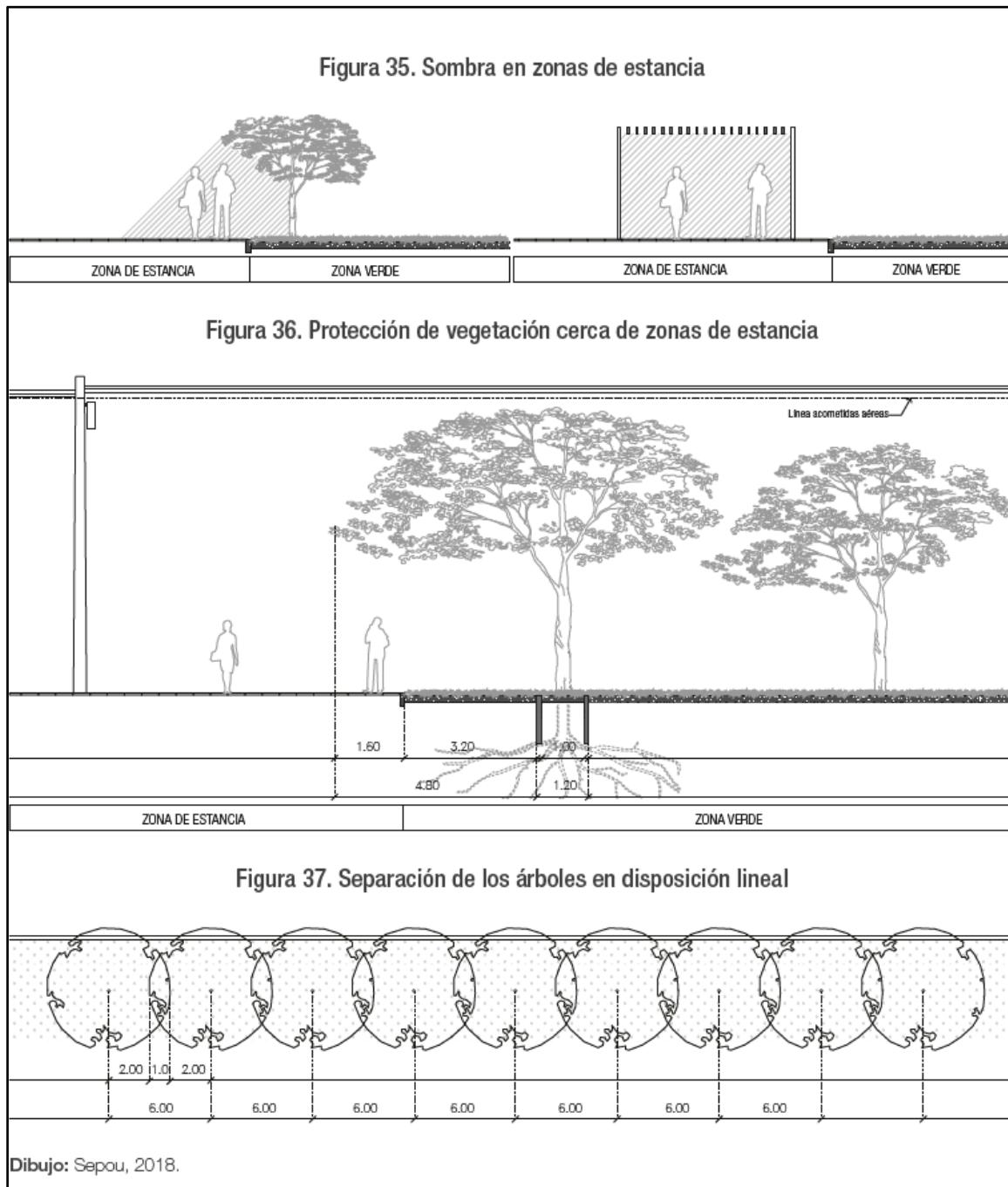
Aspecto	Requisitos y consideraciones
Protección solar	<ul style="list-style-type: none"> - Garantizar sombra en al menos el 30% del área - Priorizar arborización sobre pérgolas. - Ubicar zonas de estancia cerca de árboles maduros. - En espacios sin vegetación, plantar especies de rápido crecimiento (máx. 4 años), preferiblemente nativas. - Separar los árboles entre sí y de las zonas duras. - Usar materiales permeables para el suelo. - Considerar la dirección del viento para el confort térmico.
Pérgolas	<ul style="list-style-type: none"> - Altura máxima de 4m. - Permitir crecimiento de enredaderas. - Cumplir con normativas de MECOEP.
Dotación de mobiliario	<ul style="list-style-type: none"> - Bancas bajo sombra, agrupadas para interacción y cercanas a luminarias.

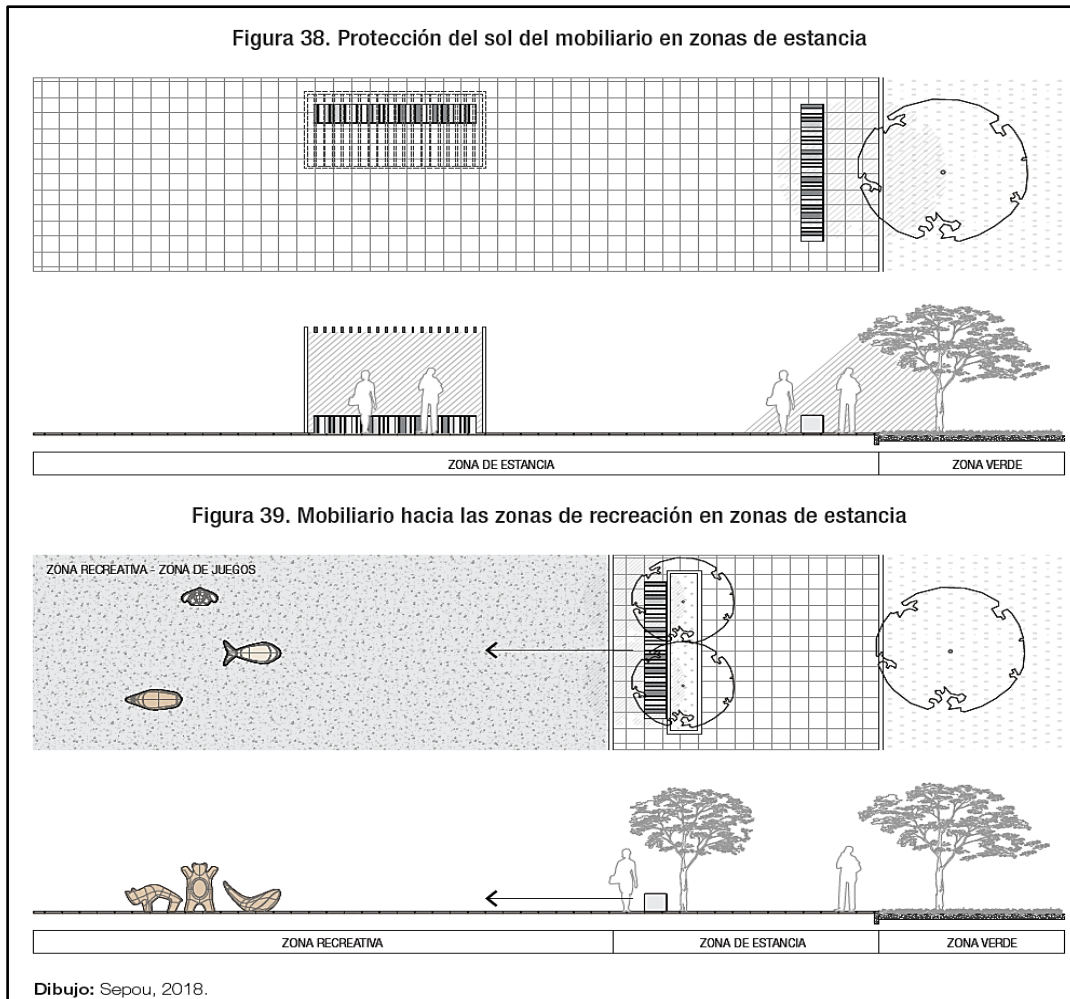
Nota. Adaptado de MaEPE (Alcaldía de Santiago de Cali, 2018).

A continuación, se presentan esquemas extraídos del manual (**Figura 1**), los cuales evidencian cómo la localización de la sombra, ya sea natural o construida, y del mobiliario no responde a decisiones aleatorias, sino que se vincula directamente al uso, la actividad y la dinámica del espacio.

Figura 1

Normativa para garantizar la protección solar y las disposiciones de dotación y vegetación en zonas de estancia





Nota. Obtenido de MaEPE, p.101 y 103 (Alcaldía de Santiago de Cali, 2018), Se describe la **Figura 1** de acuerdo con subtítulos contenidos: *Figura 36*, se debe contar con sistemas de contención de raíces para árboles contiguos a zonas de estancia, con el fin de evitar daños en suelos, mobiliario urbano y redes de servicios públicos. *Figura 37*, **separación entre árboles en disposición lineal sobre aceras**. Los árboles alineados deben disponerse de manera que la intersección entre copas no supere un tercio de su proyección. *Figura 38*, **protección solar del mobiliario en zonas de estancia**. Las bancas deben ubicarse bajo árboles o elementos que protejan al usuario del clima, así como cerca de luminarias para garantizar condiciones de seguridad. *Figura 39*: **Orientación del mobiliario hacia las zonas de recreación**. Cuando la zona de estancia forma parte de un nodo de juegos, las bancas deben disponerse de frente a los elementos recreativos, favoreciendo la supervisión y la permanencia.

Por otra parte, a partir del análisis de los capítulos 13 al 18 del libro *La Humanización del espacio público*, de Jan Gehl (Gehl, 2006), se identifican parámetros adicionales relevantes para el diseño de zonas de estancia (**Tabla 2**). Entre estos se destacan la calidad del espacio y los detalles del diseño, la ubicación estratégica de las áreas de permanencia, las condiciones para permanecer de pie o sentado, las posibilidades de observación e interacción social, la protección frente a factores climáticos, así como la multifuncionalidad y la experiencia integral del espacio.

Tabla 2

Parámetros de diseño basados en el libro Humanización del espacio público

Parámetro	Descripción
1 Calidad del espacio y Detalles de diseño	<ul style="list-style-type: none"> - La calidad del espacio exterior influye en la permanencia de las personas. - Un diseño detallado y bien ejecutado incrementa la funcionalidad y atractivo de las zonas de estancia. - La combinación de elementos arquitectónicos y naturales mejora la experiencia del usuario.
2 Ubicación estratégica de las zonas de estancia	<ul style="list-style-type: none"> - Deben ubicarse en espacios protegidos del sol intenso, viento y deslumbramiento. - La proximidad a áreas de alta actividad social y recreativa favorece su uso. - Las zonas de borde son preferidas por ofrecer ventajas visuales y psicológicas.
3 Condiciones para permanecer de pie	<ul style="list-style-type: none"> - Espacios con apoyos naturales o urbanos como retranqueos, columnas, árboles o bolardos. - Áreas donde las personas pueden detenerse espontáneamente, como escaleras o esquinas.
4 Condiciones para sentarse	<ul style="list-style-type: none"> - Disposición estratégica de asientos principales (bancos y sillas) en zonas con buena vista y confort climático. - Asientos secundarios y suplementarios (escalinatas, muros bajos, pedestales) que permitan una variedad de usos. - Cada 100 metros debe existir un asiento para facilitar el descanso, especialmente para adultos mayores.

5 Diseño para la observación y la interacción social	<ul style="list-style-type: none"> - Áreas con buena visibilidad (distancia de 25 metros para interacción social efectiva y hasta 100 metros para observar el entorno). - Iluminación adecuada que genere sensación de seguridad y confort visual. - Disposición de mobiliario que fomenta encuentros y conversaciones, como sillas en ángulo o mesas colectivas.
6 Protección y Confort Climático	<ul style="list-style-type: none"> - Espacios diseñados con microclimas confortables, incorporando árboles, setos y zonas cubiertas donde sean necesarios. - Equilibrio entre exposición al sol y la sombra para adaptarse a distintas preferencias y estaciones del año.
7 Multifuncionalidad y experiencia del espacio	<ul style="list-style-type: none"> - Incorporación de mobiliario urbano multifuncional (escalinatas con función de asiento y observación) - Creación de espacios que permitan diversas actividades: descanso, juego, contemplación, interacción. <ul style="list-style-type: none"> - Sensación de bienestar físico y psicológico mediante un diseño atractivo y de calidad.

Nota. Adaptado del libro Humanización del espacio urbano (Gehl, 2006).

Desde la perspectiva de Gehl (Gehl, 2006), *“la integración de varias actividades y funciones en los espacios públicos y a su alrededor permite que las personas implicadas actúen juntas y que se estimulen e inspiren unas a otras”*. Al fomentar la interacción entre diversas actividades, las barreras entre grupos se diluyen y los espacios de encuentro se fortalecen, contribuyendo a una mayor cohesión social y a un uso más activo del espacio público.

En relación con el contexto climático, Colombia se localiza en la franja tropical del planeta, caracterizada por condiciones climáticas relativamente constantes a lo largo del año. A diferencia de las zonas templadas, donde las estaciones generan variaciones significativas en la temperatura y la insolación, en el territorio colombiano estos factores presentan menor variabilidad. La radiación solar se mantiene de manera prácticamente uniforme durante los diferentes meses, y las temperaturas no registran cambios extremos, lo cual incide

directamente en la planificación urbana y en la necesidad de estrategias de diseño adaptadas a estas condiciones.

Finalmente, en concordancia con los estudios de Jorge Hernán Salazar (Salazar, 2010), el uso y la apropiación del espacio público no dependen exclusivamente de variables físicas y ambientales como la presencia de sombra, el viento o la dotación de mobiliario. Sus investigaciones evidencian que la intensidad de uso de un espacio está fuertemente influenciada por la dimensión cultural y social de los usuarios. En este sentido, el diseño de las zonas de estancias debe considerar no solo factores físicos y ambientales, sino también estrategias que favorezcan la apropiación espontánea y significativa del espacio, permitiendo la construcción de relaciones y fortaleciendo el sentido de pertenencia, lo cual contribuirá al uso cotidiano y disfrute del espacio (ejemplo **Figura 2**).

Figura 2

Ejemplo ilustrado del uso de zonas de estancia del espacio público



Nota. Imagen tomada del manual MaEPE, de una zona de estancia, Boulevard del Río - Santiago de Cali, Fotografía: Laura Santa, 2018 (Alcaldía de Santiago de Cali, 2018, p.98).

En síntesis, el diseño de espacios públicos destinados a la recreación activa y al deporte debe responder no solo a lineamientos técnicos y normativos, sino también a las condiciones climáticas y a sus dinámicas reales de uso. En una ciudad tropical como Santiago de Cali, la radiación solar constante exige la incorporación de estrategias que mejoren las

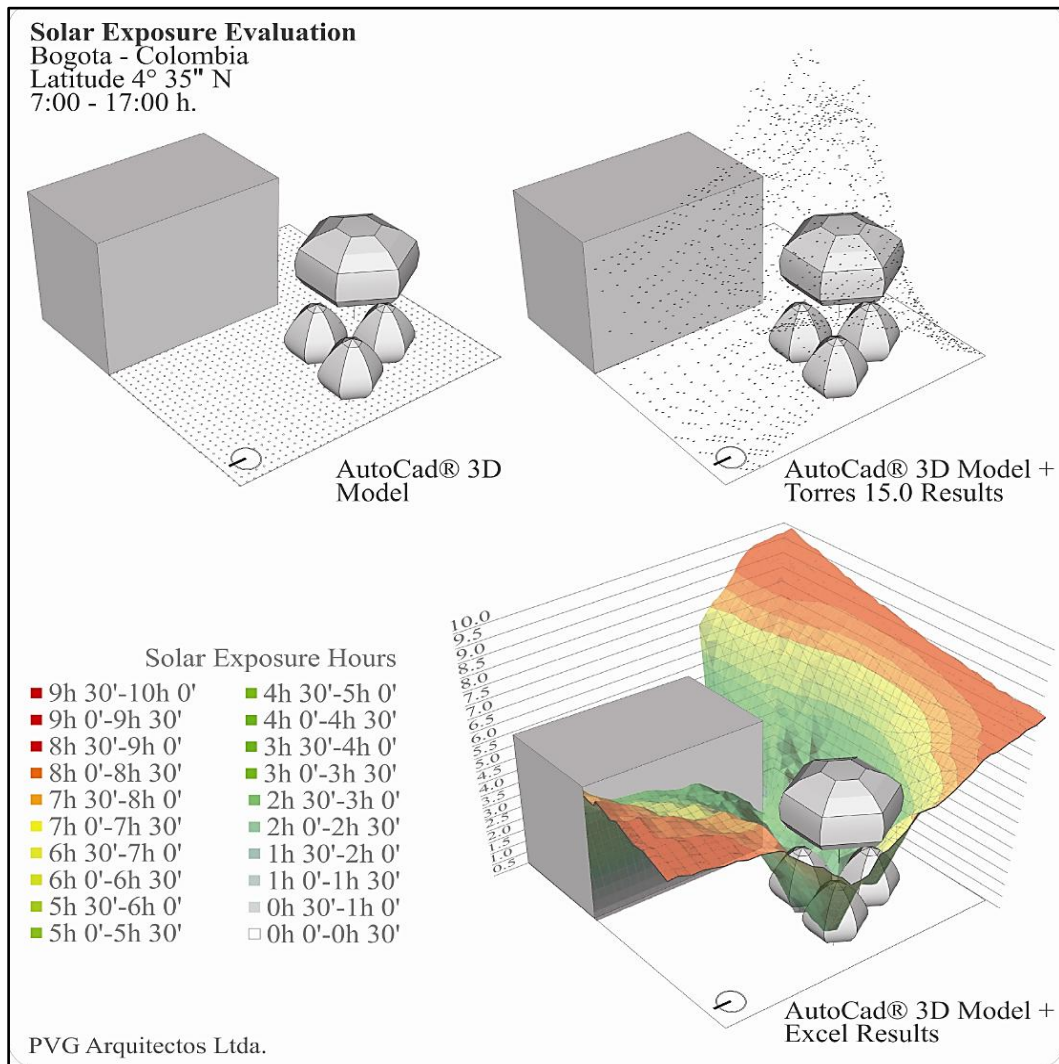
áreas donde las personas permanecen por más tiempo. A partir de este enfoque, se hace necesario profundizar en los parámetros de diseño que orientan la configuración de las zonas de estancia dentro del espacio público.

Evaluación de Áreas de Permanencia a Partir del Análisis de Simulaciones de Radiación Solar y Rangos de Tolerancia Solar a Través de Modelos Paramétricos

Como se ha señalado en los capítulos anteriores, en los ambientes tropicales la radiación solar constituye uno de los factores que mayor incidencia tiene sobre el comportamiento de los usuarios y sobre la elección de los lugares de permanencia dentro del espacio público. En su estudio sobre límites de confort térmico exterior para los entornos urbanos tropicales, Khandaker Shabbir Ahmed (2003) plantea que el sombreado debe considerarse una prioridad en el diseño de áreas peatonales, particularmente durante las horas centrales del día, entre las 10:30 a.m. y las 3:30 p.m. El autor señala que, en estos periodos, los dispositivos de sombra adquieren un papel determinante, al ofrecer protección efectiva frente a la radiación solar directa. Asimismo, destaca que las personas tienden a concentrarse en los espacios sombreados en climas cálidos, lo cual evidencia la relación directa entre la disponibilidad de sombra y permanencia en el espacio público. Esta aproximación refuerza la necesidad de evaluar la incidencia de la radiación solar sobre las áreas de estancia en ciudades tropicales como Santiago de Cali, considerando el sombreado como un componente estructural del diseño urbano. En este contexto, la presente investigación se apoya en la metodología desarrollada por Waldron y Salazar, en el artículo “Cálculo de áreas de permanencia en Espacios Públicos según condiciones simuladas de radiación solar” (Waldron y Salazar, 2013, traducción propia). Dicha metodología propone un procedimiento que vincula la insolación solar directa con los tiempos de uso que las personas están dispuestas a tolerar en espacios exteriores. Su incorporación resulta pertinente para los objetivos del presente proyecto, dado que parte de datos de simulación de radiación solar y permite reinterpretar dichos valores en categorías de permanencia asociadas a una actividad, según los rangos de tolerancia solar.

Figura 3

Evaluación de la exposición solar aplicada sobre un edificio y sus alrededores donde se ubican elementos naturales (vegetación)



Nota. Obtenido de Waldron y Salazar, 2013, p.217.

El método descrito por los autores emplea la rutina LISP Torres 15.0, ejecutada en AutoCAD, mediante la cual se simula “el promedio de horas de exposición a la radiación solar directa de un determinado punto en un periodo de tiempo específico, dentro de un modelo de edificio 3D” (**Figura 3**). Este ejercicio permite identificar, a través de una lectura cromática, los promedios de horas de exposición solar, donde los tonos rojos corresponden a las áreas con mayor insolación y los tonos grises aquellas con menor exposición.

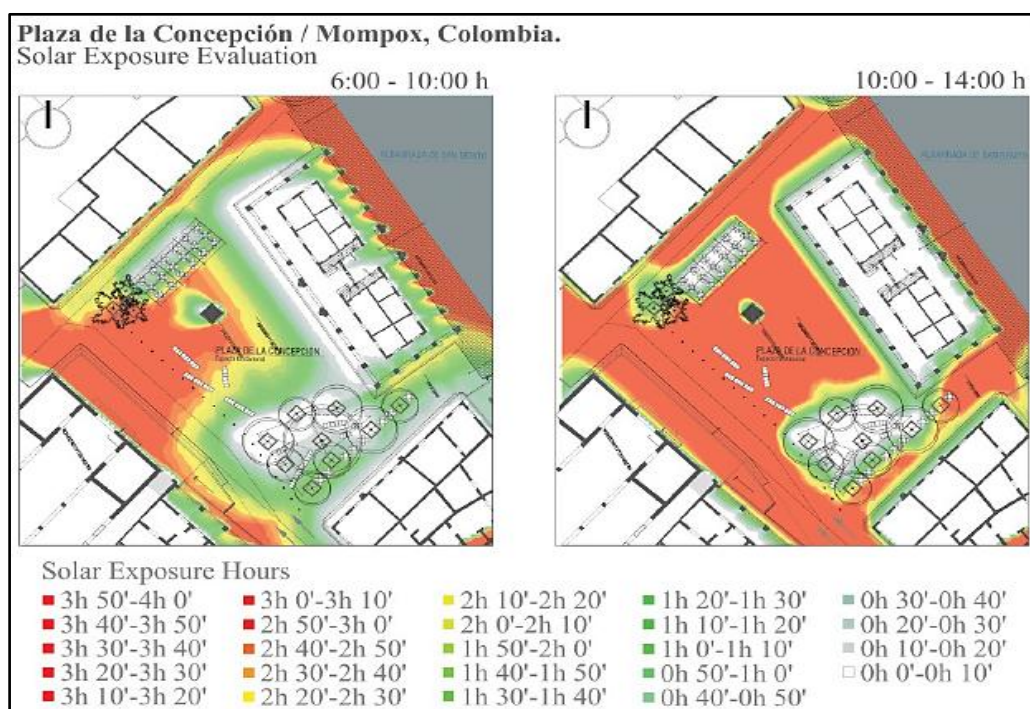
Una vez obtenidos los resultados de la simulación, los valores son reasignados para una nueva interpretación, en la cual dejan de representar únicamente niveles de exposición solar y pasan a interpretarse como tiempos de permanencia, de acuerdo con los rangos de tolerancia solar de las personas. En esta etapa, cada polilínea que correspondiente a un área previamente definida por color adquiere un nuevo significado y se reclasifica en cinco categorías (**Figura 4**): áreas de larga permanencia (insolación máxima promedio del 25%), áreas de corta permanencia (insolación máxima promedio del 50%), áreas de pausa (insolación máxima promedio del 75%), áreas de tráfico lento (insolación máxima promedio del 87%), y áreas de tráfico rápido (insolación máxima promedio del 100%) (**Tabla 3**).

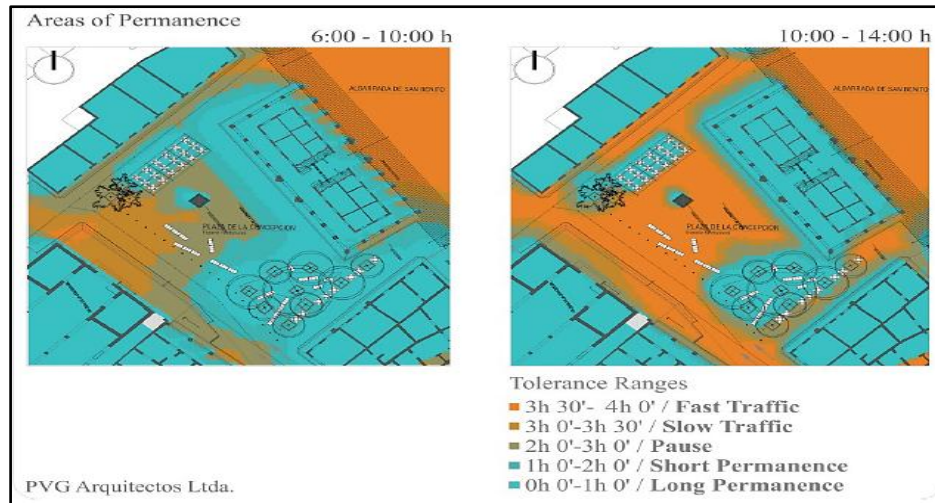
La integración de este enfoque permite establecer un marco cuantitativo para el diagnóstico de las condiciones actuales de exposición solar en las áreas de permanencia. Este análisis facilita la identificación de zonas críticas y aporta criterios técnicos que orientan las etapas posteriores del proyecto.

Figura 4

Evaluación de la exposición solar y áreas de permanencia aplicada a un caso de estudio

“Plaza de la Concepción” Mompox - Colombia



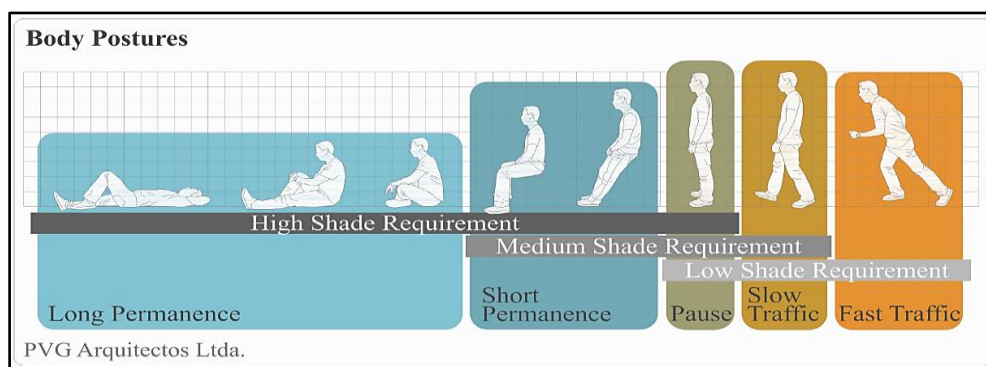


Nota. Tomada de la investigación “Cálculo de áreas de permanencia en espacios públicos, según condiciones simuladas de radiación solar” (Waldron y Salazar, 2013, traducción propia, p.221).

El diagnóstico implica una lectura detallada de los resultados obtenidos para cada espacio, considerando cómo la configuración geométrica, la vegetación existente, las superficies expuestas y la orientación inciden en la permanencia y en los rangos de tolerancia solar de los usuarios. Esta interpretación constituye la base para comprender el desempeño ambiental del espacio público objeto de estudio y para orientar de manera precisa la formulación de estrategias de mejora.

Figura 5

Posturas corporales estándar adoptadas en espacios públicos con colores de acuerdo a los rangos de tolerancia solar



Nota. Obtenido de Waldron y Salazar, 2013, p.219.

Cada rango de tolerancia solar se asocia a un umbral específico de exposición solar y se vincula con las actividades y posturas corporales que pueden sostenerse en cada categoría de permanencia (**Figura 5**). Tal como lo plantea Jorge Salazar Trujillo, de la Universidad Nacional de Colombia, en su libro “Uso y apropiación de los espacios públicos”, (Salazar, 2010), las posturas adoptadas por las personas en el espacio público responden a exigencias ergonómicas y ambientales que condicionan el tiempo que una persona puede permanecer en un lugar (**Tabla 3**). En este sentido, los rangos más favorables permiten estancias prolongadas, mientras que las categorías con mayor insolación limitan la permanencia y orientan hacia desplazamientos rápidos o pausas breves.

Tabla 3

Categorías de áreas de permanencia asociadas a una actividad según los rangos de tolerancia solar

Categorías de áreas de permanencia	Descripción del uso del espacio	Postura adoptada	Insolación máxima promedio
Larga permanencia	Zonas con sombra constante que permiten permanecer durante largos periodos del día	Acostado, sentado, sentado en posición de piernas cruzadas	25 %
Corta permanencia	Áreas con sombra parcial que permiten estancias intermitentes en distintos momentos del día	Sentado en posición estándar (90°), semisentado o ligeramente apoyado sobre superficie	50 %
Pausa	Sectores con sombra ocasional, permiten permanencias breves según la posición solar	De pie	75 %

Tráfico lento	Zonas aisladas con protección solar eventual, favorecen desplazamientos pausados o actividades transitorias	Caminando	87 %
Tráfico rápido	Áreas predominantes insoladas, con mínima o nula presencia de sombra, se asocian a desplazamientos acelerados	Caminando rápido o trotando	100 %

Nota. Adaptado de Waldron y Salazar, 2013.

El avance de las herramientas computacionales ha permitido integrar procesos de simulación ambiental en la arquitectura, transformando las etapas de análisis y toma de decisiones en los proyectos. Estas herramientas posibilitan la evaluación de variables como la incidencia de la radiación solar, la ventilación y la iluminación natural, permitiendo prever el comportamiento del proyecto en su entorno antes de su materialización, optimizar tiempos de análisis y reprocesos en etapas posteriores.

Según Blanca Conde Sacasas (Conde, 2014), los softwares basados en programación visual facilitan el diseño generativo al no requerir conocimientos avanzados de codificación, aunque sí demandan familiarización con la interfaz y la lógica de trabajo. Por su parte, Elizabeth Parra Correa (Parra, 2020), en su tesis de Maestría en Bioclimática, plantea una metodología de optimización multiobjetivo aplicada a estrategias bioclimáticas, concluyendo que la validación paralela entre metodologías tradicionales y computacionales permite mejorar la fiabilidad de los resultados y reducir el margen de error humano.

Previo a la selección del software, resulta fundamental comprender su estructura. Las herramientas computacionales de simulación ambiental integran algoritmos paramétricos y motores de simulación que permiten automatizar procesos de análisis. Los algoritmos paramétricos facilitan la generación y modificación de geometrías mediante la manipulación

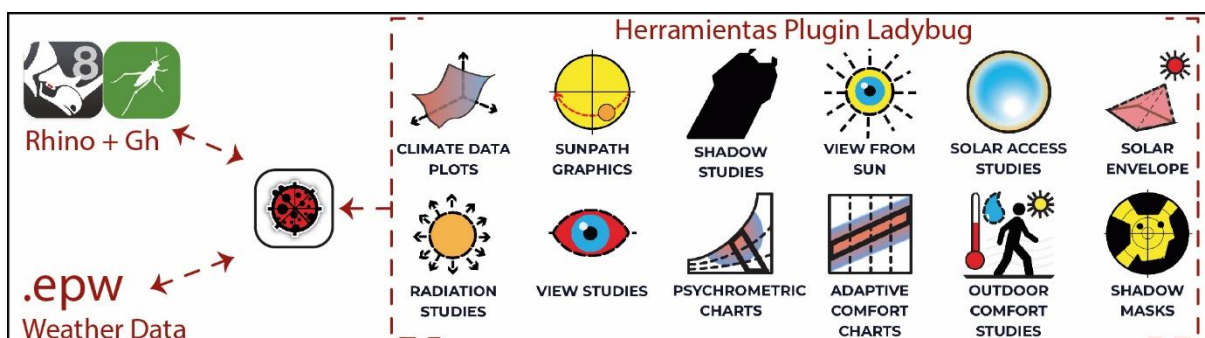
de parámetros de entrada, utilizando editores de algoritmos como *Grasshopper*, que se ejecuta dentro del software *Rhinoceros 3D*, y *Dynamo*, que puede funcionar como un programa independiente o como una extensión de Revit o Maya (Conde, 2014). Estas plataformas posibilitan la exploración de múltiples escenarios de diseño en función de variables específicas.

En coherencia con lo anterior, se seleccionó el complemento *Ladybug*, para *Grasshopper* y *Rhinoceros 3D*, debido a su capacidad para integrar datos climáticos y adaptarlos a criterios de análisis paramétrico. *Ladybug* permite importar archivos meteorológicos estándar EPW (por sus siglas en inglés *EnergyPLUS Weather*), directamente en el entorno de *Grasshopper*, facilitando el acceso a información ambiental georreferenciada del lugar de estudio. A partir de estos datos, la herramienta genera representaciones gráficas en 2D y 3D, como diagramas de radiación solar y estudios de horas de luz solar, entre otras, que apoyan la evaluación temprana de alternativas formales y ambientales del proyecto.

La integración de *Ladybug* con la programación visual de *Grasshopper* permite obtener la retroalimentación inmediata ante ajustes geométricos o paramétricos, favoreciendo la comparación entre escenarios y fortaleciendo la toma de decisiones en las primeras etapas del diseño. Esto posibilita optimizar la disposición de elementos arquitectónicos y de vegetación, orientando el proyecto hacia condiciones más favorables para la permanencia en el espacio público (**Figura 6**).

Figura 6

Herramientas plugin de Ladybug.



Nota. *Ladybug Tools*, disponible en <https://www.ladybug.tools/ladybug.html>.

Metodología

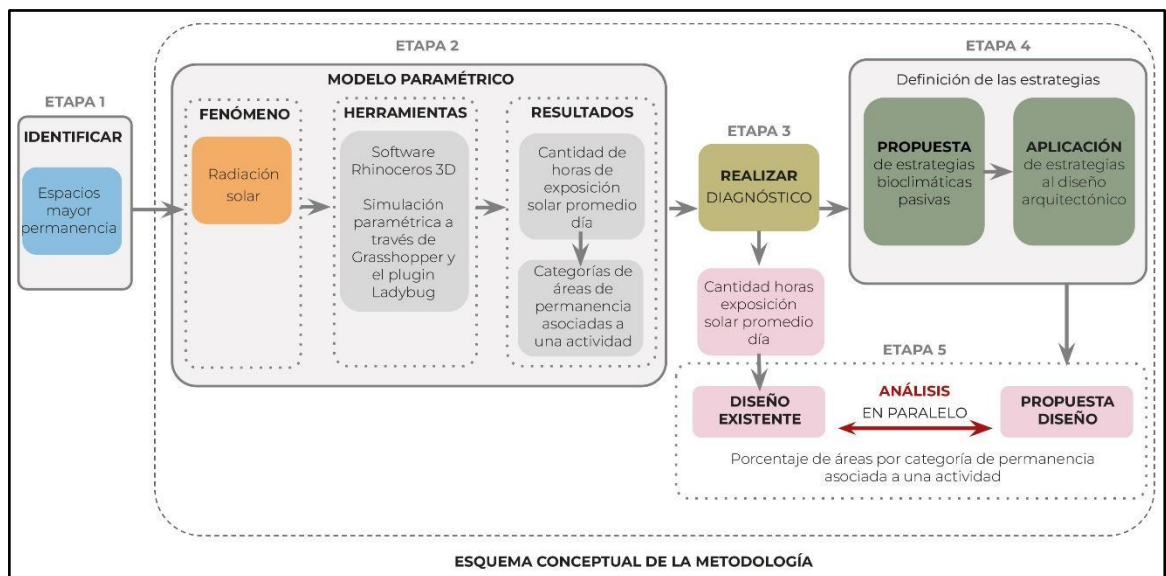
En este capítulo se presenta el proceso metodológico para el desarrollo de la propuesta de diseño arquitectónico, orientado a mejorar los espacios de mayor permanencia de un parque deportivo y recreativo seleccionado como caso de estudio. El proceso inicia con la identificación de los espacios de mayor permanencia y continúa con el desarrollo de un modelo paramétrico para el análisis del fenómeno de la radiación solar, mediante simulaciones realizadas a través de las herramientas *Grasshopper* y *Ladybug*.

Los resultados obtenidos permiten identificar la cantidad de horas de exposición solar en los espacios analizados, constituyéndose como el insumo principal para realizar el diagnóstico del diseño arquitectónico existente en relación con los rangos de tolerancia solar. A partir de este diagnóstico, se definen y aplican las estrategias bioclimáticas pasivas, que posteriormente son evaluadas mediante un análisis en paralelo entre la cantidad de horas de exposición solar y rangos de tolerancia del diseño existente y la propuesta de diseño.

A continuación, se presenta el esquema gráfico que resume las cinco etapas que estructuran la metodología, seguido de la descripción de cada una de ellas (**Figura 7**).

Figura 7

Esquema conceptual de la metodología



Nota. Metodología desarrollada para realizar propuesta de diseño arquitectónico con el fin de mejorar los espacios de mayor permanencia en un parque deportivo y recreativo.

Etapas 1: Identificar los Espacios de Mayor Permanencia

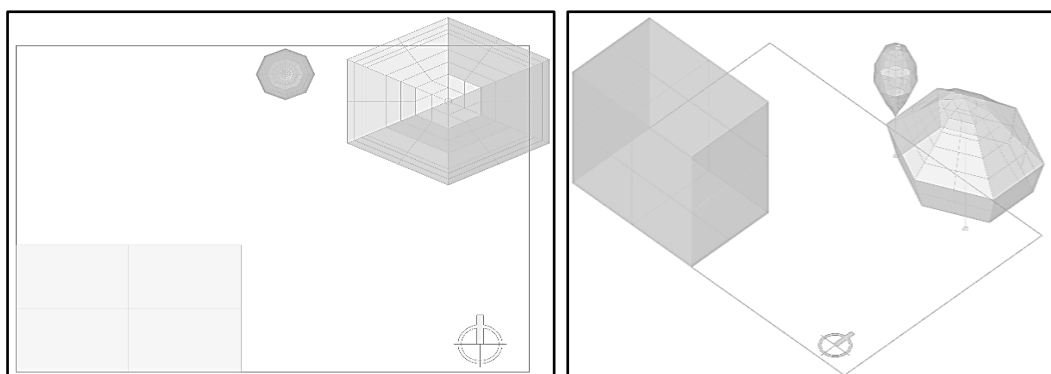
Esta primera etapa consiste en el reconocimiento del caso de estudio mediante visitas de observación, registro fotográfico y análisis de las dinámicas sociales presentes en el polideportivo. Se busca identificar las zonas donde las personas permanecen por más tiempo o realizan actividades recurrentes, distinguiendo aquellas áreas donde la radiación solar puede tener un impacto más significativo sobre la experiencia del usuario. El propósito de esta etapa es delimitar los espacios representativos que serán analizados posteriormente en las simulaciones ambientales.

Etapas 2: Desarrollo de Modelo Paramétrico

Una vez delimitados los espacios de interés, se construye un modelo tridimensional del espacio en el Software *Rhinceros* 3D, incorporando la geometría, los elementos arquitectónicos relevantes y la vegetación existente (**Figura 8**). Este modelo se vincula con la interfaz visual de *Grasshopper*, donde se configura el sistema paramétrico que permitirá realizar las simulaciones ambientales.

Figura 8

Ejemplo de visualización de traducción geométrica del entorno construido. Uso de Grasshopper

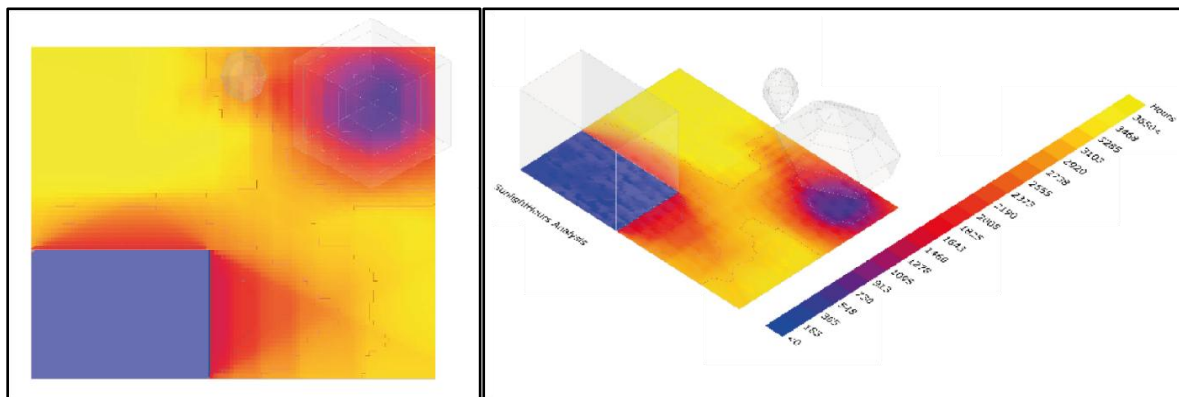


Nota. Ejemplo de visualización de traducción geométrica del entorno construido, incluyendo elementos naturales (vegetación) en la herramienta *Grasshopper*. Fuente: Elaboración propia.

A través del plugin *Ladybug*, se elabora un algoritmo de análisis solar que integra los datos climáticos del archivo EPW (por sus siglas en inglés *EnergyPlus Weather*) seleccionado y la geometría del modelo. Este algoritmo no solo calcula las horas de exposición solar sobre las superficies analizadas, sino que también genera una malla de resultados que puede subdividirse en subáreas según el número de horas de insolación recibidas (**Figura 9**). Esta característica resulta fundamental, ya que permite convertir la información obtenida en un insumo directo para la clasificación posterior en categorías de áreas de permanencia asociadas a una actividad, según los rangos de tolerancia solar.

Figura 9

Ejemplificación de simulación de horas de radiación solar- Uso de Ladybug



Nota. Ejemplo de visualización del resultado de la simulación de horas de radiación solar realizada con el componente Ladybug. Fuente. Elaboración propia.

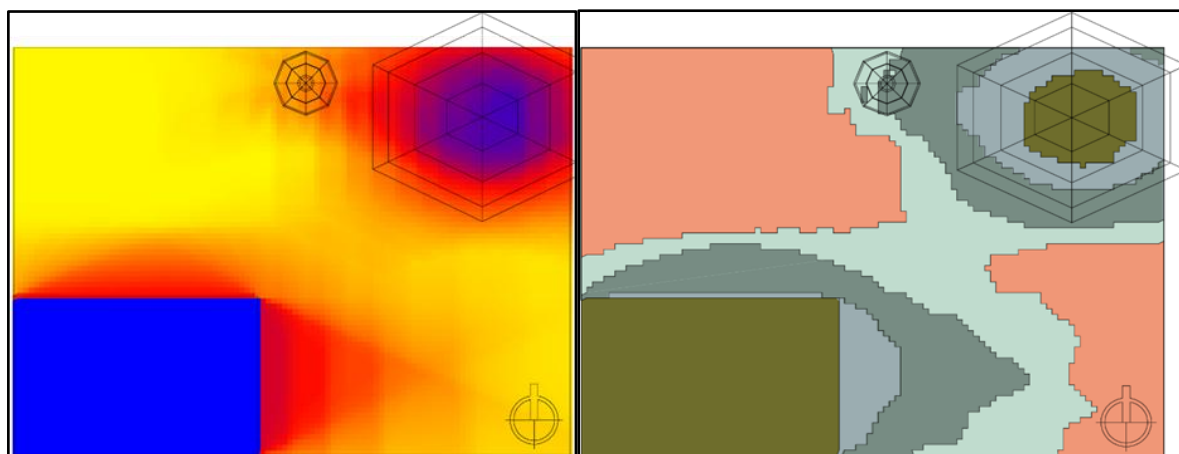
Etapas 3: Realizar Diagnóstico del Modelo Paramétrico

Concluidas la etapa 1 y 2, en las que se identificaron los espacios de mayor permanencia y se desarrolló un modelo paramétrico, esta fase se concentra en diagnosticar los resultados obtenidos en la simulación solar realizada sobre dicho modelo. A partir de la malla generada por *Ladybug*, dividida en subáreas según las horas de exposición solar, se incorpora la metodología propuesta por Waldron y Salazar (2013), que permite reinterpretar estos valores como rangos de tolerancia solar y clasificarlos en las cinco categorías de áreas de permanencia asociadas a una actividad (**Figura 10**). Las polilíneas obtenidas en el

algoritmo facilitan la asignación de una colorimetría diferenciada, lo que complementa la lectura gráfica con un análisis cuantitativo. Esto hace posible calcular las áreas en metros cuadrados (m^2) y establecer qué porcentaje del espacio corresponde a cada categoría de área de permanencia según las condiciones simuladas de radiación solar.

Figura 10

Ejemplificación de traducción de resultados de simulación de horas de radiación solar a una nueva colorimetría



HORAS RADIACIÓN SOLAR	RANGOS DE TOLERANCIA SOLAR	CATEGORÍAS DE ÁREA DE PERMANENCIA	INSOLACIÓN MÁX. PROMEDIO
Yellow	Red	TRÁFICO RÁPIDO	100%
Light Orange	Light Green	TRÁFICO LENTO	87%
Orange	Dark Green	PAUSA	75%
Dark Orange	Grey	PERMANENCIA CORTA	50%
Purple	Olive Green	PERMANENCIA LARGA	25%
Blue			

Nota. Ejemplo de traducción de los resultados de simulación de horas de radiación solar a una nueva colorimetría que reinterpreta estos valores como rangos de tolerancia solar y permite clasificarlos en cinco categorías de áreas de permanencia. Esta reclasificación permite calcular las áreas de permanencia según las condiciones simuladas de radiación solar, conforme a los criterios establecidos en la metodología de Waldron y Salazar (2013).

Fuente: Elaboración propia.

Etapas 4: Definición de las Estrategias Bioclimáticas Pasivas

Con base en el diagnóstico anterior, se formulan estrategias de diseño orientadas a mejorar las condiciones de exposición solar en los espacios de mayor permanencia. Estas estrategias consideran elementos como estructuras de sombra, vegetación complementaria, cubiertas ligeras y ajustes arquitectónicos que permitan ampliar los periodos de tolerancia solar. En esta etapa se define la propuesta de diseño arquitectónico, se integran al modelo paramétrico y se preparan para su posterior evaluación ambiental.

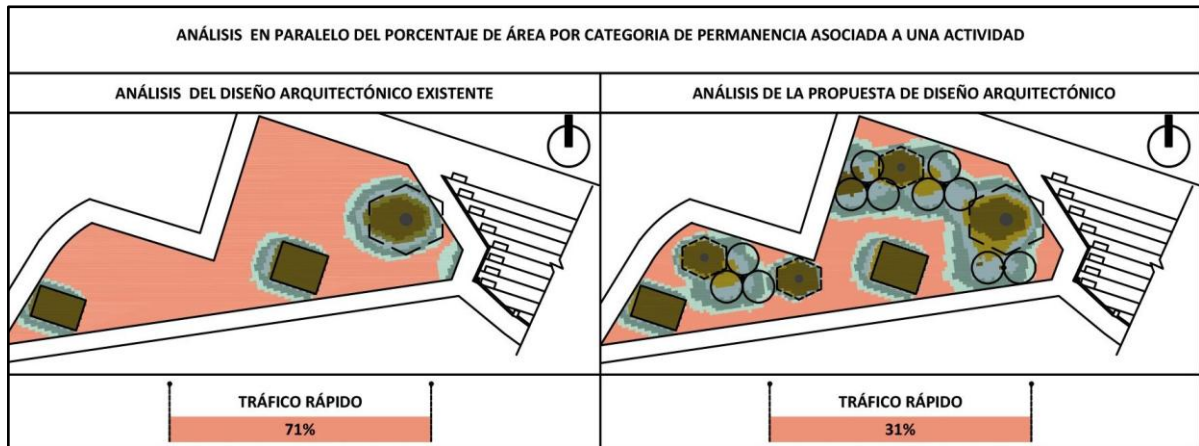
Etapas 5: Análisis en Paralelo del Porcentaje de Área por Categoría de Permanencia Asociada a una Actividad en el Diseño Arquitectónico Existente y en la Propuesta

Finalmente, se realiza un análisis en paralelo entre el comportamiento solar del diseño existente y la propuesta de diseño arquitectónico a partir de las estrategias definidas, ambos simulados bajo las mismas condiciones ambientales y parámetros metodológicos.

La comparación se fundamenta en la traducción de los resultados de cantidad de horas de exposición solar promedio día en rangos de tolerancia solar y en las cinco categorías de áreas de permanencia asociadas a una actividad. A partir de la colorimetría y las polilíneas generadas por el modelo paramétrico, se calculan las áreas en metros cuadrados (m^2), con el fin de determinar el área total y el porcentaje (%) del espacio que resulta adecuada para largas, medias o cortas permanencias, según las condiciones micro climáticas generadas (**Figura 11**). De este modo, se evidencia de manera cuantificable el impacto de la propuesta de diseño arquitectónico sobre la habitabilidad y permanencia del espacio.

Figura 11

Ejemplificación de análisis en paralelo del porcentaje de área por categoría de área de permanencia



Nota. Ejemplo de un ejercicio de análisis en paralelo del porcentaje de área por categoría de permanencia asociada a una actividad. Análisis del diseño arquitectónico existente y la propuesta de diseño arquitectónico bajo las mismas condiciones ambientales. Fuente: Elaboración propia.

En el estado actual, la limitada presencia de sombra concentra el 71% del área en la categoría de tráfico rápido. En la propuesta, la incorporación de estrategias de control solar reduce esta categoría al 31%, favoreciendo superficies aptas para permanencias más prolongadas y evidenciando el impacto del diseño en la habitabilidad del espacio.

Caso de Estudio

La aplicación de la metodología anteriormente propuesta se desarrolla a partir de un caso de estudio con el fin de analizar su desempeño; este se expone a continuación. Se seleccionó para ello un espacio público de carácter deportivo y alta afluencia, con áreas duras, áreas blandas, vegetación e infraestructura en buen estado, donde las dinámicas de permanencia al aire libre permiten observar patrones con precisión cómo la exposición solar influye en el uso y apropiación del espacio.

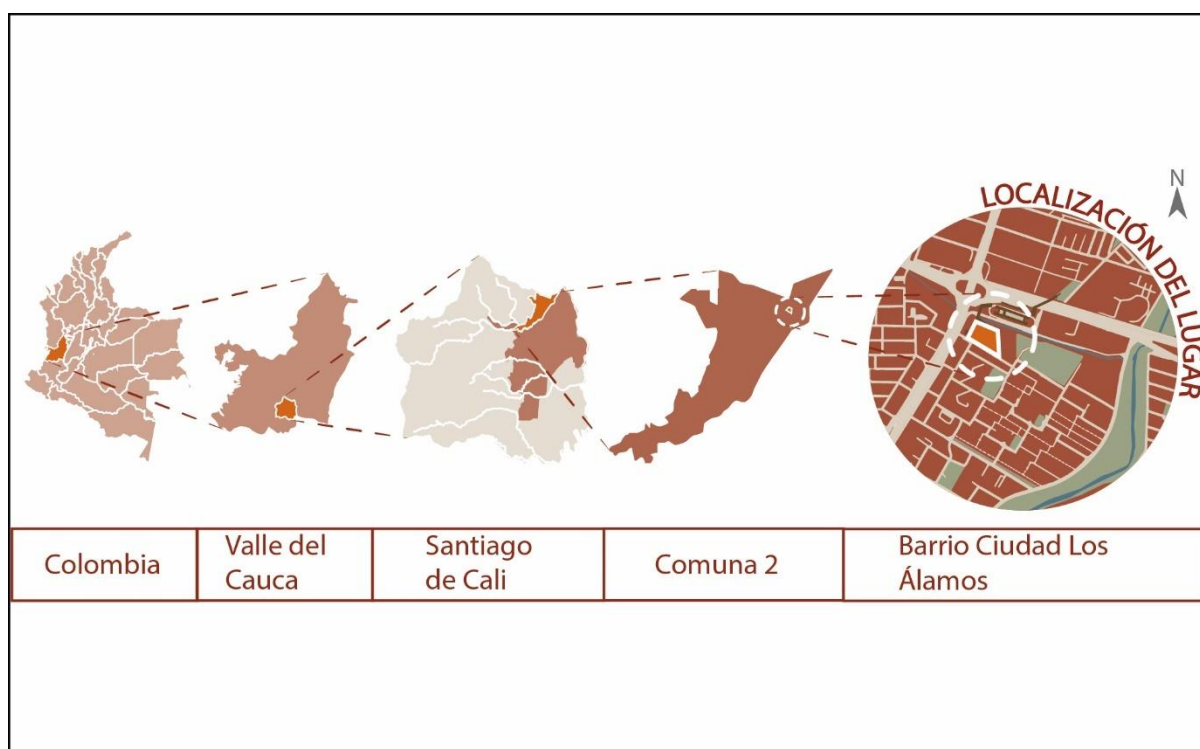
Descripción del Proyecto

Localización

El caso de estudio seleccionado corresponde al Polideportivo Ciudad Los Álamos, en la ciudad de Santiago de Cali, el cual se asumió como unidad principal de observación para el desarrollo de la investigación (**Figura 12**).

Figura 12

Esquema de localización caso de estudio



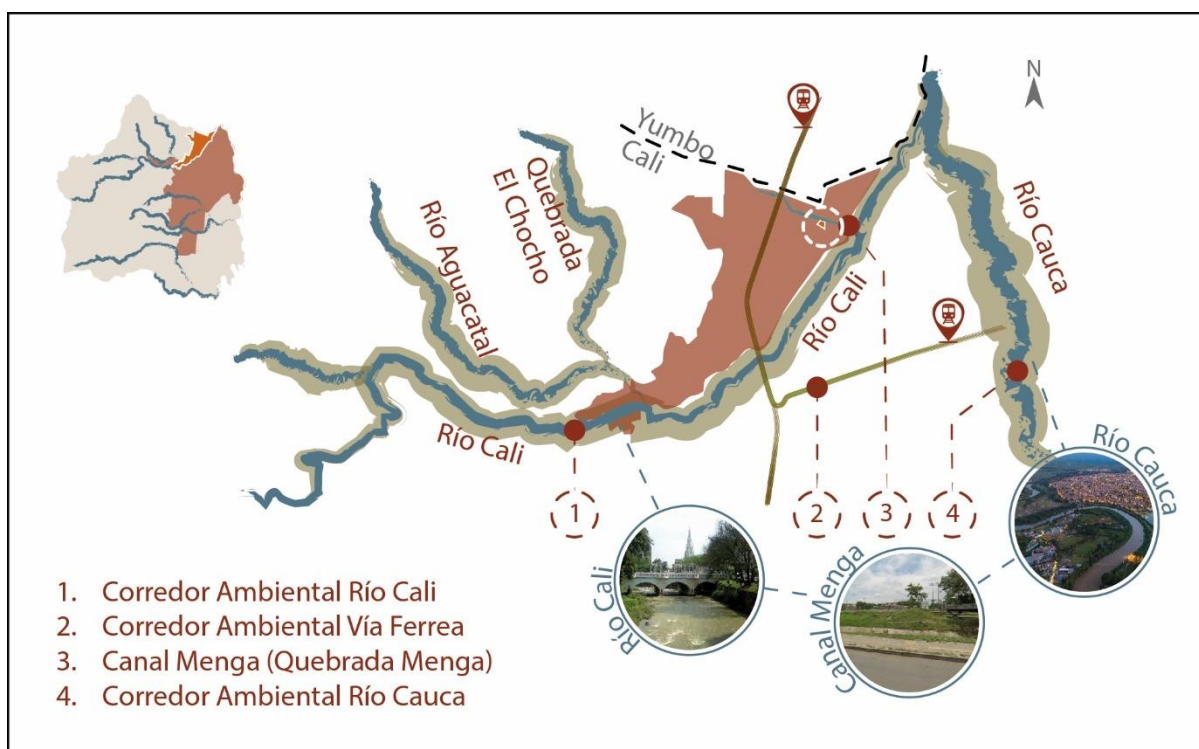
Nota. Esquema de localización caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Condiciones ambientales urbanas:

Entre sus componentes ambientales a nivel urbano se destaca su proximidad al corredor ambiental Río Cali, parte de la estructura ecológica principal de la ciudad, así como su cercanía al canal Menga, quebrada Menga, desembocando al río Cali. Hacia el occidente se encuentra el corredor ambiental de la vía férrea, correspondiente a la estructura ecológica complementaria, además de otras fuentes hídricas y corredores verdes de relevancia ecológica para el entorno urbano (**Figura 13**).

Figura 13

Esquema de condiciones ambientales urbanas



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Condiciones climáticas urbanas:

El estudio climático del área de estudio se realizó con base en los registros de la estación ERA (Evaluación de la Red Atmosférica) a cargo de la entidad DAGMA (Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente) ubicada en el barrio Obrero, Comuna 9 de la ciudad Santiago de Cali. A partir de este archivo climático tipo EPW (*EnergyPlus Weather File*), que contiene datos horarios de radiación solar y temperatura,

entre otros, mediante el entorno paramétrico *Ladybug – Grasshopper* se extrajeron los gráficos de temperatura promedio anual y la rosa de radiación solar, con el fin de reconocer las condiciones térmicas y de exposición solar características del escenario elegido.

Comportamiento térmico anual:

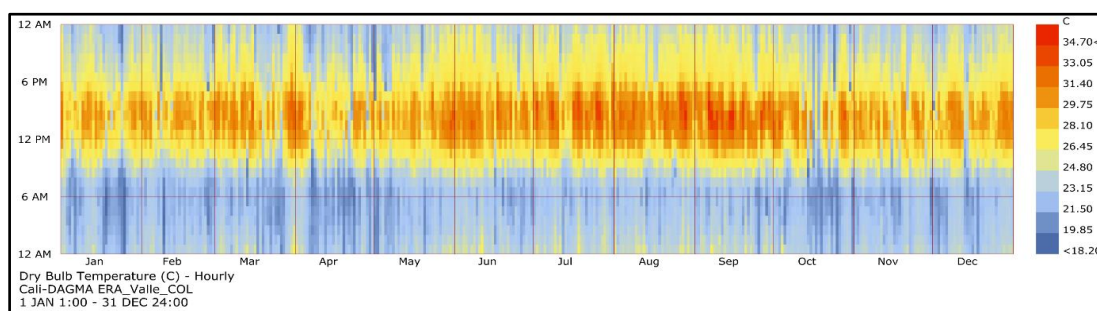
Según la Resolución del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT) 0549 del 10 de julio de 2015, en su Anexo No.1 *Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones* (MVCT, 2015), el Distrito de Cali se clasifica como zona de clima cálido seco, caracterizada por temperaturas medias superiores a los 24 °C y niveles de humedad relativa inferiores al 75%.

El gráfico de temperatura (**Figura 14**) evidencia valores estables durante gran parte del año, con ligeras oscilaciones entre los meses. Se observa una tendencia al incremento térmico entre junio y septiembre, periodo que coincide con la mayor altura solar asociada al solsticio de verano, mientras que los meses de abril, mayo, octubre y noviembre presentan un leve descenso térmico asociado a los periodos cercanos a los equinoccios, cuando la radiación solar se disminuye de manera más equilibrada y suelen intensificarse las condiciones de nubosidad y precipitación.

En términos generales, el comportamiento térmico se podría percibir constante, lo que indica una alta estabilidad climática, propia de zonas intertropicales, donde la variación estacional es reducida y los cambios térmicos anuales responden más a la posición solar que a contrastes marcados entre estaciones.

Figura 14

Gráfico de temperatura anual de Cali, según la estación climática DAGMA-ERA



Nota. Fuente Ladybug Tools, disponible en <https://www.ladybug.tools/ladybug.html>.

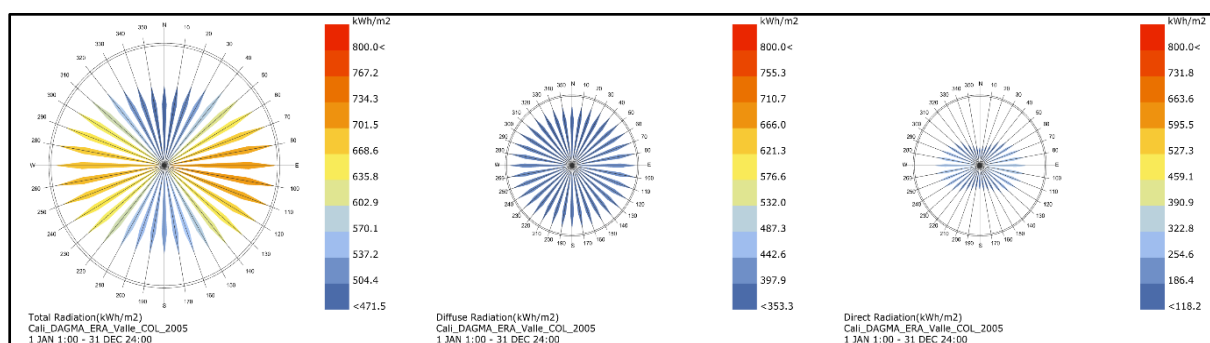
Distribución de radiación solar:

La rosa de radiación solar (**Figura 15**) evidencia que la mayor incidencia anual de energía solar en el área de estudio se concentra en las orientaciones este y oeste, tanto en términos de intensidad como de frecuencia. Este comportamiento indica que las superficies expuestas hacia estas direcciones reciben los mayores aportes de energía solar a lo largo del año. Además, el diagrama presenta una distribución prácticamente simétrica entre las orientaciones norte y sur, lo cual representa la localización del caso de estudio en un contexto próximo a la línea ecuatorial.

Por su parte, la lectura comparada de las rosas de radiación total, directa y difusa muestra un aporte significativo de radiación difusa, lo que sugiere condiciones atmosféricas asociadas a cielos parcialmente nublados durante el año. Este resultado permite comprender que la energía solar incidente no se presenta únicamente como radiación directa, sino que se distribuye de manera más homogénea sobre el espacio, aspecto que incide en la definición de estrategias de protección solar de las áreas de permanencia.

Figura 15

Rosa de radiación solar



Nota. Fuente Ladybug Tools, disponible en <https://www.ladybug.tools/ladybug.html>.

Implicaciones para el contexto de estudio:

El análisis confirma que Santiago de Cali presenta un régimen de alta insolación y temperaturas elevadas durante la mayor parte del año, características que condicionan en confort y sensación térmica de los usuarios en espacios abiertos. Por tanto, los resultados obtenidos servirán como base para orientar las simulaciones del modelo paramétrico,

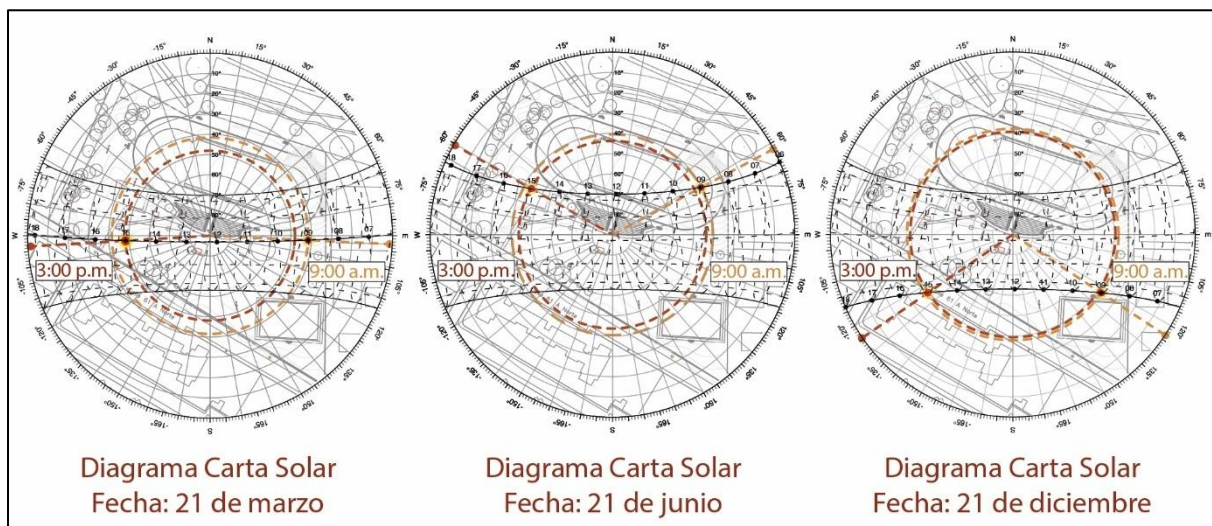
identificando las zonas críticas de exposición solar y fundamentando la formulación de estrategias y la propuesta sobre el diseño existente.

Carta solar localizada en el caso de estudio:

La carta solar (**Figura 16**) permite identificar la trayectoria aparente del sol sobre el caso de estudio, en esta representación se eligió tres momentos del año: equinoccio de marzo, solsticio de junio y solsticio de diciembre, con el fin de comprender la variación estacional de la radiación solar y su incidencia directa sobre los espacios de permanencia del Polideportivo.

Figura 16

Carta solar localizada en el caso de estudio



- 21 de marzo - Equinoccio de primavera: En este periodo, el recorrido solar se distribuye de manera equilibrada entre los hemisferios norte y sur, condición propia de latitudes cercanas a la línea ecuatorial. En el caso de estudio, el sol presenta alturas solares aproximadas de 40° a las 9:00 a.m. y cercanas a 50° hacia las 3:00 p.m., con azimut de aproximadamente 95° en la mañana y -95° en la tarde.
- 21 de junio - Solsticio de verano: En este periodo, el sol alcanza su máxima altura hacia el hemisferio norte, modificando su trayectoria respecto al equinoccio. En el caso de estudio, las alturas solares se sitúan alrededor de 40° a las 9:00 a.m. y cercanas a 45°

hacia las 3:00 p.m., con valores de azimut aproximados de 60° en la mañana y -60° en la tarde.

- 21 de diciembre - solsticio de invierno: En este periodo, el sol se desplaza hacia el hemisferio sur, generando una disminución relativa en la altura solar respecto a los otros momentos analizados. Para el caso de estudio, las alturas solares oscilan aproximadamente entre 35° a las 9:00 a.m. y 40° hacia las 3:00 p.m., con un azimut cercano a 125° en la mañana y -125° en la tarde.

En conjunto, las cartas solares analizadas evidencian variaciones en la trayectoria, altura y orientación del sol a lo largo del año, que se reflejan en cambios en las condiciones de exposición solar del caso de estudio. Mientras que en el equinoccio se presenta una distribución más equilibrada de la radiación entre la mañana y la tarde, en el solsticio de junio se identifican mayores niveles de exposición directa asociados a ángulos solares más exigentes. Por su parte, el solsticio de diciembre muestra un recorrido solar desplazado hacia el hemisferio sur, con alturas menores que podrían permitir sombreamientos más prolongados. Estas diferencias permiten reconocer cómo la geometría solar incide sobre las áreas de mayor permanencia, información clave para evidenciar las condiciones de protección solar preexistentes del polideportivo.

Figura 17

Diagrama rosa de vientos según estación climática barrio La Flora

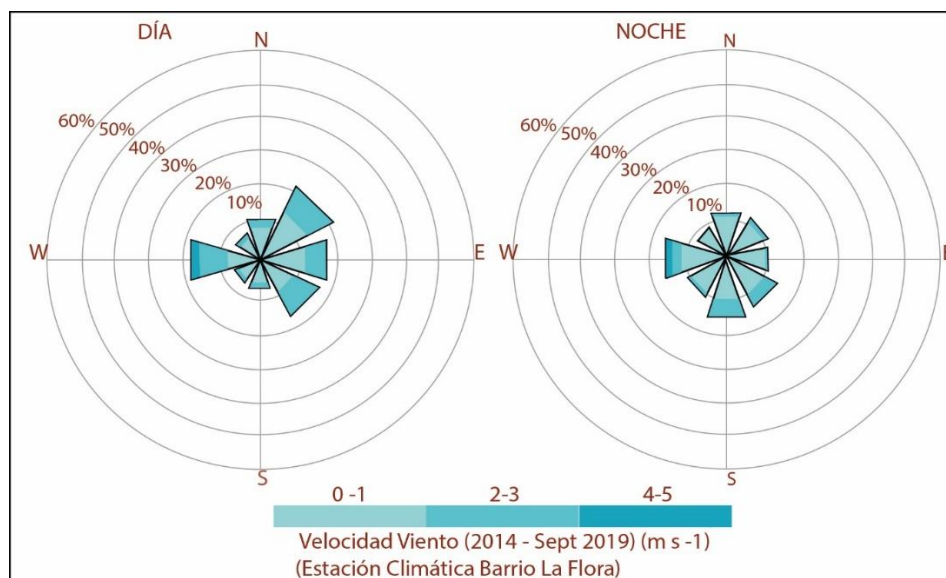


Diagrama rosa de viento según estación climática Barrio La Flora:

El diagrama muestra dos rosas de vientos (**Figura 17**): una para el día y otra para la noche, construidas a partir de datos de 2014-2019 en la estación climática Barrio La Flora. Cada pétalo indica desde qué dirección sopla el viento, mientras que su longitud señala la frecuencia con la que registra esa dirección. La escala cromática complementa la lectura del gráfico al indicar los rangos de velocidad: tonos azul más claro para velocidades entre 0-1 m/s, azul medio para valores entre 2-3 m/s, y azul oscuro para velocidades entre 4-5 m/s.

- **Durante el día:** El viento llega predominante desde el noreste (NE) y el oeste (W), con velocidades bajas a moderadas. Esto podría favorecer la ventilación cruzada si se abren espacios en esas direcciones.
- **Durante la noche:** Los vientos son más débiles y dispersos en dirección, con ligeros aportes desde N, NE y W. La ventilación natural disminuye, lo que implica posiblemente una menor disipación de calor nocturno.

En conclusión, se podría determinar que la ventilación más efectiva se encuentra en la dirección noreste (NE) y oeste (W) durante el día y en cuanto a las condiciones nocturnas, al presentar condiciones de menor velocidad, podría representar el uso de vegetación y sombreado para evitar “acumulación”.

Condiciones de conectividad de equipamientos urbanos:

En cuanto al componente de conectividad, la ubicación del polideportivo hace parte de un nodo de equipamientos urbanos, encontrando hacia el norte cuenta con una terminal del Sistema Integrado de transporte Masivo (MIO), lo que refuerza su conexión con otros espacios de vocación recreativa, educativa y deportiva (**Figura 18**). Entre los principales puntos de referencia se encuentran:

1. Polideportivo Ciudad Los Álamos.
2. Institución educativa Técnico de Comercio Santa Cecilia.
3. Unidad Recreativa Rincón Pacará.
4. Terminal del MIO Menga.

5. Caseta Comunal.
6. Unidad Recreativa Ciudad los Álamos.
7. Iglesia La Inmaculada Concepción.
8. Institución educativa Técnico de Comercio Santa Cecilia Sede 2.
9. Centro Unificado de información de tránsito y transporte.
10. Cuerpo de Bomberos Voluntarios.
11. Unidad Recreativa Parque del Amor.
12. Unidad Recreativa Los Guadales.

Figura 18

Esquema de conectividad de equipamientos urbanos



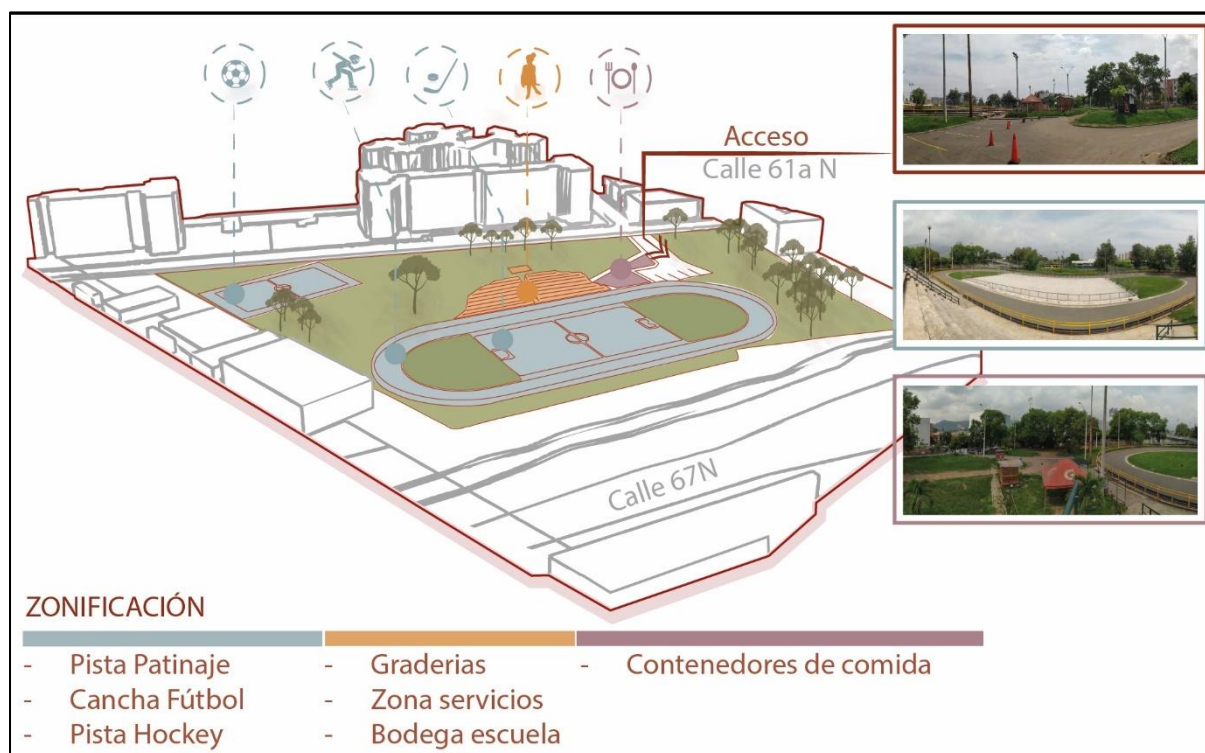
Descripción técnica Polideportivo Ciudad Los Álamos:

En su descripción técnica, el Polideportivo Ciudad Los Álamos se configura como un equipamiento público con cerramiento perimetral y accesos controlados, que ocupa un área aproximada de 11.735,18 m². El espacio cuenta con una zonificación funcional que organiza

las diferentes áreas de uso (**Figura 19**), integrando pista de patinaje y hockey, cancha sintética de fútbol, graderías, zona de parqueo, batería sanitaria, áreas de servicios generales y espacios con contenedores de comida instalados por la comunidad.

Figura 19

Esquema de zonificación Polideportivo Ciudad Los Álamos



El espacio presenta actividad continua durante la semana y los fines de semana. Según información suministrada por la escuela de patinaje Graco, el uso del escenario se organiza de la siguiente manera:

- Clases de formación: martes, jueves y sábados de 6:00 p.m. a 7:00 p.m. y de 7:00 p.m. a 8:00 p.m.
- Clases para adultos: martes y jueves de 7:00 p.m. a 8:00 p.m.
- Clases para carreras: martes y jueves de 7:00 p.m. a 9:00 p.m. y sábados de 4:00 p.m. a 6:00 p.m.
- Clases de patinaje artístico: martes y jueves de 7:00 – 8:30 p.m.

Los días domingos el acceso es libre para el uso comunitario, lo que refuerza su carácter de espacio público activo y de integración barrial. Sin embargo, el polideportivo podría permitir el uso y actividad durante todo el día según lo requiera la comunidad, los horarios se pueden dividir en tres jornadas (**Tabla 4**), jornada de la mañana (9:00 a.m. a 13:00 p.m.), jornada de la tarde (13:00 p.m. a 17:00 p.m.) y jornada de la noche (17:00 p.m. a 21:00 p.m.).

Tabla 4

Horarios de uso y actividad Polideportivo Ciudad Los Álamos

Jornada	Inicio	Fin
Mañana	9:00 a. m.	13:00 p. m.
Tarde	13:00 p. m.	17:00 p. m.
Noche	17:00 p. m	21:00 p. m

Resultados

Etapa 1: Identificar los espacios de mayor permanencia

El primer paso metodológico consistió en realizar visitas de observación directa al espacio público, con el propósito de reconocer las dinámicas de uso, las actividades predominantes y los puntos de menor o mayor permanencia. Durante estas jornadas se identificaron también adaptaciones o apropiaciones espontáneas realizadas por la comunidad, reflejando la manera en que las personas habitan y transforman el espacio. El proceso se apoyó en registros fotográficos y se llevó a cabo en diferentes momentos del año y horarios aleatorios, con el fin de detectar posibles variaciones en el uso a lo largo del tiempo.

El recorrido permitió establecer un esquema general de factores de uso (**Figura 20**), en los espacios de mayor permanencia, así como los elementos dispuestos e instalados por los usuarios para adaptar y permitir el uso y confort de los espacios. En varios casos se evidenció cómo estos elementos se complementan, potenciando el desarrollo de actividades recreativas y sociales.

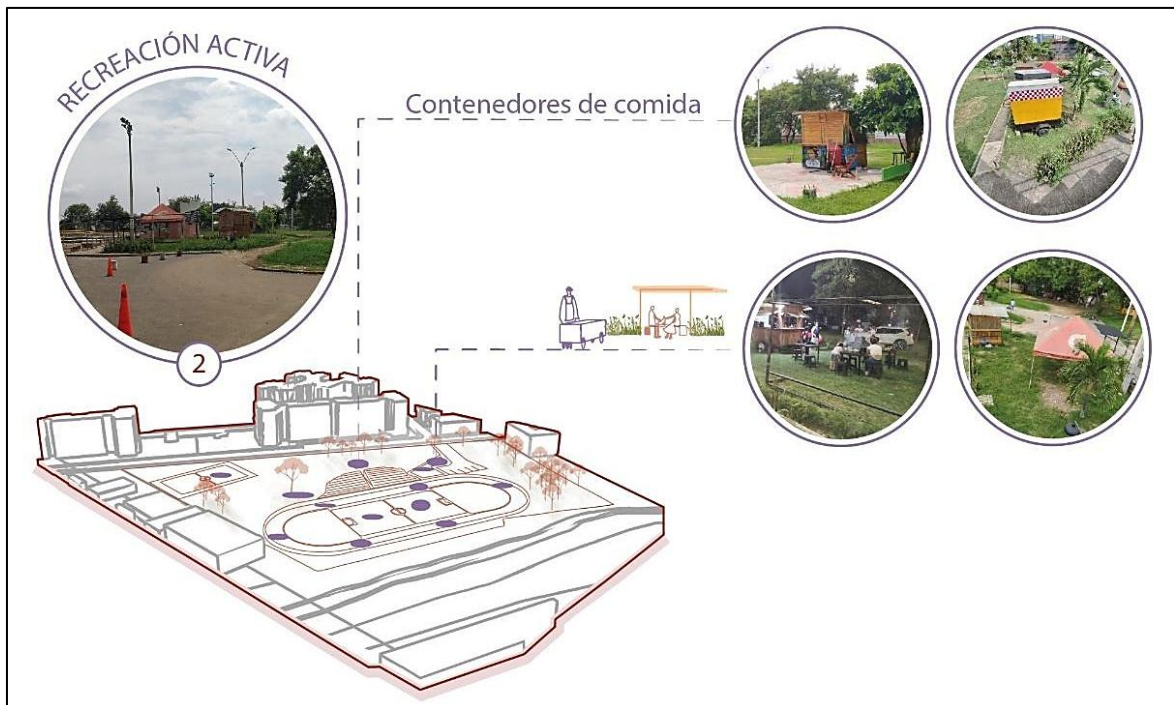
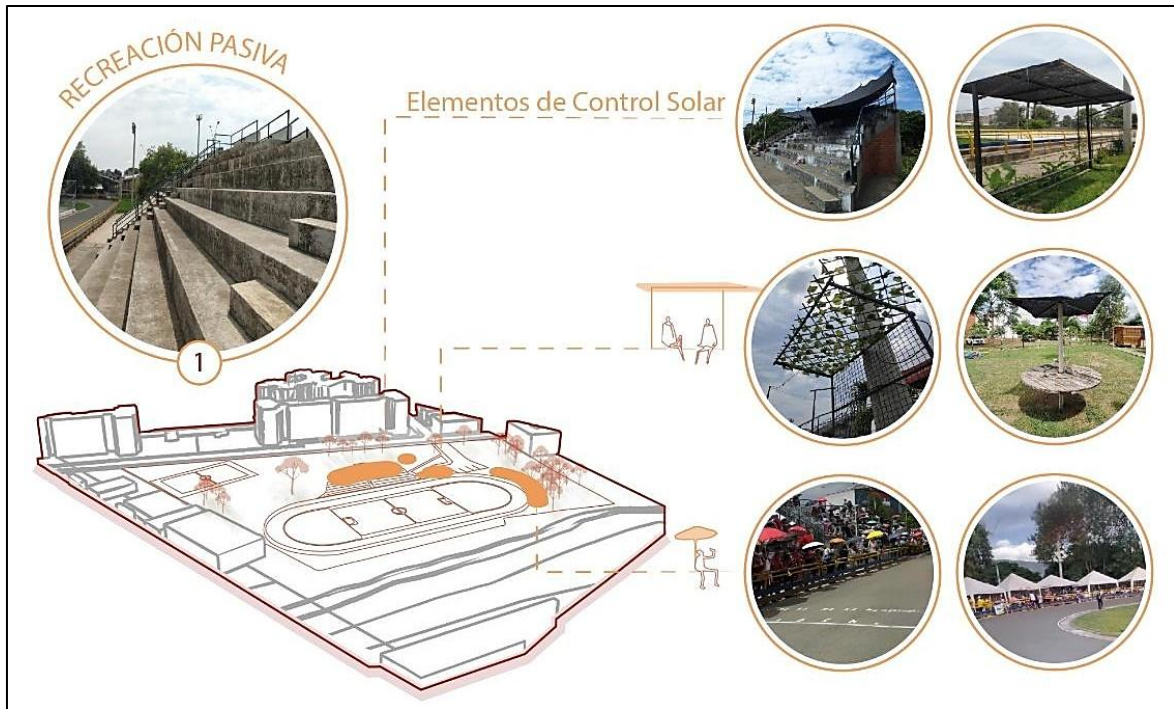
Figura 20

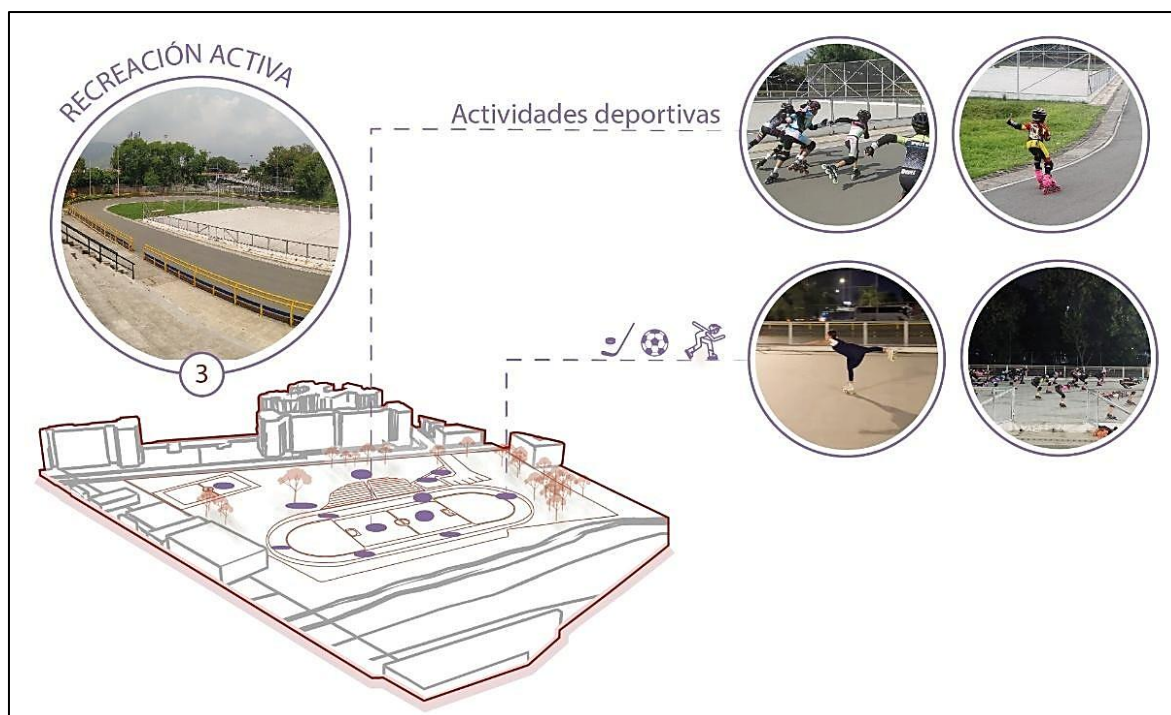
Esquema, factores de uso en los espacios de mayor permanencia



Figura 21

Registro fotográfico y observaciones de campo





Comentarios y consideraciones de lo observado: factores de uso identificados

- Recreación pasiva: durante los recorridos se observó la instalación de estructuras temporales y permanentes de sombra, adaptadas por los usuarios para mitigar la exposición solar, considerando el clima cálido-seco característico de la ciudad. En las graderías, por ejemplo, se identificó una polisombra de color negro instalada

artesanalmente, además del uso frecuente de sombrillas y carpas provisionales durante eventos o actividades de alta concurrencia. (**Figura 21, cuadro 1**). En una zona verde contigua a las graderías se identificó la instalación de contenedores de comida, que han transformado el lugar en un punto de encuentro y permanencia prolongada. Esta intervención comunitaria ha permitido extender la actividad del parque hacia las horas de la tarde y la noche, coincidiendo con las clases y eventos deportivos programados. Asimismo, se observó un contenedor adaptado como bodega perteneciente a la escuela de patinaje (**Figura 21, cuadro 2**).

- En la recreación activa, el diseño y las características funcionales del escenario contempla una pista de hockey al interior del óvalo principal; sin embargo, la comunidad, a través de la escuela de patinaje, ha diversificado su uso, desatinando este espacio a clases de patinaje artístico, lo que demuestra la capacidad del equipamiento para adaptarse a nuevas dinámicas deportivas y propiciar un mayor alcance de usuarios de todas las edades e intereses (**Figura 21, cuadro 3**).
- En la recreación en contacto con zonas verdes, se evidenció una apropiación comunitaria de las zonas verdes, con la siembra de especies ornamentales y la conformación de pequeños jardines y cercos vivos que delimitan senderos y áreas de estancia, especialmente cerca de los contenedores de comida. Estas acciones demuestran el interés ciudadano por el embellecimiento y mantenimiento paisajístico del espacio. (**Figura 21, cuadro 4**).

La información recopilada permitió delimitar los sectores del polideportivo con mayor tiempo de uso, los cuales constituyen el foco principal de los análisis posteriores. Aunque sería posible ampliar la evaluación a la totalidad del área disponible, el estudio se concentra en zonas estratégicas previamente caracterizadas durante las visitas de campo, lo que garantiza un análisis representativo y replicable en otros sectores del mismo equipamiento.

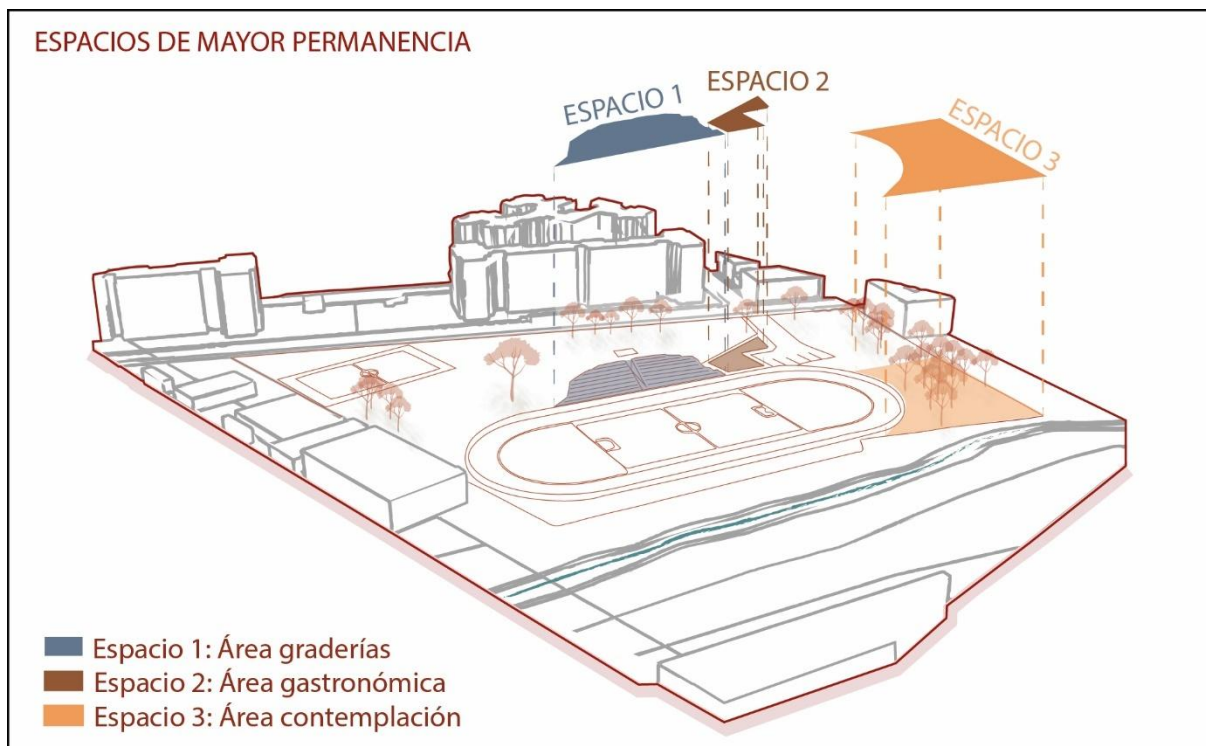
En este marco se definieron tres espacios que permiten cumplir los objetivos planteados (**Figura 22**). El Espacio 1, corresponde a las graderías del patinódromo, donde

se desarrolla la observación prolongada de las actividades deportivas. El Espacio 2, comprende el sector destinado a las actividades gastronómicas en contenedores, articulando dinámicas de encuentro, tránsito y consumo de alimentos. Finalmente, el Espacio 3 corresponde a un área de contemplación que, además, funciona como punto alternativo para observar las competencias o entrenamientos programados; se distingue por disponer la mayor concentración de individuos arbóreos preexistentes.

Estos espacios presentan condiciones ambientales, climáticas, de conectividad urbana y patrones de uso diferenciados, además de particularidades propias de su entorno inmediato, como la presencia de elementos construidos y ambientales, como vegetación de mediano y gran porte. Esta diversidad permite obtener una lectura comparativa para el análisis metodológico propuesto.

Figura 22

Esquema de selección de espacios de mayor permanencia



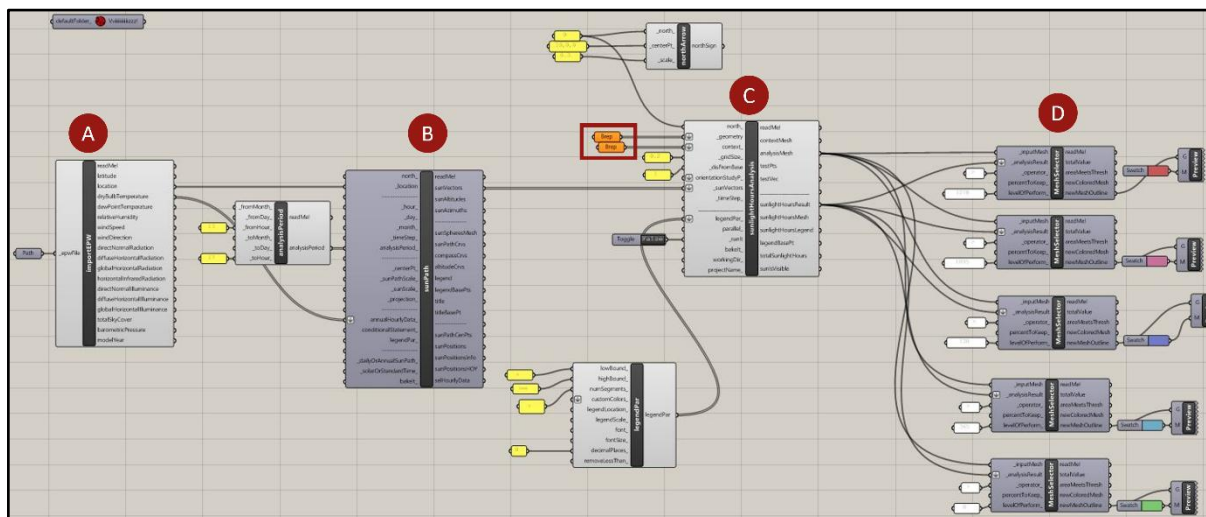
Etapa 2: Desarrollo de modelo paramétrico

El algoritmo diseñado incorpora controles paramétricos que permiten ajustar características geométricas y ambientales según el objetivo del análisis. Entre los parámetros configurados se incluyeron deslizadores que representan variables arquitectónicas como las superficies expuestas, la cantidad y distribución de elementos de sombra, tanto naturales como construidos, y la orientación de los componentes principales. Estas variaciones posibilitan generar diferentes configuraciones espaciales y evaluar su desempeño bajo las mismas condiciones climáticas.

La **Figura 23** ilustra el algoritmo empleado, donde se integran los elementos principales del entorno construido: superficies, volúmenes, vegetación, estructuras existentes, además de, jornadas de horarios y rangos de análisis. Con las letras A, B, C y D se señalan los componentes clave:

Figura 23

Ejemplo de un algoritmo para cargar una geometría en lenguaje paramétrico



Con las letras de la A – D, se señalan los principales componentes del algoritmo y con el marco rectangular en rojo, los dos (2) BREP (*Boundary Representation* o Representación de límites), donde su función es conectar lo modelado en Rhino al algoritmo diseñado, por

ejemplo, los parámetros arquitectónicos a ser modificados (Superficies, cantidad de elementos de sombra construidos y/o naturales). Por otro lado, cada deslizador reúne las distintas alternativas de ajuste para su parámetro correspondiente. Al combinarlos entre sí, es posible generar todas las configuraciones arquitectónicas que se requiera evaluar.

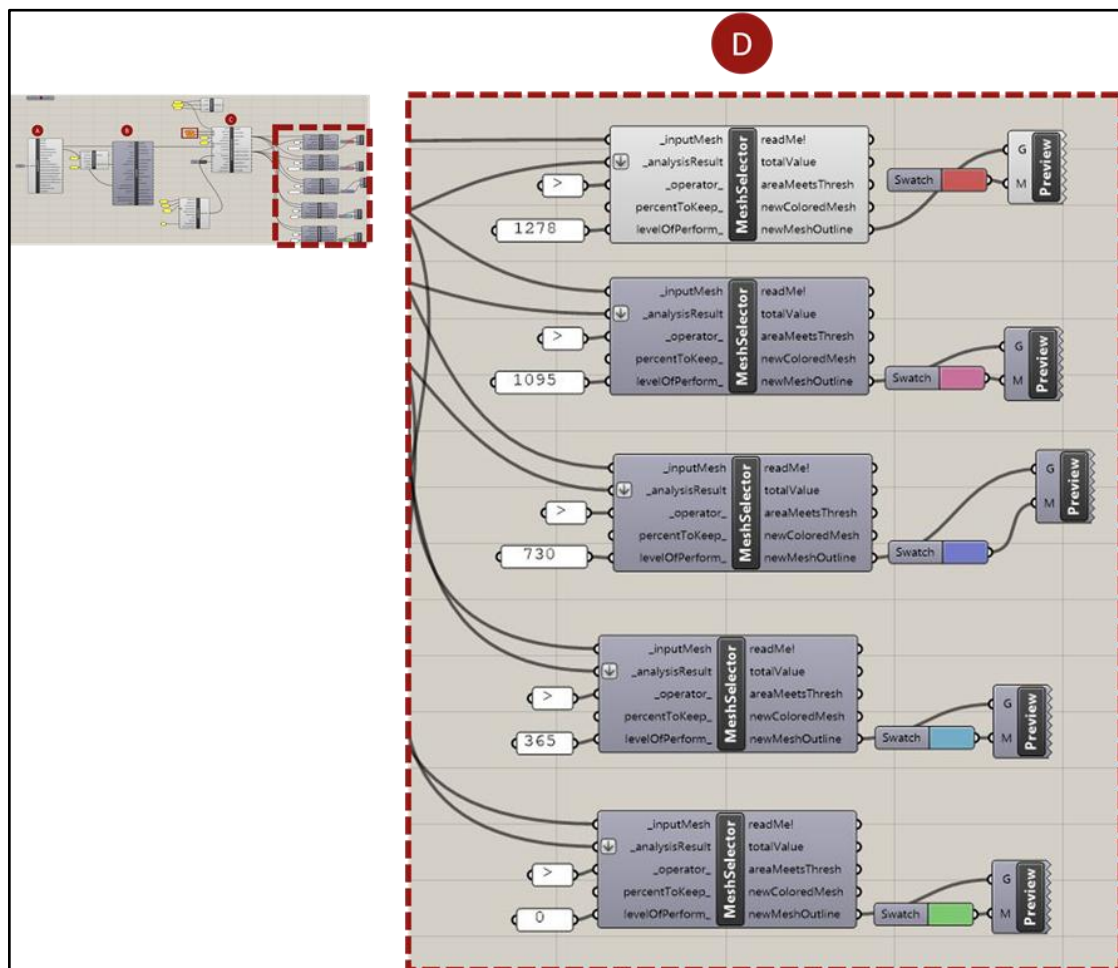
- **Componente A.** En esta sección se incorporó el archivo climático EPW (Energy Plus Weather por sus siglas en inglés) correspondiente a la ciudad de Santiago de Cali, utilizado como insumo base para las simulaciones. Este archivo compila datos históricos, permite reproducir de manera representativa los patrones ambientales locales, considerando variables como temperatura, radiación solar, humedad relativa, entre otros.
- **Componente B.** Esta sección tiene como finalidad la generación de los vectores solares a partir de la localización geográfica del Polideportivo y de los rangos horarios definidos para el análisis. Estos vectores representan la posición aparente del sol a lo largo del tiempo y constituyen la base para los análisis posteriores. El análisis se realizó en dos franjas horarias representativas de la actividad registrada dentro del Polideportivo: la mañana (9:00 a.m. – 1:00 p.m.) y la tarde (1:00 p.m. – 5:00 p.m.). Esta división responde tanto a los horarios habituales del uso del espacio como a los periodos de mayor incidencia solar, permitiendo comparar la cantidad de horas de sol bajo condiciones diferenciadas a lo largo de la jornada.
- **Componente C.** Con base en los parámetros anteriores, el algoritmo ejecutó la simulación anual de horas de radiación solar sobre las superficies seleccionadas (Espacio 1, 2 y 3), generando una malla de análisis que permite visualizar el comportamiento de la radiación mediante una escala cromática.

Esta simulación tiene como resultado una lectura espacial de la distribución de las horas de exposición solar, que constituye el insumo base para las etapas posteriores.

- **Componente D.** Este componente corresponde al desarrollo central del algoritmo y constituye el principal aporte metodológico de la investigación. A partir de los resultados obtenidos en la simulación de horas de radiación solar, el algoritmo permite traducir dichos valores en rangos de tolerancia solar, vinculados directamente con las categorías de áreas de permanencia asociadas a una actividad, conforme a la metodología de Waldron y Salazar 2013.

Figura 24

Captura el componente D, de la Figura 23



Para ello, los resultados se transforman en una serie de polilíneas que agrupan subáreas con condiciones similares de hora sol, Estas polilíneas, diferenciadas mediante una colorimetría específica (**Figura 24**), permiten reclasificar las superficies analizadas en cinco

rangos de tolerancia solar: tráfico rápido, tráfico lento, pausa, permanencia corta y permanencia larga.

- **Tráfico rápido:** más de tres horas y media hasta 4 horas de radiación solar.
- **Tráfico lento:** más de tres horas hasta tres horas y media de radiación solar.
- **Pausa:** más de dos horas hasta 3 horas de radiación solar.
- **Permanencia corta:** más de una hora hasta 2 horas de radiación solar.
- **Permanencia larga:** entre cero hasta una hora de radiación solar.

Este procedimiento permite calcular con precisión las áreas correspondientes a cada categoría, expresadas en metros cuadrados y en porcentaje respecto al área total analizada (**Tabla 5**). De este modo, el algoritmo posibilita cuantificar la proporción del espacio apta para distintos tipos de permanencia y facilita la comparación entre escenarios de diseño.

Tabla 5

Representación gráfica de conversión de datos

#	CANTIDAD DE HORAS DE RADIACIÓN SOLAR PROMEDIO DÍA			RANGOS DE TOLERANCIA SOLAR	CATEGORÍAS DE ÁREA DE PERMANENCIA	INSOLACIÓN MÁX, PROMEDIO
1	1460	4			TRÁFICO RÁPIDO (3h 30' - 4h 0')	100%
2	1277,5	3,5			TRÁFICO LENTO (3h 0' - 3h 30')	87%
3	1095	3			PAUSA (2h 0' - 3h 0')	75%
4	912,5	2,5				
5	730	2			PERMANENCIA CORTA (1h 0' - 2h 0')	50%
6	547,5	1,5				
7	365	1			PERMANENCIA LARGA (0h 0' - 1h 0')	25%
8	182,5	0,5				
9	0	0				

Etapas 3: Realizar diagnóstico del modelo paramétrico

Concluidas las etapas de identificación de los espacios de mayor permanencia y de desarrollo del modelo paramétrico, esta fase se orienta al diagnóstico de los resultados obtenidos a

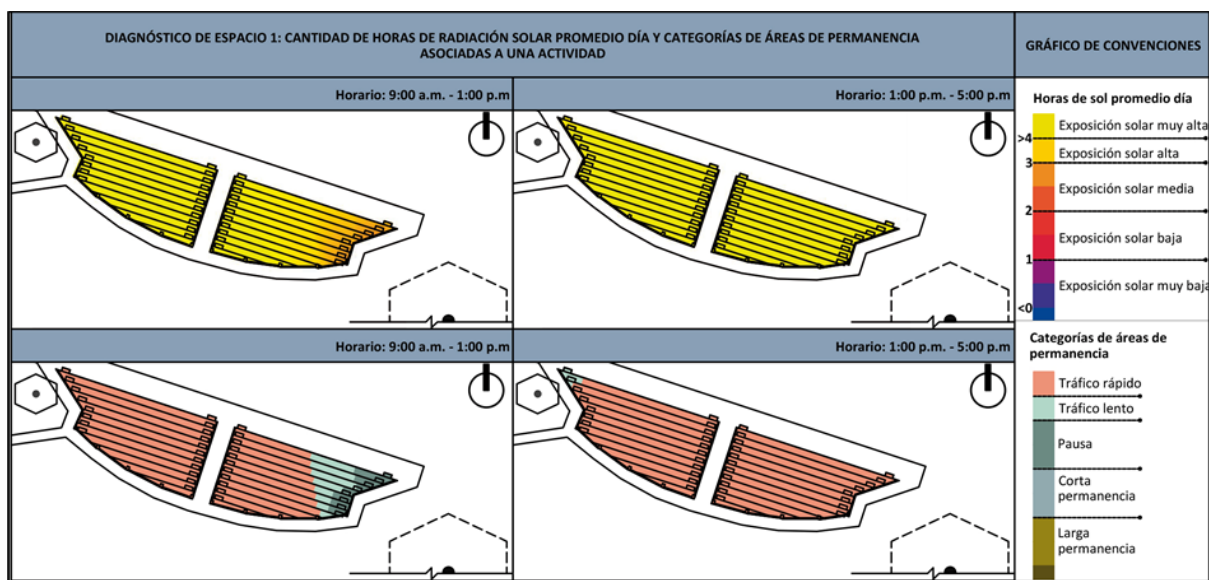
partir de las simulaciones de horas de radiación solar. El análisis permite identificar las condiciones actuales de exposición solar y su incidencia en las áreas de mayor permanencia, estableciendo una lectura base del desempeño ambiental de los tres espacios seleccionados.

Diagnóstico de Espacio 1

Cantidad de horas de radiación solar promedio día y categorías de áreas de permanencia asociadas a una actividad, según los rangos de tolerancia solar:

Figura 25

Diagnóstico de Espacio 1



En los gráficos superiores (**Figura 25**) se analiza la distribución promedio de la exposición solar diaria. Durante el horario de la mañana (9:00 a.m. – 1:00 p.m.), se identifica un predominio de exposición solar alta (tonalidad amarilla) sobre la mayor parte del área de graderías, condición que se intensifica ligeramente hacia la tarde (1:00 p.m. – 5:00 p.m.). Esta persistencia de radiación directa a lo largo del día refleja una limitada estrategia pasiva de control solar en el espacio, evidenciando que la vegetación existente no resulta eficaz para mitigar el impacto térmico. En consecuencia, se advierte una necesidad prioritaria de intervención arquitectónica orientada a mejorar el confort ambiental del usuario.

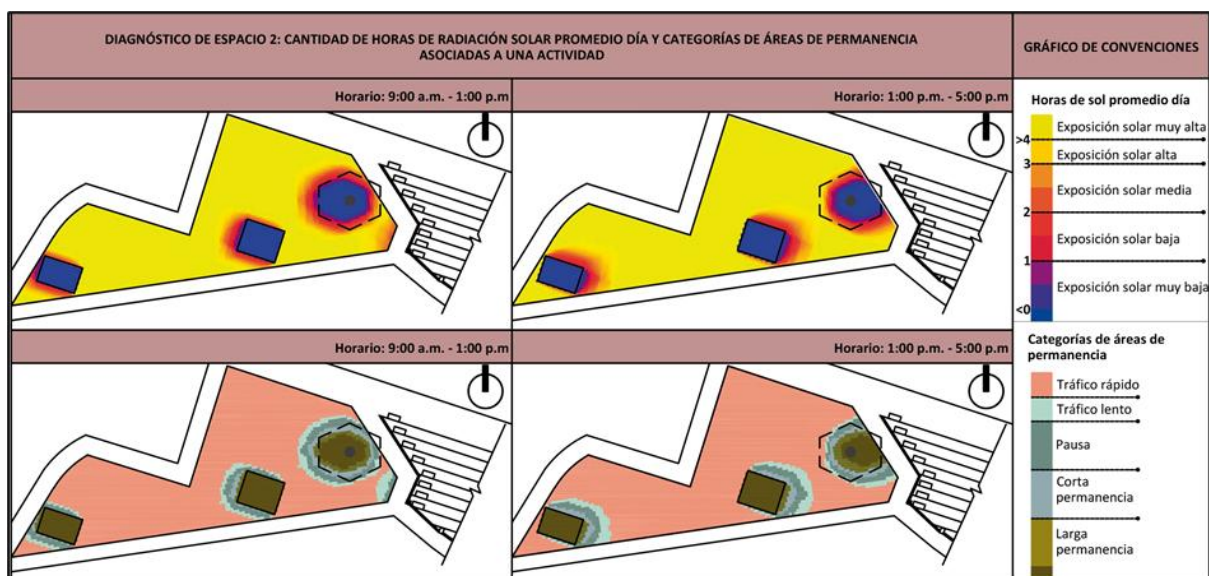
En cuanto a las categorías de áreas de permanencia asociadas a una actividad visualizadas en los gráficos inferiores (**Figura 25**), el análisis revela que las zonas sometidas a mayor exposición solar coinciden principalmente con actividades de tráfico rápido y lento (representadas en color salmón y verde aguamarina). No obstante, se detenta un sector puntual hacia el este donde se presentan actividades de pausa (color verde) en la franja de la mañana, fenómeno que expone a los usuarios a condiciones de sobrecalentamiento y disminuye la habitabilidad del espacio. Esta situación compromete el rol fundamental de las graderías como áreas de contemplación y estancia confortable, afectando la experiencia del espectador durante las actividades principales del polideportivo (deportes como el patinaje, fútbol y hockey).

Diagnóstico de Espacio 2

Cantidad de horas de radiación solar promedio día y categorías de áreas de permanencia asociadas a una actividad, según los rangos de tolerancia solar:

Figura 26

Diagnóstico de Espacio 2



En los gráficos superiores (**Figura 26**) el análisis de exposición solar promedio día muestra que durante todo el día predomina una alta radiación (tonalidad amarilla) sobre la mayor parte del área, particularmente en los actores abiertos. Las zonas de exposición solar media y baja se restringen a los entornos inmediatos de los elementos construidos (contenedores de alimentos y arborización existente), los cuales podrían percibirse como “micro refugios térmicos”, aunque de manera insuficiente para modificar significativamente el confort ambiental del espacio.

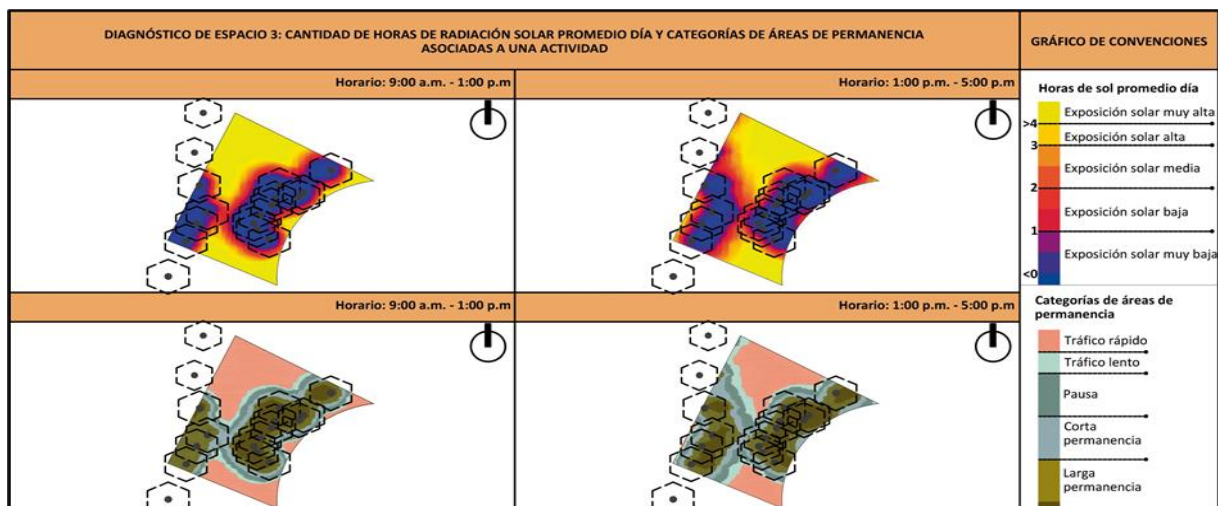
Respecto a las categorías de áreas de permanencia asociadas a una actividad visualizadas en los gráficos inferiores (**Figura 26**), se evidencia que el espacio favorece actividades de tráfico rápido (representadas en color salmón) en su mayoría, mientras que las áreas adyacentes a los elementos de sombra limitada permiten el tráfico lento, pausas y permanencias de corta duración. La escasez de sectores destinados a larga permanencia pone de manifiesto las condiciones de desconfort térmico, restringiendo la funcionalidad del espacio como zona de estancia y socialización durante las horas de mayor radiación solar.

Diagnóstico de Espacio 3

Cantidad de horas de radiación solar promedio día y categorías de áreas de permanencia asociadas a una actividad, según los rangos de tolerancia solar:

Figura 27

Diagnóstico de Espacio 3



En los gráficos superiores (**Figura 27**) el análisis de exposición solar promedio día, evidencia que durante la franja de la mañana (9:00 a.m. – 1:00 p.m.) predomina una condición de exposición solar muy baja (tonalidad azul marino), atribuible a la cobertura arbórea existente en el sitio. Esta condición se mantiene en la franja de la tarde (1:00 p.m. – 5:00 p.m.), aunque se registran ligeras variaciones, con una expansión de las áreas de exposición solar baja (tonalidad celeste), producto del desplazamiento de las sombras generadas por la vegetación.

Pese a la predominancia de zonas sombreadas, se observa una concentración significativa de radiación en los sectores nororiental y suroriental, extendiéndose de manera progresiva hacia el área central, fenómeno que se mantiene durante ambas franjas horarias. Esta situación sugiere la existencia de áreas de vulnerabilidad térmica dentro de un entorno mayormente protegido, indicando oportunidades de intervención para mejorar el confort espacial.

Referente a las categorías de áreas de permanencia asociadas a una actividad visualizadas en los gráficos inferiores (**Figura 27**), se considera una alta presencia de zonas destinadas a la corta y larga permanencia, reflejo de las sombras emitidas por la vegetación. Sin embargo, la disposición espacial revela una focalización posible de usuarios en sectores específicos, posiblemente como búsqueda de confort térmico. Esta concentración podría restringir la capacidad del espacio para ofrecer opciones amplias de estancia y contemplación, limitando su flexibilidad de uso y su potencial para favorecer una experiencia de recreación u ocio más diversificado.

Etapas 4: Definición de las estrategias bioclimáticas pasivas

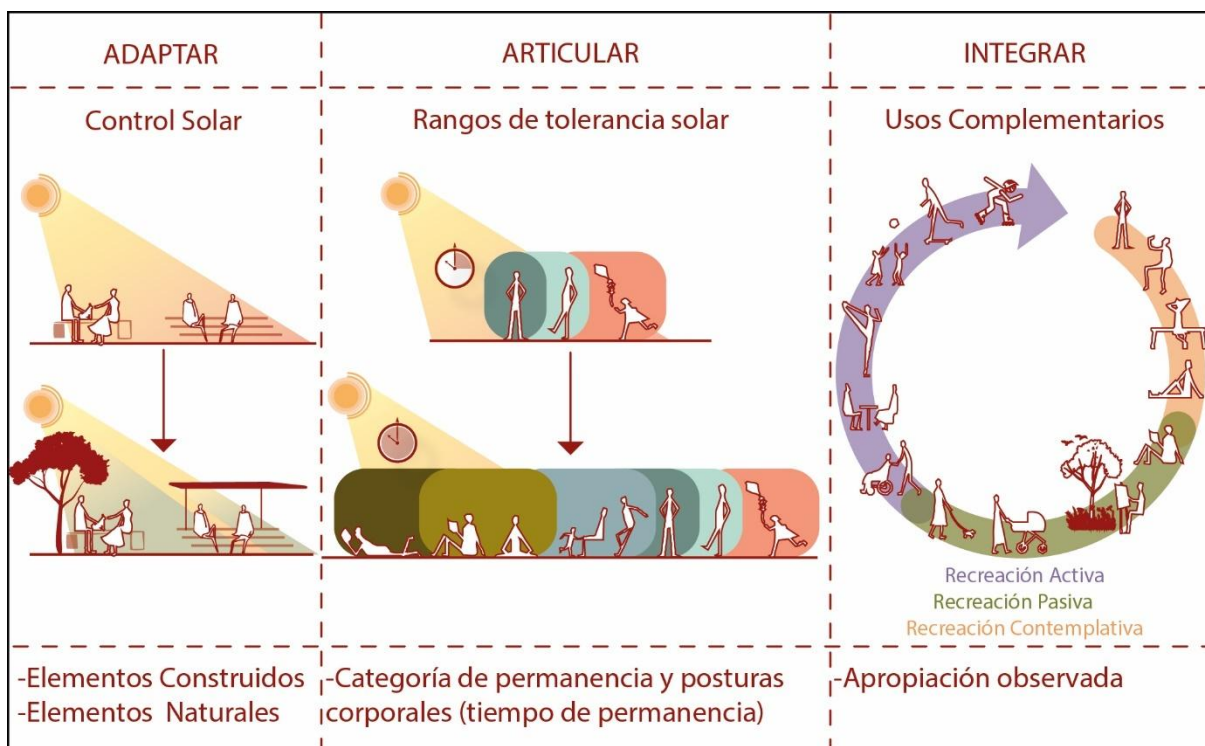
A partir del diagnóstico desarrollado en la etapa anterior, esta etapa se orienta a la definición de estrategias bioclimáticas pasivas que respondan a las condiciones de exposición solar identificados en los espacios analizados. Estas estrategias se plantean como ajustes al

diseño arquitectónico preexistente, enfocados en mejorar los rangos de tolerancia solar y favorecer la permanencia de los usuarios, sin alterar el carácter ni el uso del equipamiento.

Con el fin de sintetizar el criterio general que orienta la formulación de las estrategias, la **Figura 28** presenta un esquema conceptual con tres acciones principales: la adaptación del espacio mediante control solar, la articulación de los rangos de tolerancia solar según las categorías de áreas de permanencia y la integración de usos complementarios a partir de las dinámicas de apropiación observadas. Este esquema permite comprender cómo las decisiones de diseño se vinculan directamente con las necesidades de cada espacio identificadas en el análisis previo.

Figura 28

Esquema conceptual



Las Intenciones sobre el diseño arquitectónico preexistente son:

A. Adaptación de los espacios preexistentes mediante control solar:

Incorporar elementos de control solar, tanto construidos como naturales, que actúen como

reguladores ambientales para la mitigación de la radiación solar directa, sin interferir en la visibilidad, la funcionalidad ni las dinámicas de uso propias de cada espacio.

B. Articulación de actividades según rangos de tolerancia solar: Organizar las zonas de tránsito, pausa y estancia a partir de las categorías de permanencia y las posturas corporales asociadas a los distintos rangos de tolerancia solar, con el fin de favorecer mayores tiempos de estancia y disfrute para los usuarios.

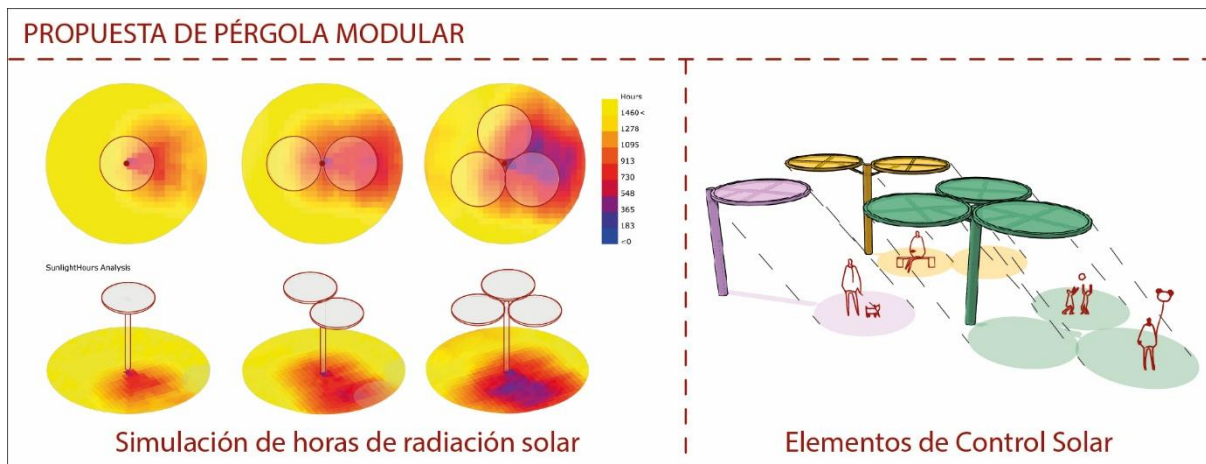
C. Integración de usos complementarios a partir de la apropiación observada: Potenciar la coexistencia de usos recreativos pasivos, activos y de contemplación en los espacios preexistentes, articulándose espacialmente mediante criterios bioclimáticos pasivos, de manera que el Polideportivo amplíe sus posibilidades de uso en coherencia con las dinámicas y patrones de apropiación identificados durante las visitas de campo.

A continuación, se presenta un ejercicio puntual de simulación correspondiente a la propuesta de una pérgola modular como elemento de control solar (**Figura 29**), desarrollado en función de las necesidades de proyección de sombra identificadas en el espacio. Este ejercicio explora distintas configuraciones del sistema, desde un módulo individual hasta la combinación de tres módulos, con el fin de evaluar su desempeño ambiental y su eficiencia sobre el espacio.

Si bien se expone como un ejemplo representativo, este mismo procedimiento de análisis fue aplicado a los diferentes elementos de control solar que conforman la propuesta de diseño arquitectónico, permitiendo ajustar su localización, escala y configuración en coherencia con los rangos de tolerancia solar y en consecuencia, con las categorías de áreas de permanencia asociadas a una actividad.

Figura 29

Ejercicio de elaboración propia de simulación de una pérgola modular como elemento de control solar

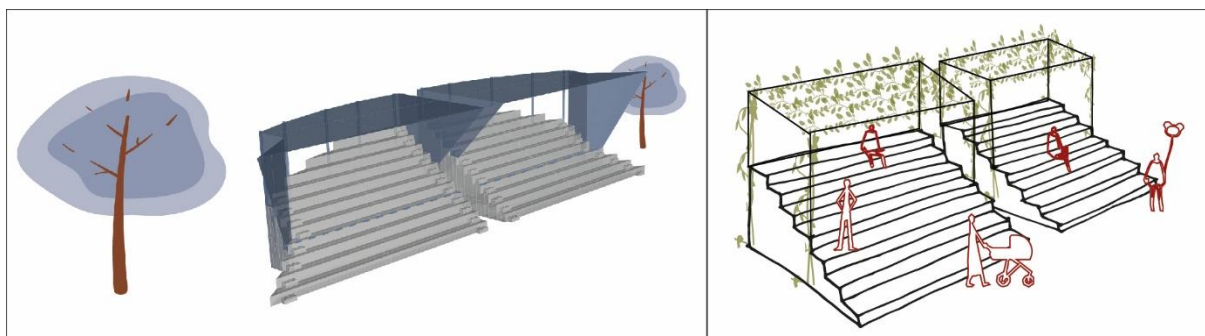


Se presentan configuraciones desde un módulo hasta tres módulos, evaluadas según necesidades de proyección de sombra en el espacio analizado.

Estrategias bioclimáticas pasivas propuestas para el Espacio 1

Figura 30

Esquema 3D del Espacio 1, con elementos de control solar propuestos (Tonalidad azul)



A. Estrategia para adaptar el espacio: Regular la radiación solar mediante la provisión de sombra homogénea que mejore la cantidad de horas de insolación, sin afectar la visibilidad hacia la pista de patinaje.

B. Estrategia para articular actividades: Favorecer actividades de permanencia prolongada asociadas a posturas sentadas y estáticas, vinculadas a la observación de entrenamientos y competencias deportivas.

C. Estrategia para integrar usos complementarios: Incorporar áreas de pausa y encuentro de corta duración que complementen el uso principal, facilitando la permanencia de los usuarios antes y después de las actividades deportivas.

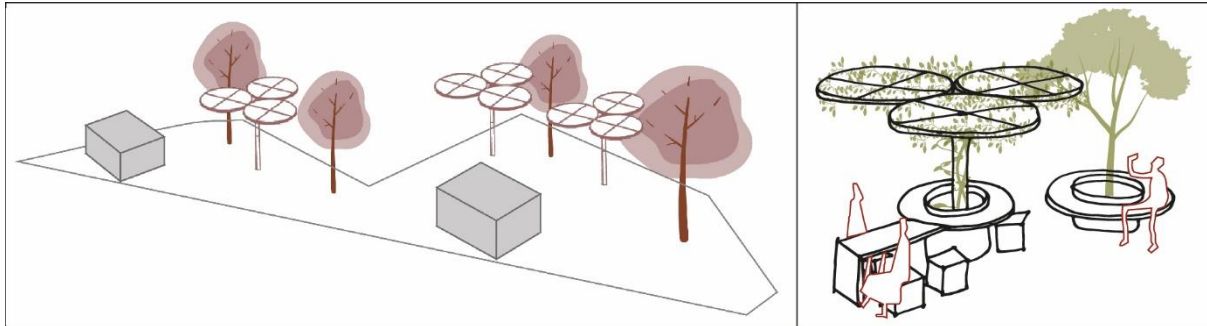
El diseño intervenido contempla la incorporación de una estructura de cubierta modular ligera (**Figura 30**), orientada a generar un sombreado homogéneo sobre las graderías, con el objetivo de minimizar fenómenos de deslumbramiento sin comprometer la visibilidad hacia la pista de patinaje. La solución propuesta incluye el uso de materiales de baja emisividad y alta resistencia térmica, los cuales podrían contribuir a la absorción de calor y la transferencia térmica al entorno inmediato. A su vez, la configuración de la cubierta integra aberturas estratégicas que podrían permitir la libre circulación del viento, favoreciendo procesos de ventilación cruzada y la renovación del aire. Esto podría resultar en la prevención de acumulaciones térmicas, favoreciendo condiciones de confort durante la permanencia de los usuarios.

De manera complementaria, se propone la integración de la vegetación preexistente como elementos de sombreado natural, lo cual podría aportar a la percepción de confort ambiental y bienestar entre los usuarios. La articulación entre los elementos arquitectónicos y naturales busca garantizar mejores condiciones de habitabilidad, especialmente durante las horas críticas de exposición solar, asegurando que el espacio sea funcional para uso como área de permanencia prolongada.

Estrategias bioclimáticas pasivas propuestas para el Espacio 2

Figura 31

Esquema 3D del Espacio 2, con elementos de control solar propuestos (Tonalidad roja)



A. Estrategia para adaptar el espacio: Configurar núcleos de sombra estratégicos que mitiguen la radiación solar directa y contribuyan a la disminución de la insolación en las áreas de estancia.

B. Estrategia para articular actividades: Propiciar actividades de permanencia corta y prolongada relacionadas con el consumo de alimentos, actividades sociales como la observación y conversación entre la comunidad.

C. Estrategia para integrar usos complementarios: Articular el uso gastronómico con dinámicas de encuentro social, tránsito lento y permanencia, reforzando su función como espacio articulador dentro del polideportivo.

La estrategia de diseño se orienta hacia la creación de microambientes térmicos, en los cuales la combinación de sombreado natural y artificial podría contribuir a la optimización de las condiciones ambientales (**Figura 31**). La disposición alternada de elementos de cubierta liviana y vegetación arbórea podría, potencialmente, mitigar los efectos de la radiación solar directa, sin que se vea comprometido el confort visual del espacio. La geometría de las cubiertas, al adoptar una forma que podría integrarse con la copa de los árboles, y su altura, podrían favorecer la circulación del aire, contribuyendo así al enfriamiento pasivo del entorno. En paralelo, la incorporación de vegetación existente y la propuesta en

los perímetros, junto con el uso de materiales de baja reflectancia, podría ser clave para asegurar un balance térmico adecuado, favoreciendo una mayor tolerancia solar para las actividades gastronómicas de este espacio.

Estrategias bioclimáticas pasivas propuestas para el Espacio 3

Figura 32

Esquema 3D del Espacio 3, con elementos de control solar propuestos (Tonalidad anaranjada)



A. Estrategia para adaptar el espacio: Combinar sistemas de sombra natural y construida para generar transiciones de exposición solar.

B. Estrategia para articular actividades: Permitir la coexistencia de distintas posturas y tiempos de permanencia, desde actividades recreativas pasivas hasta usos de carácter contemplativo.

C. Estrategia para integrar usos complementarios: Vincular recreación, contemplación y circulación mediante espacios de transición con condiciones de insolación controladas, ampliando las posibilidades de uso y reduciendo el deslumbramiento durante los recorridos o actividades a realizar.

La propuesta de diseño arquitectónico incorpora estrategias de control solar a través de la superposición de sistemas de sombreado en distintos planos de altura (**Figura 32**). Se plantea la integración de vegetación arbórea de gran porte, preexistente, junto con estructuras

modulares livianas ubicadas a media altura, con el objetivo de generar microclimas sombreados que regulen la exposición solar de acuerdo con las dinámicas de uso, permanencia y desplazamiento de los usuarios.

Las cubiertas propuestas, de carácter permeable y posiblemente tipo pérgola, se ubican en sectores con alta incidencia solar, funcionando como dispositivos de control térmico y visual sin obstaculizar la ventilación natural del espacio. Su disposición complementa la masa arbórea existente, conformando zonas de transición con sombra parcial que permiten amortiguar la radiación en momentos críticos del día y diversificar las condiciones de confort en la mayor cantidad del área disponible, según la actividad.

Este espacio podría explorar una mayor diversidad en el tratamiento superficial del suelo, alternando pavimentos duros y blandos en función de los requerimientos del uso. Esta estrategia permitiría diferenciar claramente las zonas destinadas a circulación y aquellas orientadas a la permanencia, introduciendo una dimensión experimental al espacio, promoviendo una relación sensorial con el entorno inmediato; invitando a la actividad esperada, la recreación y al ocio.

Etapas 5: Análisis en paralelo del porcentaje de área por categoría de permanencia asociada a una actividad en el diseño existente y la propuesta de diseño.

A continuación, se presentan los análisis en paralelo del diseño existente y la propuesta de diseño arquitectónico. Cada imagen sintetiza la información correspondiente a cada uno de los espacios analizados, mostrando el porcentaje de área asociado a las distintas categorías de permanencia asociadas a una actividad, según los rangos de tolerancia solar obtenidos bajo las mismas condiciones ambientales y parámetros metodológicos.

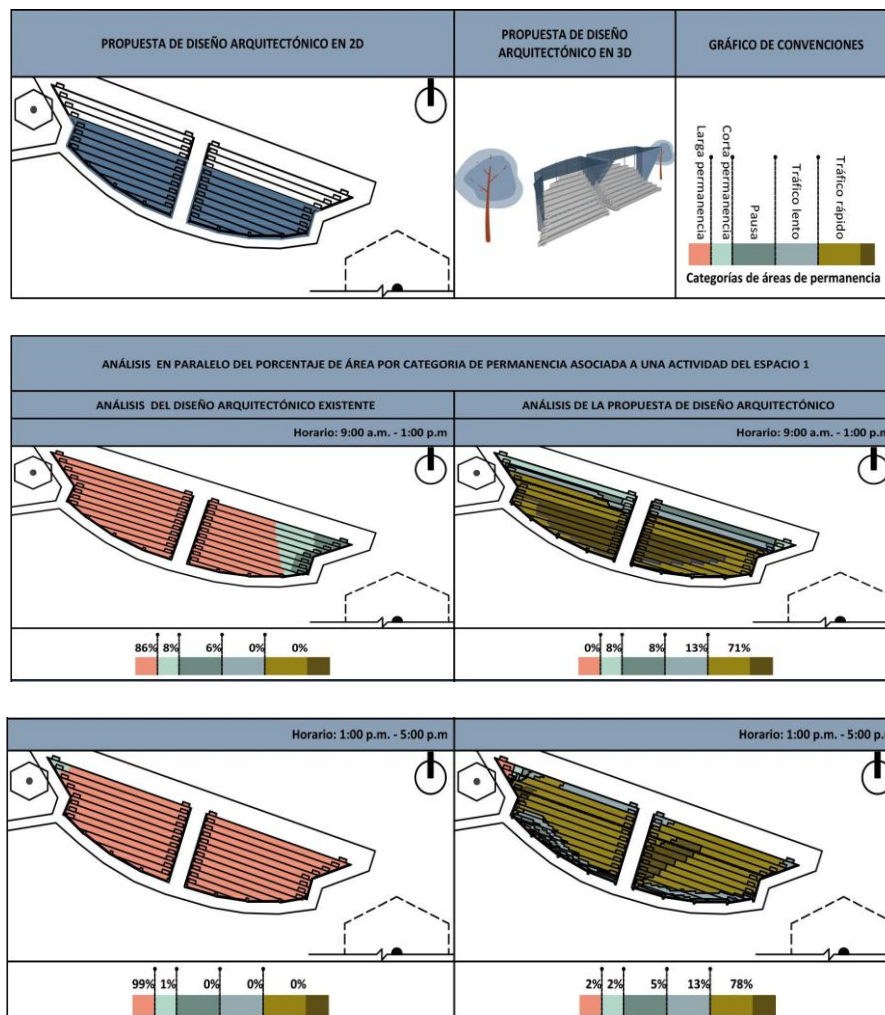
El desarrollo completo del análisis comparativo, que sirve como base para la obtención de los porcentajes para cada espacio, se presenta en el **Anexo 1**.

Análisis en paralelo del Espacio 1

La **Figura 33** presenta la comparación del porcentaje de área por categoría de permanencia asociada a una actividad en el diseño existente y la propuesta de diseño, incorporando los elementos de control solar aplicados, representados mediante la tonalidad azul.

Figura 33

Análisis en paralelo para el Espacio 1



- **Comparativa jornada de la mañana (9:00 a.m. – 1:00 p.m.)**

La propuesta de diseño arquitectónico genera una transformación en el uso del espacio durante la jornada de la mañana. Mientras que en las condiciones actuales predomina la circulación rápida y la ausencia de zonas de permanencia, con un 86% de tráfico rápido y sin

registros de estancias prolongadas, la incorporación del elemento arquitectónico de cubierta como estrategia de sombra permite revertir esta dinámica: el 71 % del área es ahora ocupado por usuarios en actividades de larga permanencia. Se reduce notablemente el tráfico rápido y lento (13% y 8%), respectivamente, favoreciendo la apropiación del espacio como área de observación y contemplación, según los rangos de tolerancia adaptados en este análisis.

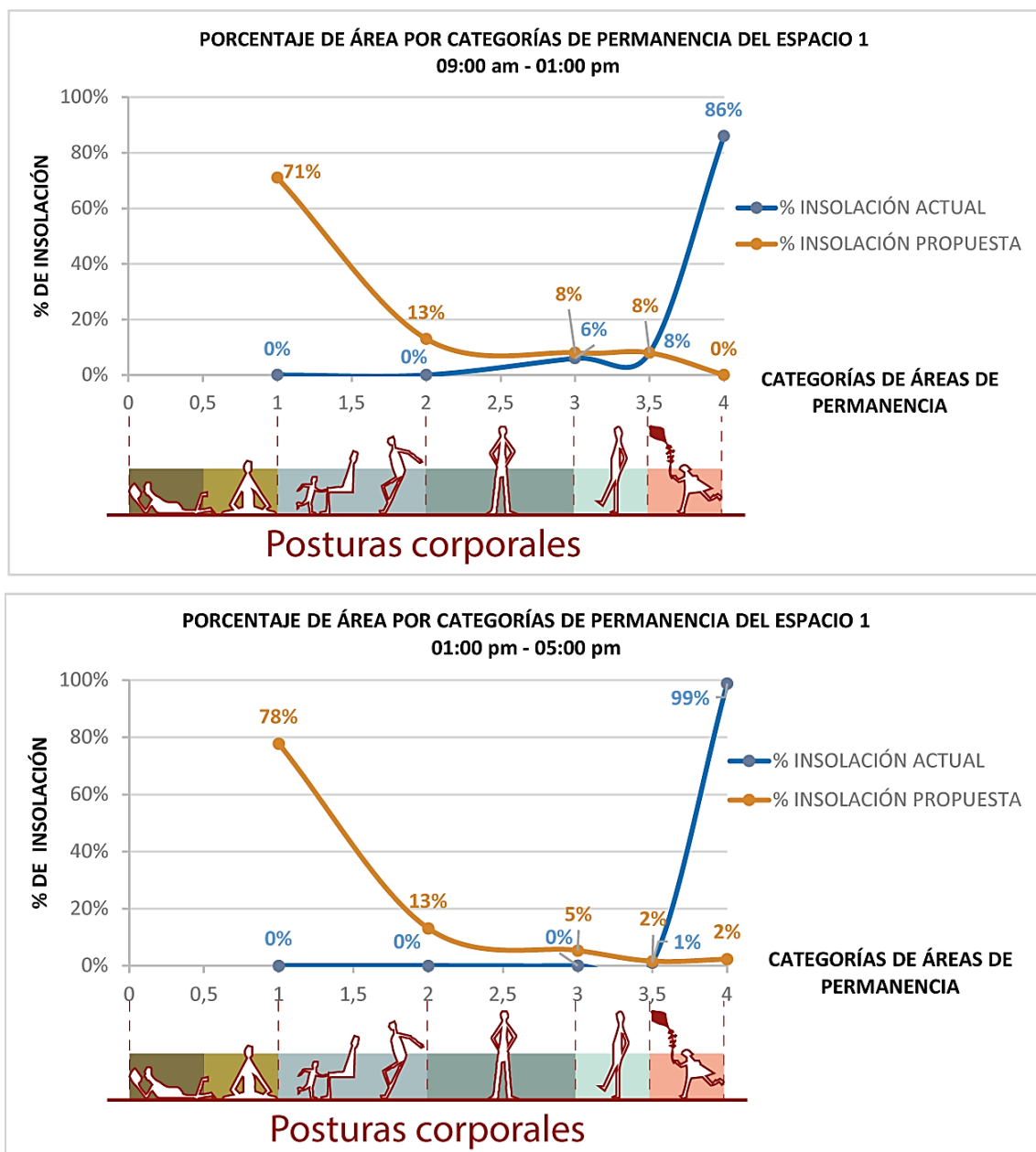
- **Comparativa jornada de la tarde (1:00 p.m. – 5:00 p.m.)**

Durante la tarde, el impacto de la propuesta de diseño arquitectónico resulta aún más evidente. Frente a un escenario actual dominado casi exclusivamente por el tráfico rápido (99 %) y sin permanencia prolongada, la nueva configuración con la cubierta construida permite que el 78% del área se destine a actividades de larga permanencia. La movilidad rápida lenta disminuye a valores mínimos (2% y 5%, respectivamente), permitiendo que los usuarios permanezcan en el espacio durante las horas de mayor radiación solar sin enfrentar condiciones de sobrecalentamiento. Esto confirma que la intervención no solo mejora la habitabilidad del espacio, sino que también amplía las posibilidades de uso efectivo en jornadas críticas de alta exposición solar.

A continuación, la **Figura 34** presenta de manera integrada la relación entre las categorías de permanencia asociadas a una actividad, el porcentaje de área correspondiente a cada categoría y las posturas corporales estándar adoptadas en el espacio público, en coherencia con los rangos de tolerancia solar definidos por Waldron y Salazar (2023).

Figura 34

Esquema comparativo del porcentaje de área por categoría de permanencia y posturas corporales asociadas del Espacio 1



Nota. Esquema comparativo del porcentaje de área por categoría de permanencia asociada a una actividad, en relación con las posturas corporales y los rangos de tolerancia solar, para el Espacio 1, en el diseño arquitectónico existente y la propuesta de diseño, durante las franjas horarias analizadas.

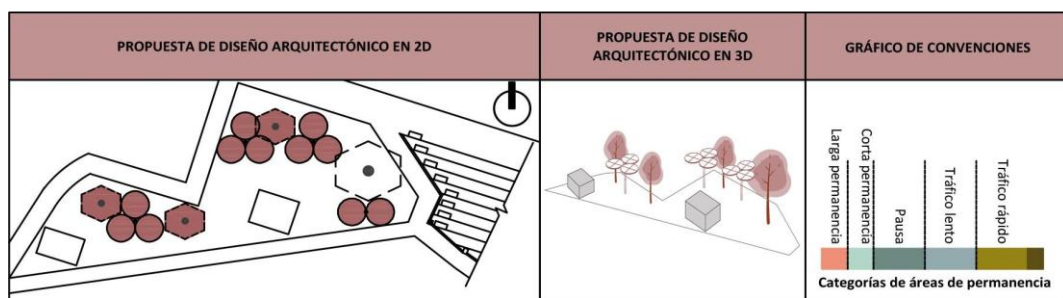
El esquema (**Figura 34**) evidencia cómo la incorporación de estrategias bioclimáticas pasivas aplicadas para el Espacio 1 contribuye a ampliar las áreas destinadas a la permanencia prolongada, consolidando posturas corporales asociadas a actividades estáticas y de observación. Esta condición resulta coherente con la vocación del espacio como área de estancia vinculada a la visualización directa de las actividades deportivas, fortaleciendo su rol como lugar de acompañamiento, encuentro y permanencia dentro del Polideportivo. De este modo, el espacio deja de operar como un ámbito de paso y se consolida como un escenario que favorece el uso compartido y el disfrute prolongado de las dinámicas deportivas y recreativas.

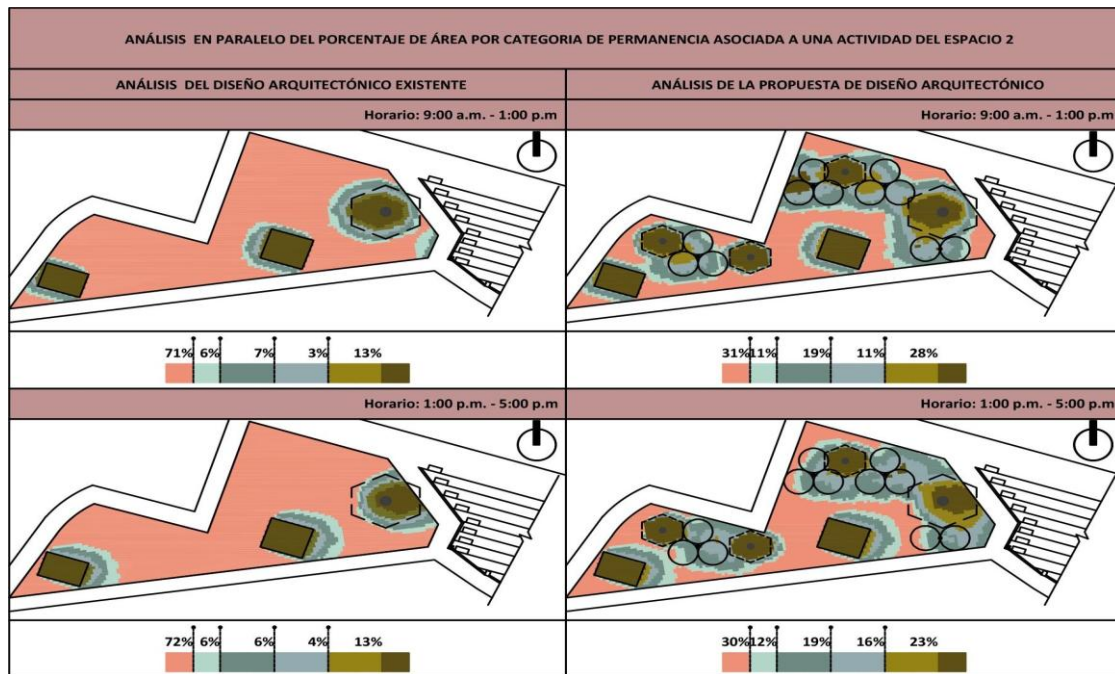
Análisis en paralelo del Espacio 2

La **Figura 35** presenta la comparación del porcentaje de área por categoría de permanencia asociada a una actividad en el diseño existente y la propuesta de diseño, incorporando los elementos de control solar aplicados, representados mediante la tonalidad roja.

Figura 35

Análisis en paralelo para el Espacio 2





- **Comparativa jornada de la mañana (9:00 a.m. – 1:00 p.m.)**

En el estado actual, la dinámica del espacio durante la mañana se caracteriza por una fuerte predominancia del tráfico rápido (71%), con baja proporción de pausas o permanencias prolongadas. Con la implementación de la propuesta de diseño, incorporando nuevos elementos arquitectónicos y naturales estratégicamente distribuidos, se modifica sustancialmente el patrón de uso: el tráfico rápido disminuye a 31%, y las actividades de larga permanencia aumentan hasta alcanzar el 28%. Esto refleja una transición hacia un uso más diverso y equilibrado del espacio, provocado por las mejoras en las condiciones de exposición solar, que invitan a la detención y permanencia.

- **Comparativa jornada de la tarde (1:00 p.m. – 5:00 p.m.)**

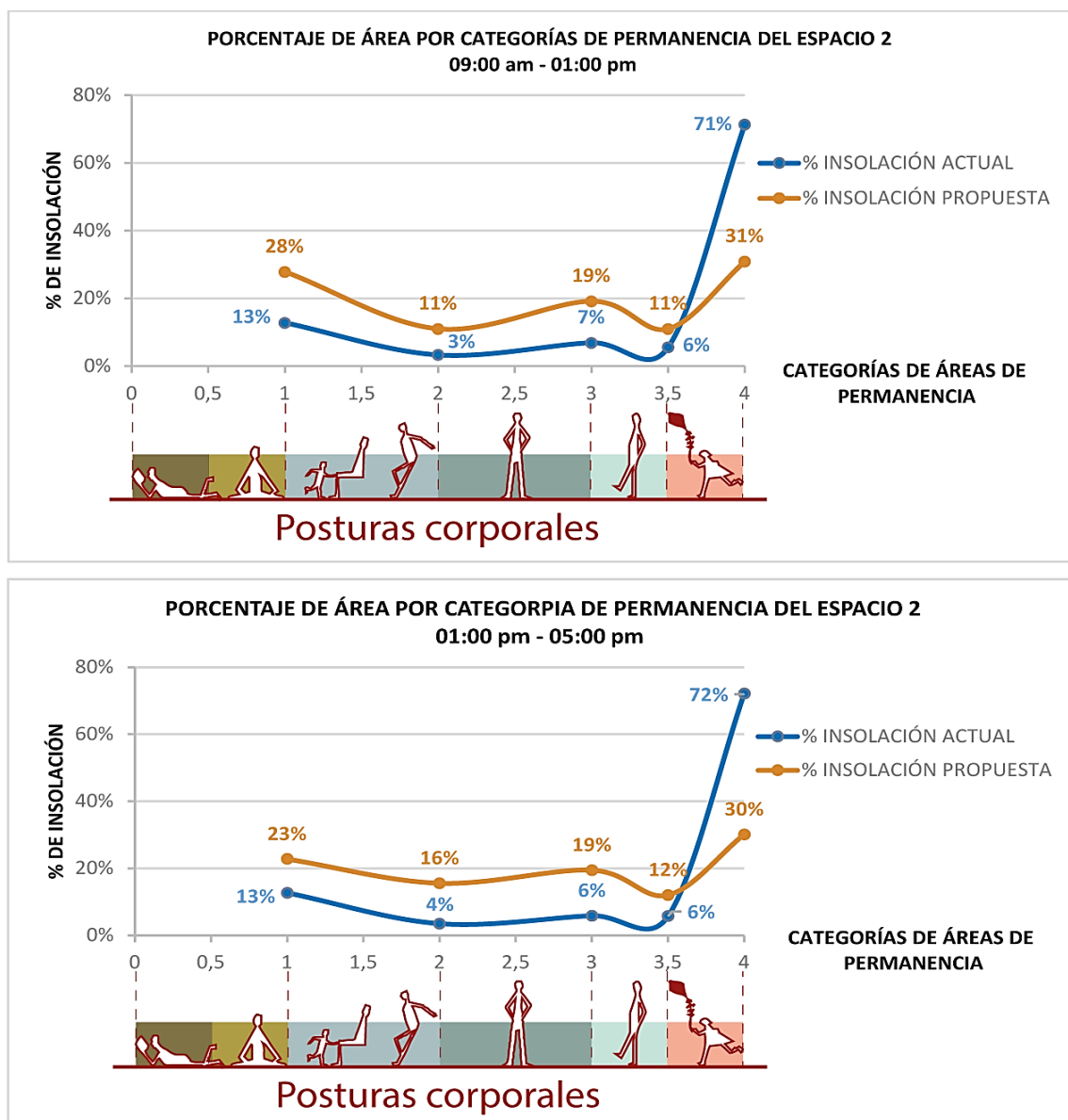
Durante la tarde, el espacio actual mantiene una dinámica dominada por el tráfico rápido (72%) y un uso secundario para permanencias prolongadas (13%). Tras la propuesta de diseño arquitectónico, se registra una redistribución significativa de las actividades: el tráfico rápido disminuye a 30%, mientras que la permanencia prolongada asciende a 23%. Además, las pausas y permanencias cortas aumentan, diversificando las dinámicas de uso. La

incorporación de sombra por individuos arbóreos y las cubiertas, evidencia su efectividad al permitir una mayor apropiación del espacio durante las horas más críticas de radiación solar.

A continuación, la **Figura 36** presenta de manera integrada la relación entre las categorías de permanencia asociadas a una actividad, el porcentaje de área correspondiente a cada categoría y las posturas corporales estándar adoptadas en el espacio público, en coherencia con los rangos de tolerancia solar definidos por Waldron y Salazar (2023).

Figura 36

Esquema comparativo del porcentaje de área por categoría de permanencia asociada a una actividad, en relación con las posturas corporales del Espacio 2



Nota. Esquema comparativo del porcentaje de área por categoría de permanencia asociada a una actividad, en relación con las posturas corporales y los rangos de tolerancia solar, para el Espacio 2, en el diseño arquitectónico existente y la propuesta de diseño, durante las franjas horarias analizadas.

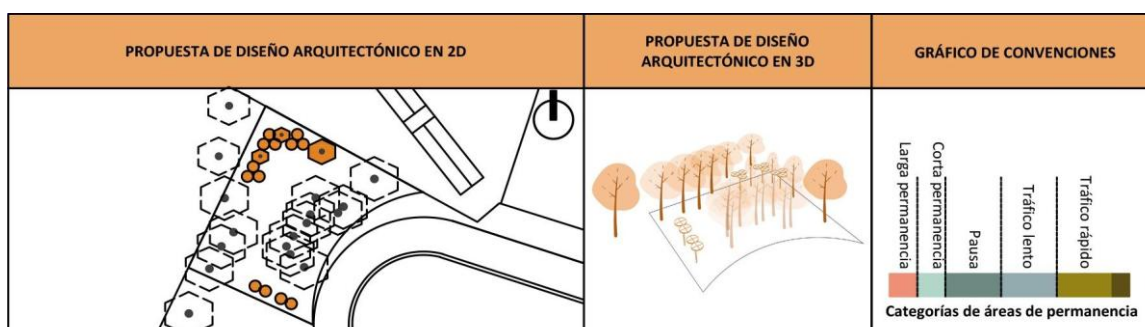
El esquema (**Figura 36**) evidencia cómo la incorporación de estrategias bioclimáticas pasivas aplicadas para el Espacio 2 fortalece a las áreas destinadas a la permanencia asociada a actividades sociales y de pausa, en coherencia con su vocación como espacio articulador entre los distintos ámbitos del Polideportivo, al concentrar los servicios gastronómicos dispuestos en los contenedores de comida instalados por la comunidad. La redistribución de las categorías de permanencia favorece posturas corporales asociadas a la estancia sentada y semisentada, permitiendo la integración de los elementos de control solar con la disposición de mobiliario. De este modo, el espacio se consolida como un ámbito de permanencia activa y social, donde la pausa y la estancia adquieren protagonismo durante las franjas horarias analizadas.

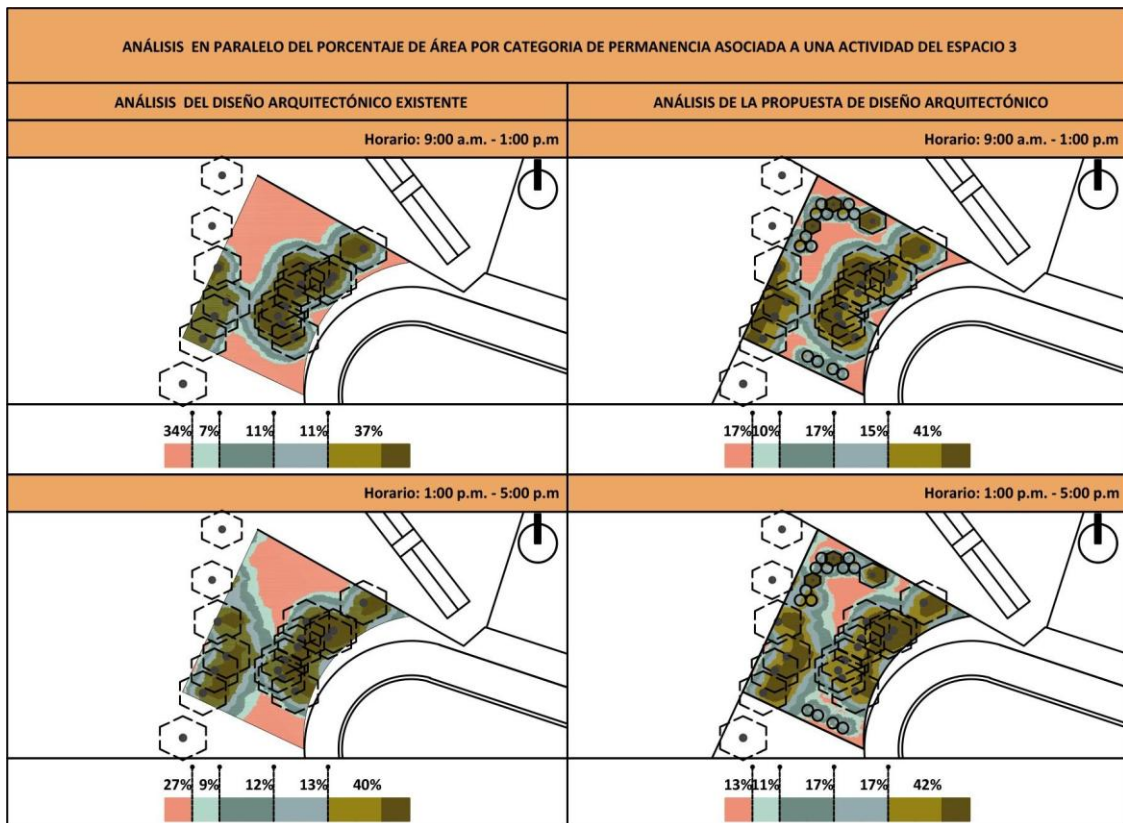
Análisis en paralelo del Espacio 3

La **Figura 37** presenta la comparación del porcentaje de área por categoría de permanencia asociada a una actividad en el diseño existente y la propuesta de diseño, incorporando los elementos de control solar aplicados, representados mediante la tonalidad anaranjada.

Figura 37

Análisis en paralelo para el Espacio 3





- **Comparativa jornada de la mañana (9:00 a.m. – 1:00 p.m.)**

Respecto al estado actual, donde el tráfico rápido domina con un 34% y la permanencia prolongada alcanza apenas el 37%, la propuesta de diseño arquitectónico logra un ajuste positivo: el tráfico rápido disminuye al 17%, mientras que la larga permanencia incrementa ligeramente el 41%. La mayor cobertura vegetal preexistente en este caso, optimiza las condiciones de sombra y confort térmico, sin embargo, al complementarse con las estructuras de cubierta propuestas, favorece a una ocupación más equilibrada y prolongada del espacio en las horas de alta radiación.

- **Comparativa jornada de la tarde (1:00 p.m. – 5:00 p.m.)**

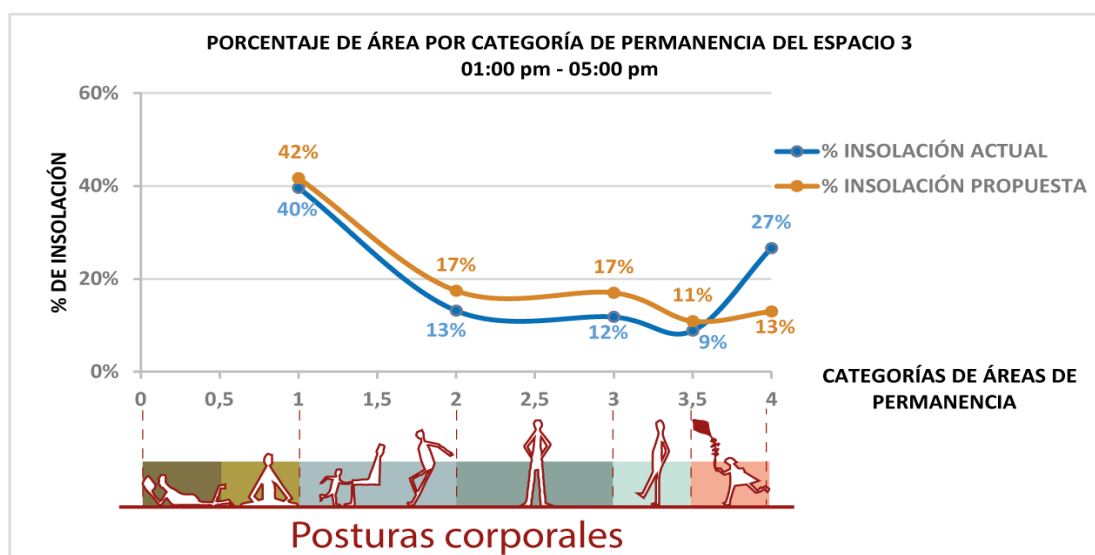
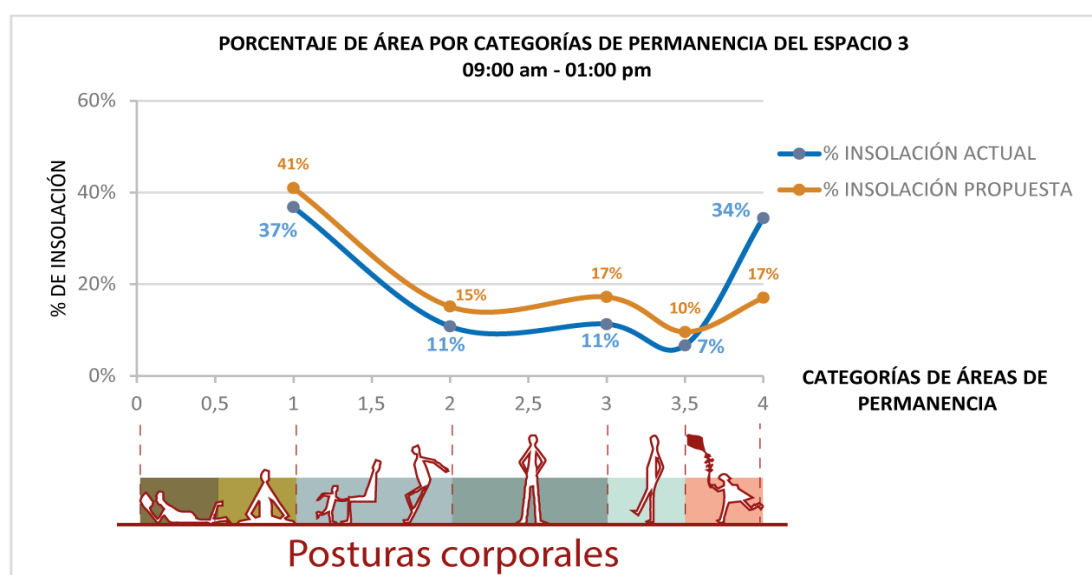
En la tarde, el patrón de uso en el estado actual muestra una ligera mejora en la permanencia (40%), pero aun con un 27% de tráfico rápido. Con la propuesta de diseño arquitectónico, la dinámica de uso mejora significativamente: el tráfico rápido baja al 13% y la larga permanencia se incrementa al 42%. La adecuada disposición de sombra permite consolidar el espacio como un entorno de estancia confortable, incluso durante las horas de mayor

exposición solar; señalando posiblemente una zonificación de una manera precisa, identificando áreas de circulación, áreas de transición o pausa y áreas de estancia.

A continuación, la **Figura 38** presenta de manera integrada la relación entre las categorías de permanencia asociadas a una actividad, el porcentaje de área correspondiente a cada categoría y las posturas corporales estándar adoptadas en el espacio público, en coherencia con los rangos de tolerancia solar definidos por Waldron y Salazar (2023).

Figura 38

Esquema comparativo del porcentaje de área por categoría de permanencia asociada a una actividad, en relación con las posturas corporales del Espacio 3



Nota. Esquema comparativo del porcentaje de área por categoría de permanencia asociada a una actividad, en relación con las posturas corporales y los rangos de tolerancia solar, para el Espacio 3, en el diseño arquitectónico existente y la propuesta de diseño, durante las franjas horarias analizadas.

El esquema (**Figura 38**) evidencia cómo la propuesta de diseño arquitectónico para el Espacio 3 reorganiza las categorías de permanencia a partir de la integración de estrategias de control solar y elementos complementarios, favoreciendo una mayor diversidad de posturas corporales y formas de uso. La coexistencia de áreas de estancia, pausa y tránsito lento permite que el espacio funcione como un sistema flexible, en el que se articulan actividades recreativas, recorridos y momentos de permanencia prolongada. Esta configuración refuerza el carácter dinámico del espacio, sin perder su condición de espacio de recreación pasiva y contemplativa dentro del Polideportivo.

Visualizaciones de la Propuesta de Diseño Arquitectónico y las Categorías de Áreas de Permanencia Asociadas a una Actividad

Con el fin de sintetizar y comunicar de manera integrada los resultados del análisis ambiental y su traducción en decisiones de diseño, este subcapítulo presenta una serie de visualizaciones que articulan la propuesta de diseño arquitectónico con las categorías de áreas de permanencia asociadas a una actividad.

Las representaciones combinan lecturas bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D) para evidenciar cómo las estrategias bioclimáticas pasivas propuestas inciden sobre las condiciones de uso del espacio, diferenciando áreas de estancia, tránsito y pausa según la jornada de la mañana y la tarde.

Cada esquema se organiza en dos bloques principales: a la izquierda, las áreas de estancia correspondientes a permanencias largas y cortas; y a la derecha, las áreas de tránsito y pausa, que incluyen las categorías de tráfico rápido, tráfico lento y pausa. Estas categorías se diferencian mediante una colorimetría específica para las jornadas de la mañana y la tarde, lo que permite identificar las variaciones en ambos periodos del día y

reconocer las zonas que favorecen mayores tiempos de estancia frente a aquellas destinadas principalmente al tránsito o a pausas.

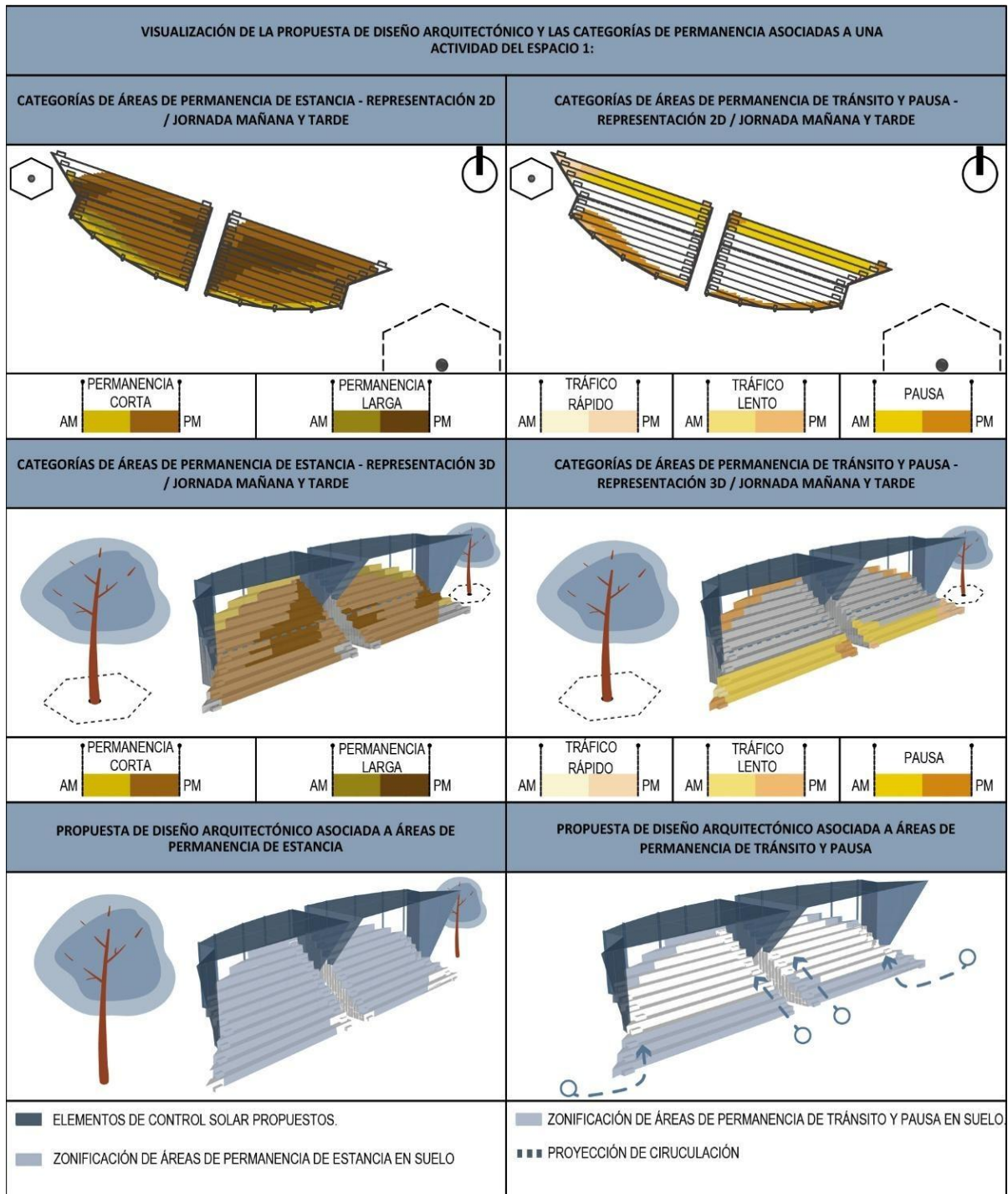
En conjunto, los gráficos permiten comprender la relación entre los elementos de control solar, tanto contruidos como naturales, y los componentes complementarios, como el mobiliario, evidenciando cómo los resultados del análisis pueden proyectarse sobre el espacio físico para orientar la zonificación de usos, la disposición de los elementos y la definición de recorridos, en coherencia con las condiciones ambientales simuladas. De manera complementaria, esta lectura permite identificar posibles criterios de diferenciación espacial a nivel de suelo, mediante variaciones en texturas, materiales y tratamientos superficiales, los cuales no constituyen el foco del presente proyecto, pero se reconocen como potenciales estrategias pasivas de apoyo para reducir el sobrecalentamiento, el deslumbramiento y la reflexión excesiva de la radiación, así como para favorecer la apropiación y la permanencia, sin modificar el carácter ni la vocación de los espacios analizados.

Visualización de la propuesta Espacio 1.

La **Figura 39** presenta la visualización de la propuesta de diseño arquitectónico para el Espacio 1, correspondiente al área de graderías, en relación con las categorías de áreas de permanencia asociadas a una actividad.

Figura 39

Visualización de la propuesta para el Espacio 1 según la jornada mañana y tarde



A. Propuesta de diseño para las áreas de permanencia de estancia: Las representaciones en 2D y 3D evidencian una concentración de las áreas de permanencia corta y larga en la franja central de las graderías, condición que responde directamente a su

función como espacio de observación y permanencia prolongada durante las actividades deportivas. Esta zonificación se mantiene tanto en la jornada de la mañana como de la tarde, aunque con variaciones en la extensión de las áreas de mayor permanencia asociadas a los cambios en la incidencia solar sobre todo en la tarde.

La propuesta de diseño refuerza esta condición mediante la incorporación de elementos de control solar que favorecen al tiempo de permanencia en los puntos de mayor ocupación, permitiendo que las actividades se repartan de manera que no interfieran con el campo visual de la pista, permitan la circulación y las pausas en el espacio de manera focalizada (**Figura 40**).

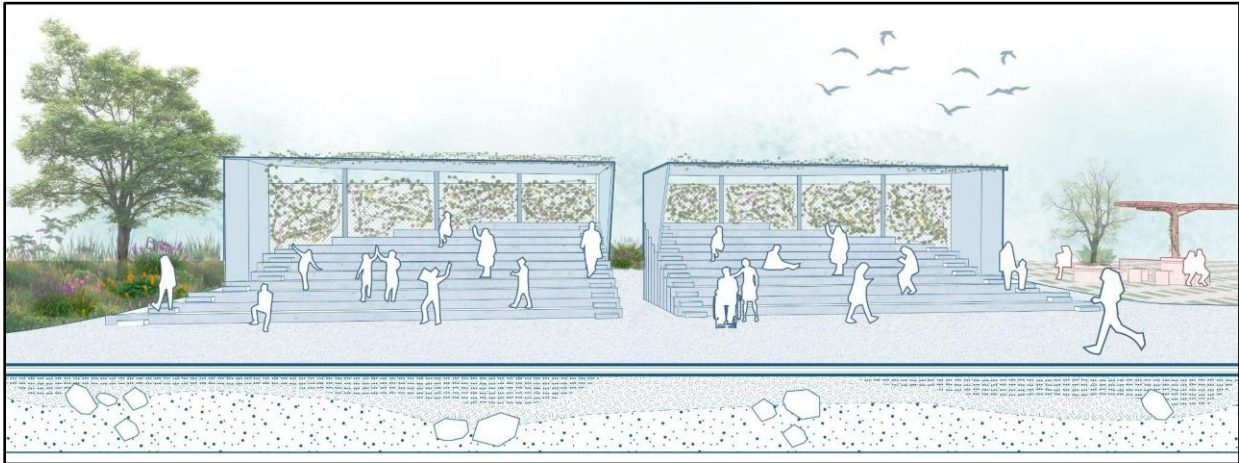
B. Propuesta de diseño para las áreas de permanencia de tránsito y pausa:

Las áreas asociadas al tránsito y la pausa se localizan principalmente en los laterales y zonas de acceso en los primeros niveles de la gradería, correspondiente a los recorridos de subida y circulación. Esta disposición permite evitar interferencias con los espectadores y garantiza la continuidad de los flujos de acceso y evacuación hacia la pista de patinaje y hockey.

La proyección de recorridos refuerza la lectura funcional del espacio, diferenciando claramente las áreas destinadas al desplazamiento de aquellas concebidas para la estancia, en coherencia con las variaciones de uso observadas entre la mañana y la tarde (**Figura 40**).

Figura 40

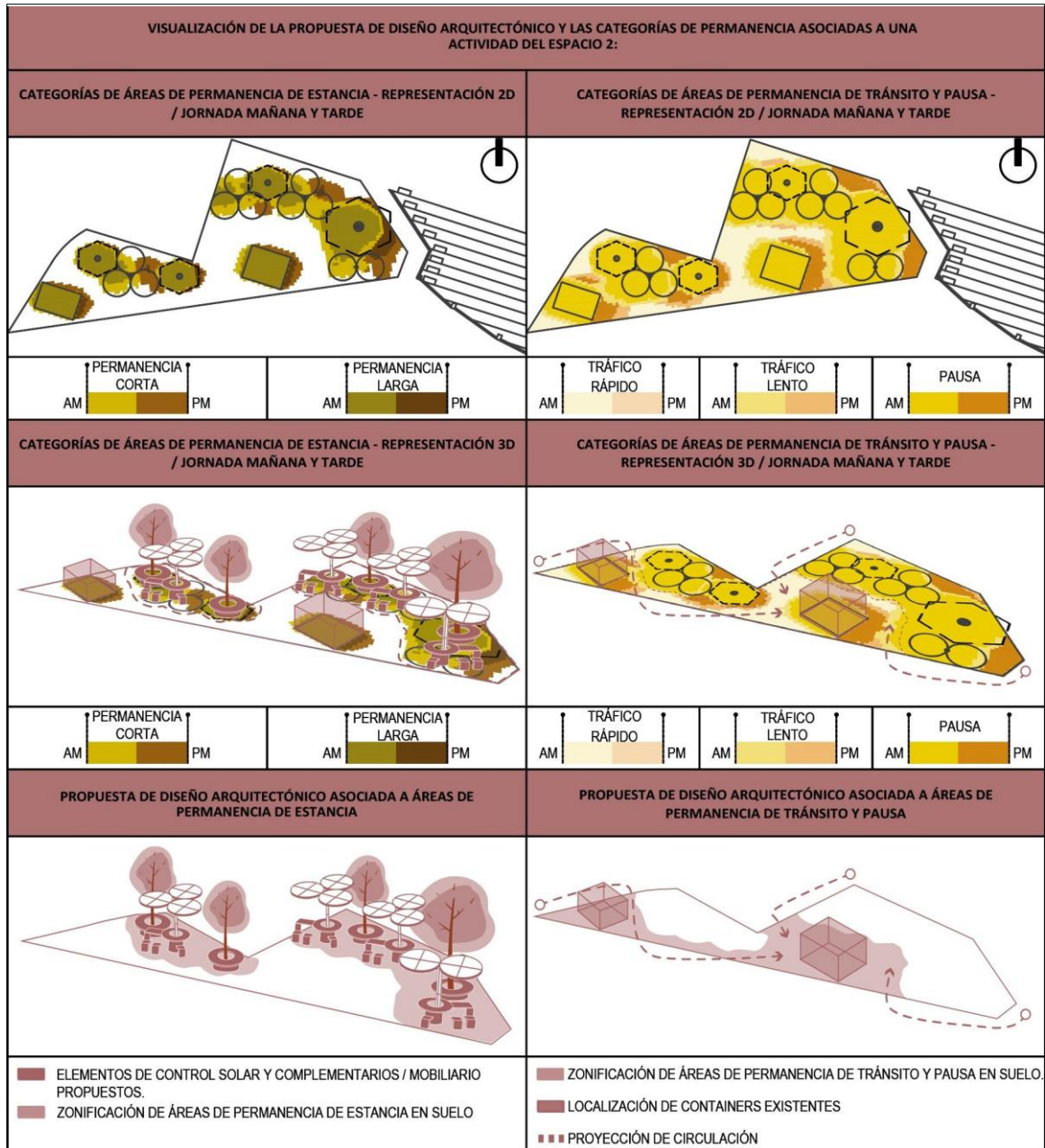
Visualización de la propuesta de diseño para las áreas de permanencia de estancia, tránsito y pausa del Espacio 1

***Visualización de la propuesta Espacio 2***

La **Figura 41** presenta la visualización de la propuesta de diseño arquitectónico para el Espacio 2, correspondiente al área de contenedores de comida, en relación con las categorías de áreas de permanencia asociadas a una actividad.

Figura 41

Visualización de la propuesta para el Espacio 2 según la jornada mañana y tarde



A. Propuesta de diseño para las áreas de permanencia de estancia:

Las representaciones evidencian una concentración de las áreas de permanencia corta y larga en torno a las pérgolas modulares y al arbolado propuesto, los cuales actúan como elementos de control solar. Esta configuración permite la incorporación de elementos

complementarios, como mesas y sillas, asociados directamente al servicio de los contenedores de comida, consolidando zonas destinadas a la estancia y al encuentro.

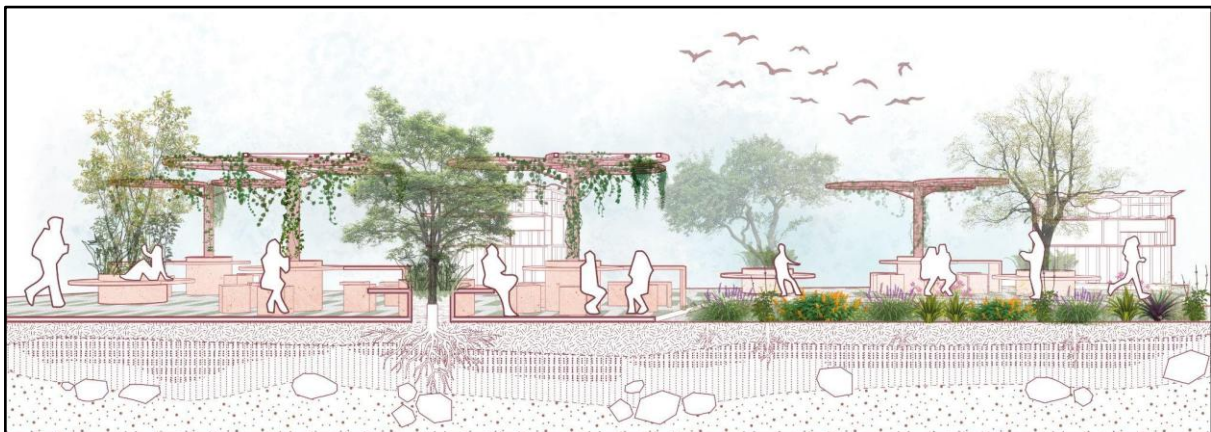
Tanto en la jornada de la mañana como en la tarde se observa que una proporción significativa del espacio se destina a la permanencia de estancia, favoreciendo la apropiación del lugar y el disfrute prolongado por parte de los usuarios (**Figura 42**).

B. Propuesta de diseño para las áreas de permanencia de tránsito y pausa:

Las áreas de tránsito y pausa se estructuran en torno a los recorridos principales y a la localización de los contenedores, que funcionan como espacios de transición entre el desplazamiento y la estancia. Esta condición permite zonificar las áreas destinadas a la permanencia prolongada, manteniendo la fluidez de la circulación y destinando zonas específicas para el acceso y la salida del espacio (**Figura 42**).

Figura 42

Visualización de la propuesta de diseño para las áreas de permanencia de estancia, tránsito y pausa del Espacio 2

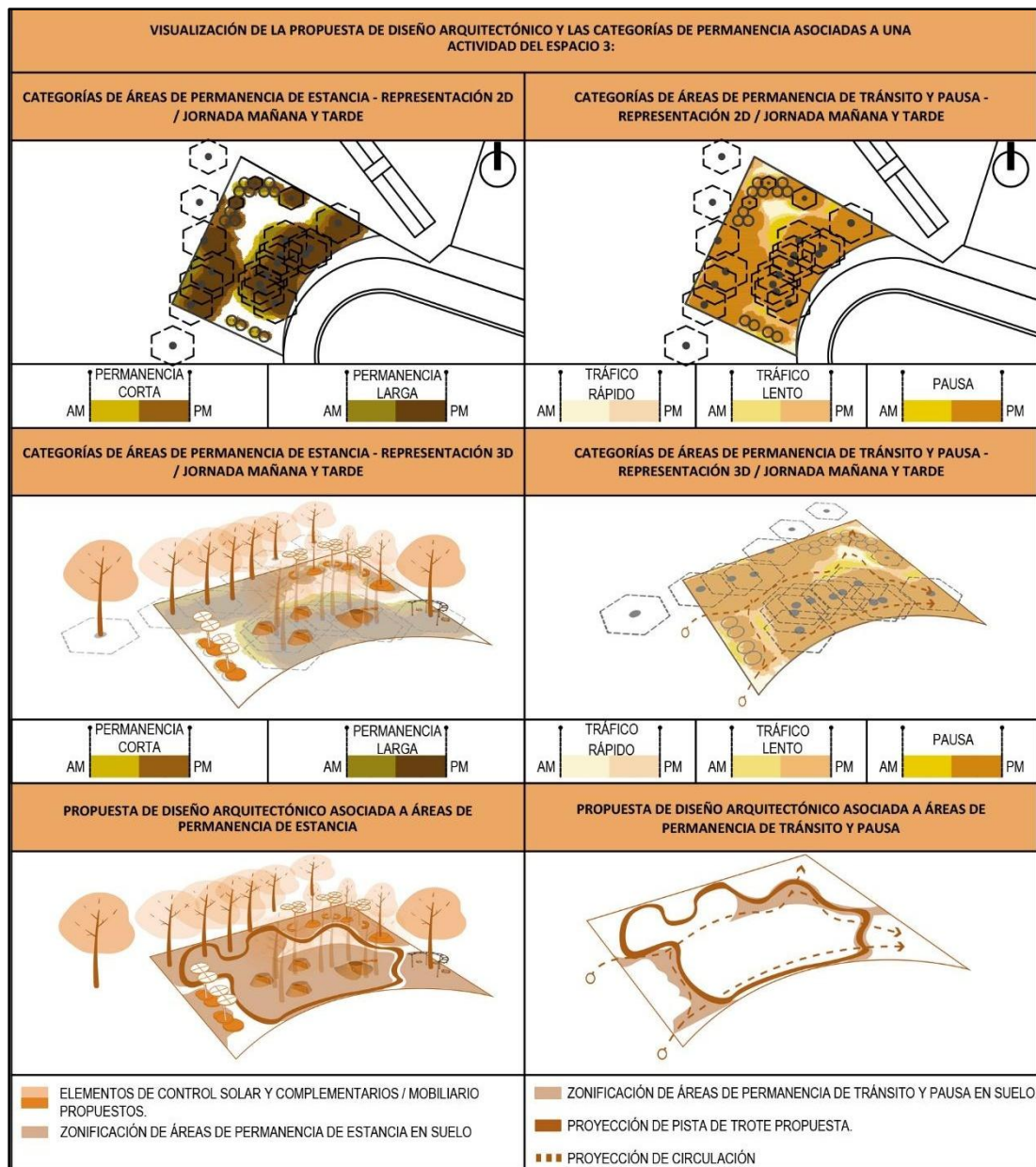


Visualización de la propuesta Espacio 3

La **Figura 43** presenta la visualización de la propuesta de diseño arquitectónico para el Espacio 3, correspondiente a un área de carácter recreativo y de uso flexible, en relación con las categorías de áreas de permanencia asociadas a una actividad.

Figura 43

Visualización de la propuesta para el Espacio 3 según la jornada mañana y tarde



A. Propuesta de diseño para las áreas de permanencia de estancia: Las representaciones evidencian una distribución más dinámica de las áreas de permanencia, asociada a la incorporación de mobiliario diverso, juegos infantiles, taludes para recostarse y zonas de contemplación bajo el arbolado existente y las pérgolas modulares propuestas. Esta configuración favorece múltiples formas de ocupación y posturas corporales, adaptándose a

distintos tiempos de permanencia a lo largo del día según la necesidad y/o preferencia del usuario (**Figura 44**).

B. Propuesta de diseño para las áreas de permanencia de tránsito y pausa:

Las áreas de permanencia asociadas al tránsito y la pausa se estructuran a partir de la proyección de una pista de trote y de recorridos secundarios, los cuales organizan el movimiento dinámico dentro del espacio sin generar fragmentaciones. La intención de esta estrategia es integrar el desplazamiento como una experiencia espacial continua en relación con el arbolado y los elementos de mobiliario dispuestos en el entorno. De este modo, el desarrollo simultáneo de diversas actividades recreativas, sin necesidad de concentrarlas en una sola área, permite que los usuarios elijan de manera flexible los lugares de tránsito, pausa o permanencia según sus preferencias y las condiciones ambientales a lo largo del día (**Figura 44**).

Figura 44

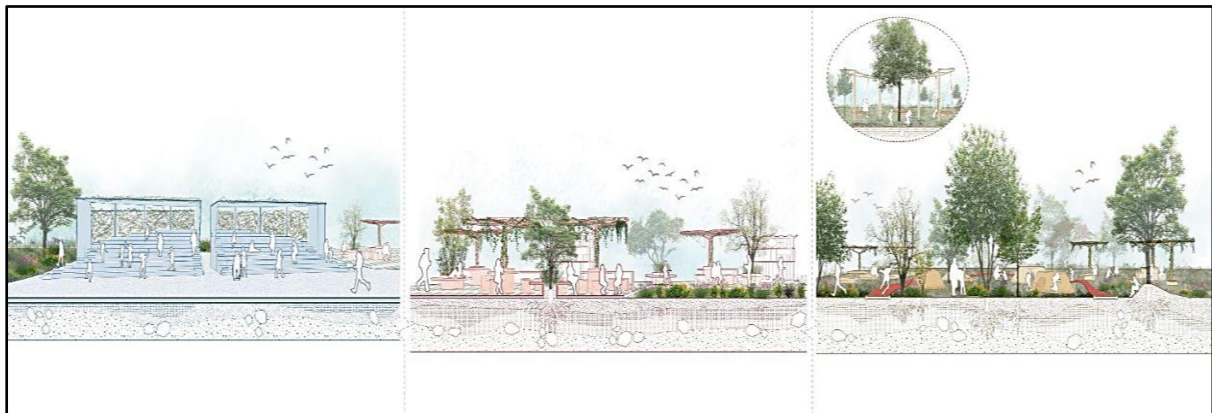
Visualización de la propuesta de diseño para las áreas de permanencia de estancia, tránsito y pausa del Espacio 3



En conjunto, las visualizaciones desarrolladas para los tres espacios permiten comprender cómo la propuesta de diseño arquitectónico se articula a partir de un mismo criterio ambiental, adaptándose a las condiciones particulares de cada área y sus dinámicas de uso (**Figura 45**). La lectura integrada de las categorías de permanencia, en relación con la jornada de la mañana y la tarde, evidencia la capacidad del análisis de radiación solar para orientar decisiones proyectuales asociadas a la zonificación, la disposición de elementos y la organización de los recorridos.

Figura 45

Visualización en conjunto de la propuesta de diseño para las áreas de permanencia de estancia, tránsito y pausa del Espacio 3



De este modo, los gráficos no se plantean como soluciones cerradas, sino como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones en el diseño del espacio público, que permite reconocer patrones de uso y oportunidades de intervención.

Conclusiones

1. El desarrollo del proyecto demuestra que es posible utilizar simulaciones ambientales y algoritmos paramétricos como herramientas de apoyo al diseño arquitectónico en el espacio público, permitiendo traducir variables climáticas, como la radiación solar, en criterios espaciales claros para la toma de decisiones de diseño. Desde este enfoque, los fenómenos ambientales no se abordan únicamente como condicionantes técnicos, sino como insumos proyectuales que orientan la mejora de las condiciones de permanencia, uso y apropiación de parques deportivos y recreativos ubicados en contextos climáticos cálidos, como el de la ciudad de Santiago de Cali.

2. La metodología propuesta, estructurada en cinco etapas y articulada con el enfoque de Waldron y Salazar, permitió reinterpretar las horas de exposición solar en rangos de tolerancia solar y en categorías de permanencia asociadas a una actividad. Esta lectura posibilita comprender el espacio público como un sistema dinámico, en el que coexisten distintos tiempos de estancia, intensidades de uso y posturas corporales, estableciendo una relación directa entre el fenómeno ambiental, el comportamiento y la permanencia de los usuarios.

3. El análisis en paralelo del porcentaje de área por categoría de permanencia permitió orientar la propuesta de diseño arquitectónico a partir de una lectura cuantificable de las transformaciones espaciales. Este ejercicio consolidó una ruta metodológica clara para analizar y proyectar el espacio público desde un enfoque ambiental, facilitando la comparación entre el diseño existente y la propuesta bajo las mismas condiciones de análisis.

4. El desarrollo de la propuesta de diseño arquitectónico para los tres espacios de estudio evidencia que la metodología se adapta a distintas configuraciones espaciales y dinámicas de uso observadas en las visitas realizadas. La incorporación de estrategias bioclimáticas pasivas, mediante elementos de control solar tanto naturales como construidos, junto con la reorganización de áreas de estancia, tránsito y pausa, permitió articular la

zonificación de usos, la disposición del mobiliario y la definición de recorridos a partir de las condiciones de exposición solar, fortaleciendo un enfoque de diseño coherente con las dinámicas reales del espacio, mejorando las condiciones de habitabilidad y permanencia sin alterar el carácter, la vocación ni el espacio disponible.

5. Entre las principales limitaciones del estudio se reconoce que el análisis se concentró en franjas horarias representativas de la mañana y la tarde, así como en tres espacios específicos del Polideportivo, lo que restringe la resolución temporal y espacial del análisis. No obstante, esta condición abre la posibilidad de futuras investigaciones orientadas a ampliar la lectura temporal mediante intervalos horarios más detallados, incorporar otras variables climáticas relevantes, como el viento, y aplicar la metodología a la totalidad del polígono del Polideportivo, con el fin de fortalecer su alcance como herramienta de análisis y apoyo al diseño del espacio público.

6. Si bien en el desarrollo de las estrategias bioclimáticas pasivas se incorporan conceptos asociados al comportamiento térmico del espacio, como el uso de materiales de baja reflectancia, la transferencia térmica, la ventilación natural, la renovación del aire, entre otros; el alcance del proyecto se concentró en el análisis de la radiación solar como variable ambiental principal. En este sentido, dichos criterios se plantean como aproximaciones proyectuales complementarias, cuya evaluación no fue simulada dentro del modelo paramétrico desarrollado. No obstante, su presencia en la propuesta permite identificar una proyección futura del trabajo, en la que la incorporación de nuevas variables ambientales podría ampliar la lectura del espacio y dar lugar a configuraciones arquitectónicas alternativas para la mejora integral de los espacios de mayor permanencia.

Referencias

- Ahmed, K. S. (2003). Comfort in urban spaces: defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments [Confort en espacios urbanos: definiendo los límites del confort térmico exterior para los entornos urbanos tropicales]. *Energy and Buildings*, 35(1), 103-110. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00085-3)
- Alcaldía de Santiago de Cali. (2000). *Plan de Ordenamiento Territorial (Acuerdo 069 de 2000)*. <https://www.cali.gov.co/descargar.php?idFile=3730>
- Alcaldía de Santiago de Cali. (2010). *Manual de Elementos Constituidos del Espacio Público (MECEP)*. https://idesc.cali.gov.co/download/guias/manual_mecep.pdf
- Alcaldía de Santiago de Cali. (2018). *Manual de adecuación del Espacio Público Efectivo*. http://idesc.cali.gov.co/download/guias/manual_maepe.pdf
- ASHRAE. (2020). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/standards%20and%20guidelines/standards%20addenda/55_2017_d_20200731.pdf
- COLDEPORTES. (2018). *Manual para el diseño de Escenarios Deportivos Módulo 5. Lineamientos de Política Pública en Infraestructura Deportiva*. <https://www.mindeporte.gov.co/index.php/files/a08e369a-40f8-4bc2-8a14-b692d80e8325/a08e4502-2995-4a6d-a9cb-2e588d78e4e7/Modulo-5.pdf>
- Conde, B. (2014). *Arquitectura paramétrica: IA, una evolución en curso*. Trabajo de grado, Universitat Politècnica de Catalunya. <https://upcommons.upc.edu/entities/publication/a115eff6-56bd-4f44-a086-001cc0edd56d>
- Gehl, J. (2006). *La humanización del espacio urbano: La vida social entre los edificios*. Reverté. <https://www.reverte.com/media/reverte/files/sample-81190.pdf>
- Gehl, J. (2011). *Life Between Buildings*. Island Press. https://cus.ubt-uni.net/wp-content/uploads/2024/11/Jan-Gehl-Life-Between-Buildings_-Using-Public-Space-2011-Island-Press.pdf

- Higuera, E. (2011). *Urbanismo bioclimático*. Cuadernos de Investigación Urbanística. https://www.researchgate.net/publication/279474037_Urbanismo_bioclimatico
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT). (2015). *Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones*. <https://www.minvivienda.gov.co/system/files/consultasp/anexo-1-guia-de-construccion-sostenible.pdf>
- Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)*. <https://www.un.org/es/common-agenda/sustainable-development-goals>
- Olgay, V. (2006). *Arquitectura y Clima*. https://editorialgg.com/media/catalog/product/9/7/9788425214882_inside.pdf
- ONU-Hábitat. (2019). *Guía global para el espacio público: de principios globales a políticas y prácticas locales*. https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/06/guia_global_ep.pdf
- Parra, E. (2020). *Propuesta de una metodología para la optimización multi-objetivo de estrategias bioclimáticas en edificaciones a través de modelos paramétricos*. Trabajo de grado Maestría, Universidad de San Buenaventura, Facultad de Artes Integradas. <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstreams/db06324a-a21b-4c5a-8513-c4ab29573f5c/download>
- Perico, D. (2013). *El espacio público de la ciudad*. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cvyu/article/view/5519/4346>
- Presidencia de la República. (1998). *Decreto 1504 de 1998*. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1259>
- Salazar, J. H. (2010). *Uso y apropiación de los espacios públicos* (Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Facultad de Arquitectura, Ed.). <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/86017>
- Therán, K., Rodríguez, L., Mouthon, S. y Manjarres, J. (2019). Microclima y Confort Térmico Urbano. *Modulo Arquitectura CUC*, 23(1), 49-88.
- Waldron, J., & Salazar, J. H. (2012). Calidad ambiental en el diseño arquitectónico – Parque Biblioteca Guayabal, Medellín. *Conferencia: Semana de la Salud Ocupacional*.

<https://www.researchgate.net/publication/262672413> Calidad ambiental en el diseño arquitectónico - Parque Biblioteca Guayabal Medellín

Waldron, J. A., & Salazar, J. H. (2013). Calculation of Areas of Permanence in Public Spaces, According to Solar Radiation Simulated Conditions [Cálculo de áreas de permanencia en espacios públicos, según condiciones simuladas de radiación solar]. *Springer*, 8014. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39238-2_24

Anexos

Anexo 1. Análisis en paralelo del porcentaje de área por categoría de permanencia asociada a una actividad en el diseño existente y la propuesta de diseño.

A continuación, se presenta el desarrollo completo del análisis comparativo, que sirve como base para la obtención de los porcentajes para cada espacio simulado.

a) Porcentaje de área por categoría de permanencia del Espacio 1.

PORCENTAJE DE ÁREA POR CATERGORIA DE PERMANENCIA DEL ESPACIO 1						
ÁREA DE LA ZONA (m ²)				249,91		
HORARIO DE SIMULACIÓN: 09:00 am - 01:00 pm						
CATEGORÍAS DE ÁREAS DE PERMANENCIA	HORAS	m ² ACTUAL	% INSOLACIÓN ACTUAL	m ² PROPUESTO	% INSOLACIÓN PROPUESTA	VARIACIÓN
TRÁFICO RÁPIDO	4	214,5	86%	0,00	0%	
TRÁFICO LENTO	3,5	20,78	8%	20,99	8%	1%
PAUSA	3	14,63	6%	19,69	8%	35%
PERMANENCIA CORTA	2	0	0%	32,03	13%	
PERMANENCIA LARGA	1	0	0%	177,20	71%	

PORCENTAJE DE ÁREA POR CATERGORIA DE PERMANENCIA DEL ESPACIO 1						
ÁREA DE LA ZONA (m ²)				249,91		
HORARIO DE SIMULACIÓN: 01:00 pm - 05:00 pm						
CATEGORÍAS DE ÁREAS DE PERMANENCIA	HORAS	m ² ACTUAL	% INSOLACIÓN ACTUAL	m ² PROPUESTO	% INSOLACIÓN PROPUESTA	VARIACIÓN
TRÁFICO RÁPIDO	4	246,99	99%	5,72	2%	-98%
TRÁFICO LENTO	3,5	2,81	1%	3,92	2%	40%
PAUSA	3	0,11	0%	13,28	5%	11973%
PERMANENCIA CORTA	2	0	0%	32,71	13%	
PERMANENCIA LARGA	1	0	0%	194,28	78%	

b) Porcentaje de área por categoría de permanencia del Espacio 2

PORCENTAJE DE ÁREA POR CATERGORIA DE PERMANENCIA DEL ESPACIO 2						
ÁREA DE LA ZONA (m ²)				#	M2	
HORARIO DE SIMULACIÓN: 09:00 am - 01:00 pm						
CATEGORÍAS DE ÁREAS DE PERMANENCIA	HORAS	m ² ACTUAL	% INSOLACIÓN ACTUAL	m ² PROPUESTO	% INSOLACIÓN PROPUESTA	VARIACIÓN
TRÁFICO RÁPIDO	4	137,23	71%	59,45	31%	-57%
TRÁFICO LENTO	3,5	10,78	6%	21,20	11%	97%
PAUSA	3	13,30	7%	36,90	19%	177%
PERMANENCIA CORTA	2	6,42	3%	21,17	11%	230%
PERMANENCIA LARGA	1	24,61	13%	53,62	28%	118%

PORCENTAJE DE ÁREA POR CATERGORIA DE PERMANENCIA DEL ESPACIO 2						
ÁREA DE LA ZONA (m ²)				192,34		
HORARIO DE SIMULACIÓN: 01:00 pm - 05:00 pm						
CATEGORÍAS DE ÁREAS DE PERMANENCIA	HORAS	m ² ACTUAL	% INSOLACIÓN ACTUAL	m ² PROPUESTO	% INSOLACIÓN PROPUESTA	VARIACIÓN
TRÁFICO RÁPIDO	4	138,73	72%	57,92	30%	-58%
TRÁFICO LENTO	3,5	11,10	6%	23,15	12%	109%
PAUSA	3	11,32	6%	37,47	19%	231%
PERMANENCIA CORTA	2	6,74	4%	29,95	16%	344%
PERMANENCIA LARGA	1	24,45	13%	43,85	23%	79%

c) Porcentaje de área por categoría de permanencia del Espacio 3

PORCENTAJE DE ÁREA POR CATERGORIA DE PERMANENCIA DEL ESPACIO 3						
ÁREA DE LA ZONA (m ²)				722,59		
HORARIO DE SIMULACIÓN: 09:00 am - 01:00 pm						
CATEGORÍAS DE ÁREAS DE PERMANENCIA	HORAS	m ² ACTUAL	% INSOLACIÓN ACTUAL	m ² PROPUESTO	% INSOLACIÓN PROPUESTA	VARIACIÓN
TRÁFICO RÁPIDO	4	248,68	34%	123,17	17%	-50%
TRÁFICO LENTO	3,5	48,24	7%	69,37	10%	44%
PAUSA	3	81,46	11%	124,38	17%	53%
PERMANENCIA CORTA	2	78,15	11%	109,42	15%	40%
PERMANENCIA LARGA	1	266,06	37%	296,25	41%	11%

PORCENTAJE DE ÁREA POR CATERGORIA DE PERMANENCIA DEL ESPACIO 3						
ÁREA DE LA ZONA (m ²)				722,59		
HORARIO DE SIMULACIÓN: 01:00 pm - 05:00 pm						
CATEGORÍAS DE ÁREAS DE PERMANENCIA	HORAS	m ² ACTUAL	% INSOLACIÓN ACTUAL	m ² PROPUESTO	% INSOLACIÓN PROPUESTA	VARIACIÓN
TRÁFICO RÁPIDO	4	192,39	27%	93,87	13%	-51%
TRÁFICO LENTO	3,5	63,82	9%	78,74	11%	23%
PAUSA	3	85,19	12%	122,76	17%	44%
PERMANENCIA CORTA	2	95,02	13%	125,94	17%	33%
PERMANENCIA LARGA	1	286,17	40%	301,28	42%	5%