

**Planteamiento de estrategias generales para el diseño de una envolvente para la ciudad de
Bucaramanga, a partir de los principios de diseño biomimético**

Santiago José Arenas Jerez

Trabajo de grado para optar por el título de Arquitecto

Director

Pablo Serrano Drozdowskyj

Máster en Medioambiente y Arquitectura Bioclimática

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Arquitectura

2023

Dedicatoria

Hago una dedicatoria especial para todos aquellos investigadores que siguen planteando posibilidades de progreso para mejorar la calidad de vida de la humanidad con un enfoque hacia la sostenibilidad.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial para aquellos docentes y compañeros que han formado parte de este proceso, en especial para el director de este proyecto, que ha tenido el valor creativo y educativo para impulsar una investigación enfocada en el desarrollo de posibles relaciones sinérgicas entre lo artificial y lo natural que beneficien la construcción sostenible del hábitat humano.

Contenido

Introducción.....	14
1. Planteamiento de estrategias generales para el diseño de una envolvente para la ciudad de Bucaramanga, a partir de los principios de diseño biomimético	16
1.1 Planteamiento del problema.....	16
1.2 Justificación.....	18
1.3 Objetivos	20
1.3.1 Objetivo general	20
1.3.2 Objetivos específicos.....	20
2. Marco referencial	20
2.1 Marco conceptual	20
2.1.1 Envolvente.....	20
2.1.2 Biomímesis	22
2.1.3 Adaptación.....	27
2.2 Marco teórico	30
2.2.1 Referentes constructivos.....	35
2.3 Marco histórico	46
2.3.1 Referentes históricos	46
2.4 Marco geográfico	53
3. Metodología	55
3.1 Fases de desarrollo de la metodología	56
4. Desarrollo del caso de estudio	57
4.1 Fase 1 Dinámicas	57

4.1.1 Dinámicas Humanas	57
4.1.2 Dinámicas Ambientales	67
4.1.3 Dinámicas Biológicas	85
4.1.4 Entrevista Biólogo	88
4.1.5 Análisis de especies	89
4.2 Fase 2 Transición	104
4.2.1 Factores limitantes	106
4.2.2 Funciones	108
4.3.1 Esquemas de adaptación	110
4.3 Fase 3 Arquitectónica	115
4.3.1 Presentación de estrategias de adaptación	117
4.3.2 Clasificación de estrategias arquitectónicas	120
5. Conclusiones	122
Referencias	123

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Relación de conceptos sobre arquitectura biodigital</i>	24
Tabla 2. <i>Arquitectura genética.....</i>	25
Tabla 3. <i>Relación de conceptos sobre adaptación.....</i>	27
Tabla 4. <i>Fachada cinética.....</i>	38
Tabla 5. <i>Estructura metodológica.....</i>	56
Tabla 6. <i>Metodología de Análisis de Especies.....</i>	89
Tabla 7. <i>Tipos de estrategias de adaptación en organismos vivos</i>	91
Tabla 8. <i>Espécimen 1 Introducida Caucho</i>	99
Tabla 9. <i>Espécimen 3 Introducida Oití</i>	101

Lista de figuras

Figura 1. <i>Envolvente Estadio Al Thumama</i>	21
Figura 2. <i>Estadio Nacional de Beijing</i>	24
Figura 3. <i>Panel “no modelos, no models”. arquitectura genética</i>	26
Figura 4. <i>Termitero africano</i>	29
Figura 5. <i>Metodología proyectual</i>	32
Figura 6. <i>Factores determinantes para el diseño de Eco-envolventes</i>	33
Figura 7. <i>Parámetros de configuración de estructura conceptual</i>	34
Figura 8. <i>Edificio de oficinas Media-ICT</i>	36
Figura 9. <i>Fachadas neumáticas</i>	36
Figura 10. <i>Fachada neumática planimetría</i>	37
Figura 11. <i>Fachadas dinámicas</i>	38
Figura 12. <i>Fachada receptiva de las torres Al Bahar</i>	39
Figura 13. <i>Esquemas de diseño, torres Al Bahar</i>	40
Figura 14. <i>Envolvente cinética, Showroom Kiefer</i>	41
Figura 15. <i>One Ocean Thematic Pavilion</i>	42
Figura 16. <i>Envolvente Bloom</i>	43
Figura 17. <i>Fachada algas bio-reactivas</i>	44
Figura 18. <i>Biocompuestos Sintonizables</i>	45
Figura 19. <i>kinetic arcghitecture</i>	48
Figura 20. <i>Muro polivalente</i>	49
Figura 21. <i>Instituto árabe de parís</i>	50
Figura 22. <i>Millenium Stadium de Cardiff</i>	51

Figura 23. <i>Análisis climático Bucaramanga</i>	54
Figura 24. <i>Metodología proyectual</i>	55
Figura 25. <i>Diagrama psicométrico de Givoni</i>	59
Figura 26. <i>Sistemas de aire acondicionado</i>	61
Figura 27. <i>Inercia Térmica</i>	62
Figura 28. <i>Rosa de los Vientos</i>	63
Figura 29. <i>Evaluación Ecológica de materiales</i>	66
Figura 30. <i>Localización de la Ciudad de Bucaramanga</i>	67
Figura 31. <i>Caracterización del clima</i>	68
Figura 32. <i>Mapa Análisis Topográfico, Capa 1</i>	69
Figura 33. <i>Corte del Análisis Topográfico capa 1</i>	70
Figura 34. <i>Análisis geográfico y Vegetativo Capa 2</i>	70
Figura 35. <i>Estructura Ecológica capa 3</i>	71
Figura 36. <i>Desarrollo Topográfico capa 1</i>	72
Figura 37. <i>Nodos urbanos de Temperatura capa 2</i>	73
Figura 39. <i>Análisis Humedad y Temperatura mínima</i>	74
Figura 40. <i>Simulación Temperatura mínima</i>	74
Figura 41. <i>Análisis Humedad y Temperatura media</i>	75
Figura 42. <i>Simulación Temperatura media</i>	75
Figura 43. <i>Análisis Humedad y Temperatura máxima</i>	76
Figura 44. <i>Simulación Temperatura máxima</i>	76
Figura 45. <i>Análisis Precipitación, Radiación y Humedad</i>	77
Figura 46. <i>Simulación Humedad Relativa%</i>	78

Figura 47. <i>Análisis Radiación Solar y Temperatura mínima</i>	79
Figura 48. <i>Análisis Radiación Solar y Temperatura media</i>	79
Figura 49. <i>Análisis Radiación Solar y Temperatura Máxima</i>	80
Figura 50. <i>Análisis de Ventilación</i>	81
Figura 51. <i>Análisis Solar Solsticio y Equinoccio</i>	82
Figura 52. <i>Climograma de Olgay</i>	83
Figura 53. <i>Parámetros ambientales analizados</i>	84
Figura 54. <i>Infraestructura Verde Natural</i>	86
Figura 55. <i>Ubicación Parques Metropolitanos</i>	87
Figura 56. <i>Catálogo de especies nativas Bucaramanga</i>	90
Figura 57 <i>Espécimen 1 Búcaro</i>	92
Figura 58. <i>Espécimen 2 Guayaba Feijoa</i>	93
Figura 59. <i>Espécimen 3 Guayacán Rosado</i>	94
Figura 60. <i>Espécimen 4 Azuceno</i>	95
Figura 61. <i>Espécimen 5 Guayacán Amarillo</i>	96
Figura 62. <i>Espécimen 6 Gallinero</i>	97
Figura 63. <i>Espécimen 7 Sarrapio</i>	98
Figura 64. <i>Espécimen 2 Introducida Laurel</i>	100
Figura 65. <i>Espécimen 4 Introducida Palma Real</i>	102
Figura 66. <i>Espécimen 5 Introducida Olivo negro</i>	103
Figura 67. <i>Matriz de doble sentido</i>	104
Figura 68. <i>Ordenación de Espacios según su capacidad adaptativa</i>	105
Figura 69. <i>Criterios de abstracción del clima al modelo biológico</i>	107

Figura 70 <i>Factores limitantes</i>	108
Figura 71. <i>Definición de funciones</i>	109
Figura 72. <i>Esquemas de adaptación a la Temperatura</i>	111
Figura 73. <i>Esquemas de adaptación a la Radiación</i>	112
Figura 74. <i>Esquemas de adaptación Humedad</i>	113
Figura 75. <i>Esquemas de adaptación Ventilación</i>	114
Figura 76. <i>Diseño adaptativo</i>	116
Figura 77. <i>Desarrollo de la metodología</i>	117
Figura 78. <i>Estrategias arquitectónicas contra la radiación</i>	117
Figura 79. <i>Adaptación del color</i>	118
Figura 80. <i>Estrategias de ventilación</i>	118
Figura 81. <i>Esquemas de Materialidad</i>	119
Figura 82. <i>Estrategias finales</i>	120

Lista de apéndices

Apéndice A. *Poster científico*

Nota: ver apéndice en archivo externo.

Resumen

El siguiente estudio investigativo tiene como objetivo, proponer estrategias generales para el diseño de una envolvente en la ciudad de Bucaramanga a partir de los principios de diseño biomimético. El planteamiento de la investigación se caracteriza por poner en práctica una estructura metodológica que permite, a partir de la extracción y análisis de información ambiental tanto climática como de especies vegetales nativas, generar un proceso de transición entre la arquitectura y la biología, y establecer estrategias de diseño biomimético para el caso de estudio. La metodología se estructura en tres fases de estudio: La primera fase aborda la investigación determinando el área donde se desarrolla el proyecto y donde se identifican factores limitantes y estrategias biológicas de adaptación, la segunda fase se enfoca en la abstracción y transformación de datos con el fin de obtener principios de adaptación. Por último, la tercera fase se basa en generar estrategias bajo principios de diseño biomimético para una envolvente arquitectónica. El proyecto pretende convertirse en una herramienta funcional para que futuras investigaciones puedan implementarlo en la estructuración de sus propuestas.

Palabras clave: biomímesis, adaptación, envolvente

Abstract

The following research study aims to propose general strategies for the design of an envelope in the city of Bucaramanga from the principles of biomimetic design. The research approach is characterized by putting into practice a methodological structure that allows the extraction of environmental and climatic information from the analysis of native plant species, showing a transition process between architecture and biology that allows establishing design strategies. Biomimetic for the case study. It is based on three phases: The first phase addresses the research determining the area where the project is developed by identifying limiting study factors and adaption mechanisms, the second phase focuses on the abstraction and transformation of data to obtain adaption principles, and the third phase is based on presenting these strategies as biomimetic design principles for an enveloping architecture. At the end of the project, a series of general strategies are proposed, to obtain dynamic solutions that work as a design principle for the preparation of proposals that are much more adaptable to their environment, the objective of this project is to classify this process as a functional tool. So that future research can implement it in the structuring of their proposals.

Keywords: biomimicry, adaption, envelopes

Introducción

"Se trata, entonces, de comprender los principios de funcionamiento de la vida en sus diferentes niveles (y en particular en el nivel ecosistémico) con el objetivo de reconstruir los sistemas humanos de manera que encajen armoniosamente en los sistemas naturales" (Riechmann, 2003, p. 28).

Los organismos biológicos, como las especies vegetales, presentan en su morfología, composición y funcionamiento, principios de diseño eficiente y adaptativo a su entorno específico. Estas características biológicas llevadas al ámbito de la construcción pueden ser de especial interés actualmente, una época caracterizada por los valores ambientales y la búsqueda necesaria de la sostenibilidad.

La arquitectura biomimética nace a partir de la idea de entender la naturaleza como una respuesta optimizada al entorno. Por tanto, a través del estudio de especies biológicas y el discernimiento de sus leyes pueden plantearse estrategias de diseño arquitectónico eficientes que consuman menos energía y recursos, generen menos residuos, y reduzcan el impacto sobre el medio.

La arquitectura aparece en su origen primario como una respuesta ante la necesidad de refugio, la búsqueda de unas condiciones estables de confort frente a un medio hostil. En la construcción de las primeras envolventes, como las cabañas, hay un enfoque principalmente práctico que responde a condiciones climáticas adversas y que se van refinando con el tiempo. A través de un proceso empírico y transmitido de generación en generación estas arquitecturas vernaculares van adquiriendo diseños más complejos, sofisticados y eficientes, enriqueciéndose de avances tecnológicos, aspectos regionales, culturales y artísticos.

En la actualidad, época caracterizada por la conciencia global ambiental, la envolvente cobra gran importancia, siendo objeto de investigación e innovación, adquiriendo nuevas características. Es un elemento clave, límite entre el interior y el exterior, y por tanto protagonista en cuestiones representativas y estéticas, del confort e intercambios energéticos, entre otros.

Con el paso del tiempo la envolvente ha pasado de un enfoque estático hacia uno más dinámico. La arquitectura contemporánea sustituye la idea de fachada por aquella de piel: una capa exterior que genera una conexión entre el edificio y su entorno, transformándose en una membrana activa y dinámica con posibles capacidades de flexibilidad y adaptación al cambio (Trovato Graziella, 2007, párr. 1).

Esta concepción acerca el enfoque de la disciplina arquitectónica hacia el organismo, lo biológico, y las relaciones dinámicas sistémicas y entiende la envolvente, no sólo como un elemento constructivo sino como una “tercera piel”.

El presente trabajo centra el ámbito de estudio en el planteamiento de estrategias para el diseño de una envolvente en un clima cálido y húmedo como el de la ciudad de Bucaramanga a partir de la concepción de la arquitectura biomimética.

1. Planteamiento de estrategias generales para el diseño de una envolvente para la ciudad de Bucaramanga, a partir de los principios de diseño biomimético

1.1 Planteamiento del problema

En la primera década del año 2000 el holandés Paul Crutzen, premio Nobel de Química, popularizó el concepto de antropoceno (término creado anteriormente por el biólogo estadounidense Eugene F. Stoermer) para describir una época donde las actividades de la especie humana estaban generando, desde los inicios de la revolución industrial hasta la actualidad, cambios biológicos y geofísicos significativos a escala planetaria.

En 1987 se inició un estudio científico denominado Programa Internacional sobre la Geosfera y la Biosfera recogiendo numerosa información acerca del impacto humano sobre el ecosistema Tierra. Otras investigaciones como la emprendida por el Observatorio de Mauna Loa evidenciaron la acumulación de emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente dióxido de carbono, en la composición de la atmósfera y en muestras de hielo del Antártico.

El sector de la construcción según información compartida en la Conferencia de Naciones Unidas por el Cambio Climático celebrado en Sharm el-Sheij, Egipto, en noviembre de 2022, es responsable de más del 34% de la demanda energética y alrededor del 37% de las emisiones de dióxido de carbono, asociadas a la energía y sus operaciones durante 2021.

Según las Naciones Unidas las emisiones de dióxido de carbono relacionadas con la energía en las operaciones del sector alcanzaron un equivalente a las diez gigatoneladas, un registro que supone un 5% más alto que los niveles de 2020 y un 2% por encima del pico prepandémico de 2019.

"El sector de los edificios representa el 40% de la demanda energética de Europa, el 80%

de ella procedente de combustibles fósiles. Esto hace que el sector se convierta en un área para la acción inmediata, la inversión y las políticas para promover la seguridad energética a corto y largo plazo", explicó Inger Andersen, directora ejecutiva de Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU, 2015, párr. 3).

Frente a esta problemática se hace necesario plantear soluciones que atañen a la arquitectura y sus procesos. Se debe tender hacia la descarbonización en la construcción, mejorar el rendimiento energético de los edificios, reducir la huella de carbono de los materiales de construcción, además de promover el compromiso político e incrementar la inversión en eficiencia energética.

En países como España la normativa del sector de la construcción vigente relaciona el planteamiento de la envolvente con aspectos climáticos y energéticos. “Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad” (Documento Básico HE Ahorro de Energía, 2019, p. 3).

En Colombia se evidencia una ralentización en la implementación de políticas que ayuden a estos lineamientos en comparación con los llamados países "desarrollados" y por tanto hereda una forma de hacer reciente, desvinculada del enfoque ambientalista.

Al igual que en la mayor parte del mundo la población urbana en Colombia se está incrementando. “El mundo cada vez está más urbanizado. Desde 2007, más de la mitad de la población mundial ha estado viviendo en ciudades, y se espera que dicha cantidad aumente hasta el 60% para 2030” (ONU, 2015, párr. 1).

“Las ciudades del mundo ocupan solo el 3% de la tierra, pero representan entre el 60% y el 80% del consumo de energía y el 75% de las emisiones de carbono” (ONU, 2015, párr. 14).

Estas afirmaciones evidencian que nuestro futuro como especie depende de cómo organicemos y construyamos nuestras ciudades.

Se observa en la ciudad de Bucaramanga, que, en la mayoría de las fachadas preexistentes, hay una identidad repetitiva, el uso de elementos mecánicos para generar confort, materiales inadecuados para sus condicionantes climáticas, incremento de la isla de calor, reducción de zonas verdes, aspectos que evidencian una falta de aplicación de principios de diseño biomimético y que van en contra de los preceptos que apoyan la descarbonización.

¿Qué estrategias biomiméticas serían adecuadas para plantear una envolvente arquitectónica que reduzca el impacto ambiental?

¿Como se podrían trasladar de manera correcta las estrategias de adaptación de organismos vivos, como las especies vegetales nativas del lugar de estudio, con la finalidad de implementarlas en una propuesta arquitectónica?

1.2 Justificación

“La preocupación por el cambio climático obliga a arquitectos e ingenieros a pensar en cómo lograr el confort del edificio sin comprometer el medio ambiente, al aumentar la huella de carbono” (Pérez, 2016, p. 1).

La problemática global evidenciada justifica plantear alternativas desde la disciplina arquitectónica por su alto porcentaje de impacto ambiental, e investigar soluciones aplicables al sector de la construcción que recojan en su enfoque la descarbonización de sus procesos.

El Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 11 establecido por la ONU expresa “lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles” (ONU, 2015, párr.1). La ciudad entendida como un ecosistema afirma que pequeños cambios pertinentes a pequeña escala pueden generar efectos beneficiosos a mayor escala. La

envolvente es un elemento puntual arquitectónico y urbano, que por su presencia masiva y función protagonista en el rendimiento energético en los edificios, se presenta como clave para lograr cambios representativos en cuanto al funcionamiento ecosistémico y energético desde la sostenibilidad a escala ciudad.

La biomimética se presenta como una forma de plantear el diseño arquitectónico que nos acerca a los procesos biológicos, caracterizados por la adaptabilidad al entorno, la eficiencia energética y la reducción de residuos. Aspectos alineados directamente con el objetivo de la descarbonización de los procesos constructivos en arquitectura. Entre otros autores se destacan las siguientes afirmaciones acerca de la biomímesis en arquitectura:

“Se busca la adaptabilidad en la envolvente y se recurre a la Naturaleza como fuente de estrategias de adaptación. A diferencia de nuestros edificios, que permanecen inertes, los objetos vivos responden al ambiente y son capaces de adaptarse a las cambiantes condiciones del clima” (Armstrong, 2012, citado en López, 2018, p. 35).

“La biomimética ofrece parámetros de diseño que mejoran conceptualmente la adaptabilidad al clima de las envolventes arquitectónicas” (López, 2018, p. 38).

Finalmente, el trabajo investigativo plantea la transdisciplinariedad como clave en la búsqueda de soluciones adecuadas e innovadoras, que nazcan a partir del diálogo entre diferentes disciplinas, en este caso la biología y la arquitectura. Esclarecer puntos de encuentro entre ambas disciplinas permite experimentar nuevas metodologías y nuevos vínculos que promuevan la innovación y la creatividad y que sirvan de base para posteriores investigaciones.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Proponer estrategias generales para el diseño de una envolvente en la ciudad de Bucaramanga a partir de los principios de diseño biomimético.

1.3.2 Objetivos específicos

Caracterizar el clima con el fin de identificar las especies que tengan las mejores capacidades de adaptación, así como las características que compone su hábitat.

Identificar ejemplos de adaptaciones de las plantas al entorno, a través de la definición de diferentes desafíos y funciones. según los parámetros ambientales.

Clasificar los datos identificados en la fase anterior con la finalidad de sintetizar y valorar los sistemas estructurales óptimos que se puedan aplicar en el proyecto.

2. Marco referencial

2.1 Marco conceptual

A continuación, Se desarrollan los principales conceptos del ámbito de la arquitectura y a biología que guiaron la investigación.

2.1.1 Envolvente

La arquitectura contemporánea sustituye la idea de fachada por la piel o envolvente, capa exterior que media entre el edificio y su entorno, la anulación de la fachada tradicional con el comienzo de un nuevo fachadismo alejado de la frontalidad renacentista a favor del gesto, la flexibilidad y la transparencia de un velo que vela y revela múltiples contradicciones de nuestro tiempo (Trovato Graziella, 2007, párr.1).

Figura 1. *Envolvente Estadio Al Thumama*



Tomada de ArchDaily / Trad. Valencia (2023).

La envolvente en la arquitectura se refiere a la piel exterior de un edificio, incluyendo paredes, techos, ventanas y puertas. La envolvente juega un papel crítico en el rendimiento y la eficiencia de un edificio. Algunos de los impactos más importantes de la envolvente en la arquitectura son los siguientes:

Aislamiento térmico: la envolvente debe ser capaz de retener el calor en invierno y mantener el edificio fresco en verán, lo que ayuda a reducir la cantidad de energía necesaria para calentar y enfriar el edificio.

Iluminación natural: la envolvente puede maximizar la cantidad de luz natural que ingresa al edificio, lo que reduce la necesidad de iluminación artificial y mejora la calidad del espacio interior.

Reducción del ruido: una envolvente bien diseñada puede ayudar a reducir el ruido exterior que ingresa al edificio, lo que mejora la comodidad acústica del espacio interior.

Resistencia al clima: la envolvente debe ser capaz de resistir los efectos de los elementos, como la lluvia, el viento y la nieve, para proteger el interior del edificio y sus ocupantes.

Estética y expresión arquitectónica: La envolvente es un elemento importante de la expresión arquitectónica y puede contribuir significativamente a la estética del edificio y su integración en el entorno.

La fachada ha evolucionado al uso del término envolvente, como concepto de recubrimiento o capa protectora funcionando como una interfaz entre el interior y exterior, generando una conexión permanente con lo que pasa alrededor de la envolvente. Se asocia envolvente a la misma piel como capa reguladora del medio.

En conclusión: la envolvente en la arquitectura tiene un impacto significativo en la eficiencia energética, la calidad del espacio interior y la expresión arquitectónica del edificio. Es fundamental que los arquitectos presten especial atención a la envolvente durante el proceso de diseño para garantizar que el edificio cumpla con los requisitos de rendimiento, seguridad y estética.

2.1.2 Biomímesis

“Biomímesis se tratará entonces de, comprender los principios de funcionamiento de la vida en sus diferentes niveles y en particular el nivel ecosistémico, con el objetivo de reconstruir

los sistemas humanos de manera que encajen armoniosamente en los sistemas naturales” (Riechmann, 2003, p. 28).

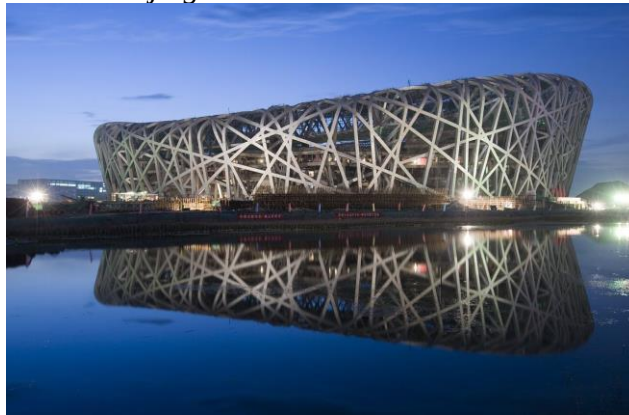
“El termino se establece como bio, significado “vida y mimesis”, definida como la imitación, la conciencia de imitar el genio de la naturaleza” (Baumeister D, 2012, citado en López, 2018, p 38).

Este concepto alude a un enfoque, aproximación o estilo de razonamiento emergente que está siendo aplicado, a través de la inspiración creativa en características y procesos reales del orden natural, a determinadas metodologías avanzadas de diseño e innovación sostenible, así como a ciertos campos especiales de la tecnociencia moderna con el propósito concreto de resolver problemas humanos de distinta índole (Sierra, 2016, p. 8).

La Biomímesis es el proceso por el cual se observan y analizan los principios y procesos biológicos en la naturaleza, con el fin de abstraer elementos importantes para implementarlos y generar soluciones a los problemas humanos, principalmente de hábitat en el caso de la arquitectura.

“Representa una dirección alternativa para conciliar la eficiencia energética con los requerimientos de confort interior de alta calidad, a través de la adaptabilidad a la envolvente del edificio inspirada en principios de adaptación encontrados en la naturaleza” (López, 2018, p. 41).

En la siguiente figura se observa un ejemplo de biomímesis a partir de la abstracción del nido de pájaro aplicada a la envolvente de un estadio olímpico.

Figura 2. *Estadio Nacional de Beijing*

Tomado de Arquitectura viva / por Herzog y De Meuron (2008).

A continuación, se definen palabras afines, como arquitectura biodigital y genética que frecuentemente se usan acompañando al concepto de biomímesis.

Tabla 1. *Relación de conceptos sobre arquitectura biodigital*

Concepto	Fuente	Definición (dada por el autor)	Términos asociados	Conclusión de la definición
Arquitectura biodigital	(Estévez, Alberto, 2018)	Todo empezó con una palabra. Y tras una -diríase- infinita sucesión de palabras, que fueron emergiendo como llamadas desde la oscuridad de la nada, se ha llegado a esta: 'biodigital'. Ciertamente, más y más se aprecia hoy que 'biodigital' es el futuro, que será 50% biológico y 50% digital. Y la fusión de ambos. Pues es el gran potencial que tienen las nuevas técnicas biológicas y digitales el que puede darnos la eficiencia sostenible y social que el planeta necesita, para que el ser humano pueda tener futuro.	Arquitectura biodigital Arquitectura Genética Organicismo Digital	Se define como la unión entre la biología enfocada en la genética y las herramientas digitales. Actualmente la arquitectura biodigital es la revolución hacia el diseño evolutivo de cómo lograr diseños mucho más adaptables al medio natural programando sus componentes como si de ADN se tratase.
	(Estévez, Alberto, 2018)	Inmensa potencia tiene lo natural si se trabaja con ADN como si fuese software natural, y lo digital si se trabaja con software como si fuese ADN digital. Su ciber-eco fusión lleva a la arquitectura biodigital y al organicismo digital, consolidándose estos años como la vanguardia del siglo XXI.	Software ADN Fusión	
	(Estévez, 2008)	cuando en su origen ostentaban otro tipo de tendencias. Desde Frank Gehry a Zaha Hadid, evolucionando desde el así llamado deconstructivismo con el que empezaron,	Nuevas tendencias Deconstructiv ismo	

Concepto	Fuente	Definición (dada por el autor)	Términos asociados	Conclusión de la definición
Arquitectura biodigital	(Estévez, Alberto, 2018)	a su cada vez más declarado “organicismo digital”.	Organicismo digital	Esta fusión de profesiones permitirá la producción automatizada, revolucionando la arquitectura como la conocemos, ligada a conceptos como diseño paramétrico y construcciones que reduzcan su impacto en el entorno.
		Arquitectura genética digital, el trabajo con “ADN” artificial (software), elementos informáticos, herramientas cibernéticas para la producción automatizada de la arquitectura digitalmente diseñada. Y por otro lado desde el trabajo con “software” natural (ADN), elementos vivos, aplicando procesos genéticos reales a la arquitectura.	Artificial Procesos genéticos Futuro Revolución	
		Por un lado, se observaba la tremenda “fuerza interna edificadora” que tiene la naturaleza, una auténtica arquitectura biológica. Y por otra parte se veía el poder de los nuevos medios computacionales y de fabricación, en la arquitectura digital. Ambas vías, la biológica y la digital, merced a las nuevas técnicas que se fueron desarrollando, con la capacidad como automatizada -natural o artificial- de hacer emerger formas y estructuras, con características determinadas.		

Nota: en esta tabla se analizan los distintos conceptos que describen la arquitectura biodigital como una estrategia de innovación en el diseño.

Tabla 2. Arquitectura genética

Concepto	Fuente	Definición (dada por el autor)	Términos asociados	Conclusión de la definición
Arquitecturas Genéticas	(Estévez Alberto, 2018) Arquitecturas genéticas. Artículo	El nuevo proyectar ecológico-medio ambiental y el nuevo proyectar cibernético digital. Ciertamente, tras milenios de historia, hasta el momento el ser humano debía conformarse con actuar tan sólo en la superficie de las cosas. Hoy ya puede traspasar esa frontera y descender a un nivel de acción molecular, incidiendo incluso en el diseño genético, en las cadenas de programación que luego desarrollan por si solos elementos vivos naturales. Esto además lleva consigo una posible comparación directa con el mundo cibernético-digital: también puede pensarse en el diseño de las cadenas de programación que luego desarrollan por si solos elementos informáticos artificiales.	Biotecnología Naturaleza Biología Genética	La fusión de la genética con la arquitectura permite plantear alcances nunca planteados, con la finalidad de crear organismos vivos que se adapten al entorno y las condiciones cambiantes tanto en función como en entorno ligado a la programación digital.

Concepto	Fuente	Definición (dada por el autor)	Términos asociados	Conclusión de la definición
Arquitectura paramétrica aplicada a envolventes	(Morales, 2012)	El pensamiento paramétrico introduce el cambio de mentalidad entre la búsqueda de un fin formal estático y concreto, y el diseño concienzudo de los factores y las etapas que utilizamos para llegar a él. Es el empleo de algoritmos y medios computacionales avanzados, no para dibujar formas, sino para crear posibilidades formales. No es producir una solución, sino una familia de posibles soluciones.	Arquitectura Parametricismo Envolventes Complejidad Innovación	La arquitectura paramétrica puede brindar una solución directa a las limitantes actuales del medio tanto funcional como estético, tomando el desarrollo de metodologías mediante un proceso cambiante a lo largo del tiempo

Figura 3. Panel “no modelos, no models”. arquitectura genética



Tomado de *Consultorio Médico G*, Estévez, (2008).

Según el arquitecto Alberto Estévez precursor de la arquitectura biodigital en España, esta disciplina se puede clasificar en cuatro ramas:

Morfogenética, “basada en procesos endógenos, en procesos internos de formación, en procesos genéticos. Es pues el diseño directo del “ADN” que regirá el desarrollo de la futura criatura o raza” (Estévez, 2008, p. 3).

Morfodinámica, “basada en fuerzas exógenas, en procesos de generación de forma a través de la aplicación de tensiones, de “estrés”, de sistemas dinámicos, de “virus”. Aunque en principio aquí ya no hay genética, también, en las debidas circunstancias, son causas externas las que provocan mutaciones genéticas” (Estévez, 2008, p. 3).

Biomimética, “como imitación de características de interés, de funcionalidades y procesos biológicos” (Estévez, 2008, p. 3).

Biomorfica, “como imitación de formas biológicas, sin necesidad de conocer las razones de su génesis o de sus procesos, ni sus consecuencias” (Estévez, 2008, p. 3).

2.1.3 Adaptación

Tabla 3. *Relación de conceptos sobre adaptación*

Concepto	Fuente	Definición (dada por el autor)	Términos asociados	Conclusión de la definición
Adaptación	(Iturbe, 2010) Adaptaciones y adaptación biológica. Revista.	Las adaptaciones como lo entendían los naturalistas occidentales del Renacimiento, la Ilustración y hasta antes del siglo XIX, se refería a la presencia de ciertas características o atributos morfológicos que poseían los seres vivos, particularmente las especies animales, en relación con el hábitat en que vivían y sobre todo con el nicho ecológico que éstas ocupaban.	Características Morfología Especies Relación Habitad	La adaptación se define como la capacidad que posee una especie para subsistir en un entorno. Generalmente esto se ha aplicado a la arquitectura como estrategias de adaptación para que las edificaciones puedan reducir su impacto en el entorno.
Adaptación	(Medina, 2016). Patrones de arquitectura ancestral y adaptación ecológica tairona en ciudad perdida.	La inapropiada adaptación al territorio por parte de distintos asentamientos humanos es la explicación recurrente más para explicar las pérdidas debido a desastres naturales en Colombia. Esto se debe a que transformar el medio natural incorporando elementos que modifican la estabilidad del ecosistema ha introducido factores de riesgo.	Mimetización Territorio Determinantes climáticas	Cuando una edificación no se adapta a su entorno, este mismo repele su estancia dentro de él. Con ello se ven casos de estudio en épocas donde el clima puede dificultar o volver inhabitable un espacio

Concepto	Fuente	Definición (dada por el autor)	Términos asociados	Conclusión de la definición
				dentro de una edificación.

Nota: en esta tabla se desarrolla el concepto de adaptación haciendo una descripción detalla, planteando cuales pueden llegar a ser sus ventajas; y se toca un caso práctico cuando la arquitectura no se adapta al medio.

“La adaptación es el proceso evolutivo mediante el cual un organismo aumenta su capacidad para vivir en su habitat” (Dobzhansky et al., 1968, para. 2).

Se refiere en sí a la capacidad de un organismo individuo o sistema para ajustarse a las condiciones cambiantes del medio ambiente. La adaptación puede ser física, como los cambios en la forma del cuerpo, la estructura y función de los órganos, o comportamental, como los cambios en los patrones de actividad y los procesos cognitivos. En general, la adaptación permite a los organismos sobrevivir y prosperar en ambientes cambiantes, al proporcionarles una ventaja selectiva para enfrentar desafíos y aprovechar las oportunidades que se presentan en el entorno. En el contexto de las sociedades humanas, la adaptación se refiere a la capacidad de los individuos y las comunidades para responder y ajustarse a los cambios y desafíos en el entorno social, económico y político en el que viven.

Figura 4. *Termitero africano*

Tomado de Animales arquitectos / (Pallasmaa, 2021).

Envolvente adaptativa:

la envolvente del edificio ha sido considerada como una barrera térmica o de protección, sin embargo, este enfoque limita las soluciones más eficientes, donde la envolvente del edificio no se considera como una barrera sino como un medio. Dichas soluciones convencionales para fachadas y cubiertas no están diseñadas para una óptima adaptación a los problemas y necesidades contextuales, por tanto, a diferencia de los sistemas estáticos y convencionales para fachadas, un nuevo tipo de envolvente arquitectónica adaptativa es necesaria para mejorar el rendimiento energético en los edificios (López Marlén, 2018, p. 29).

La arquitectura y el diseño de un edificio no solo deben basarse en los aspectos funcionales, sino concebir la interacción del edificio con su entorno como algo primordial. En este sentido, aunque las características climáticas de cada zona son cambiantes, las fachadas tradicionales son

estáticas y requieren mucha energía para controlar el confort interno. En este sentido es necesario plantear envolventes bajo conceptos de adaptación y estrategias dinámicas que sean más eficientes ante un entorno inestable.

Tipos de adaptación en organismos vivos:

Los organismos vivos, a lo largo de la evolución han desarrollado diferentes estrategias de adaptación para hacer frente a los diversos aspectos ambientales. Dicha evolución y adaptación de los organismos vivos a su entorno se produce de tres maneras: morfológica, fisiológica y etológica (Azcón-Bieto y Talón, 2000, citado en López, 2018, p 47).

La adaptación es especialmente evidente en los organismos que son capaces de sobrevivir a condiciones ambientales severas, como es el caso de las plantas en cualquier hábitat extremo del planeta. Como se ha explicado en el punto anterior, las plantas, debido a su inmovilidad a diferencia de los animales, han desarrollado medios especiales de protección contra los cambios ambientales de luz, humedad, fuego, temperatura, congelación o viento. Estas adaptaciones se desarrollan a lo largo del tiempo y las generaciones como respuesta a un entorno en constante cambio (López Marlén, 2018, p. 47).

2.2 Marco teórico

A continuación, se exponen dos referentes teóricos documentales que guiaron la estructuración metodológica de la investigación y los fundamentos de análisis para el desarrollo de este proyecto investigativo.

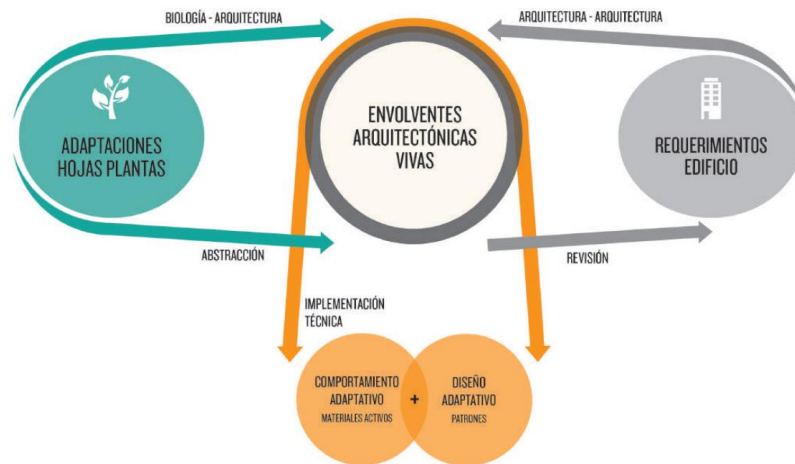
Referente teórico “De las plantas a la arquitectura” escrito por la arquitecta española Marlén López y publicada en 2018.

La tesis presenta la idea base de cómo generar principios de diseño arquitectónico para envolventes utilizando la biomímesis como método de análisis y aplicación, defendiendo los beneficios de la transdisciplinariedad, donde es posible ligar más de un campo de acción con la finalidad de ofrecer un mejor resultado.

El principal objetivo de la tesis es el desarrollo de una metodología de trabajo que permita entender los principios biológicos de adaptación según términos arquitectónicos y, basándose en ellos, poder generar diseños conceptuales de envolventes para edificios que se adaptan eficazmente a las condiciones climáticas del entorno (López Marlén, 2018, p. 7).

Se presenta esta metodología como una herramienta útil para ingenieros y arquitectos durante las primeras etapas de diseño en el proyecto constructivo, la cual ayuda a entender cómo se pueden utilizar los principios de adaptación encontrados en la Naturaleza para crear envolventes en edificios (López Marlén, 2018, p. 7).

A lo largo del análisis de este referente se requirió comprender, el proceso a profundidad debido a que, en ciertos puntos específicos, la información biológica abstraída llegaba a un mayor grado de dificultad. Se consultó a un biólogo que explicó ciertos procesos biológicos citados en el texto, como la fisiología en condiciones de estrés, comportamiento de cada especie en etapas críticas para su desarrollo.

Figura 5. Metodología proyectual

Tomada de Envolventes arquitectónicas vivas, López, (2018).

La metodología de desarrollo propuesta se desarrolla en dos fases, la primera se refiere a la naturaleza y cómo identificar esas estrategias y mecanismos de adaptación de las plantas en las diferentes zonas climáticas definidas. La segunda se refiere a la arquitectura y la forma de abstraer y transformar las ideas seleccionadas en posibles y potenciales soluciones innovadoras para los edificios (López Marlén, 2018, p. 9).

“Las dos fases se complementan, primero identificar estrategias y mecanismos de adaptación y la segunda fase, como abstraer y transformar esas ideas en soluciones innovadoras para las fachadas”(López Marlén, 2018, p. 9).

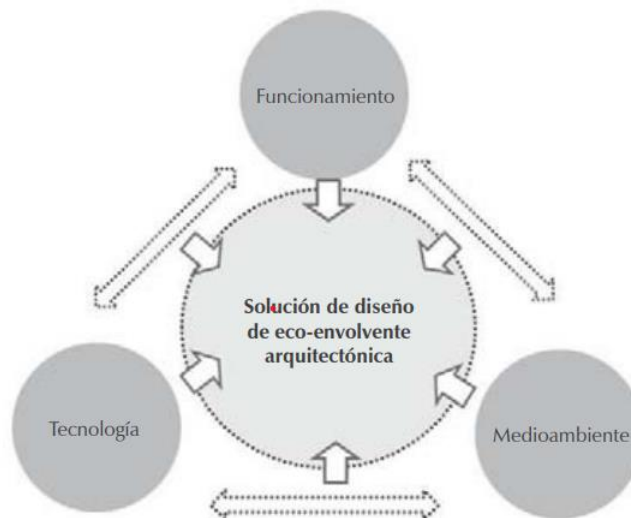
Referente teórico: *“Diseño de eco-envolventes, un modelo para la exploración, el diseño y la evaluación de envolventes arquitectónicas para climas tropicales”*. Documento elaborado por Daniel Robles y publicado en la revista de arquitectura de la Universidad Católica, en el año de 2011.

Presenta una propuesta de modelo paramétrico para la exploración y evaluación de configuraciones de envolventes arquitectónicas adecuadas a climas tropicales de baja altitud. Con tal fin, desarrolla una estructura relacional entre factores determinantes y parámetros variables, apoyada en análisis previos de desempeño estructural de confort térmico y energía embebida de soluciones genéricas (Velasco, 2011, p. 92).

Propone la implementación del diseño paramétrico al desarrollo de eco-envolventes, en base a que este enfoque abraza con mayor facilidad lo cambiante. Permite estructurar el proceso de diseño en base a variables cambiantes como las climáticas, buscando una mayor capacidad adaptativa del proyecto al entorno.

La metodología propuesta se desarrolla en tres etapas. La primera, dedicada a la formulación del problema, implicó un estudio del estado del arte del diseño de fachadas. El análisis de esta información resultó en la formulación de tres factores como determinantes principales de la propuesta: funcionamiento, tecnología y medioambiente (Velasco, 2011, p. 92).

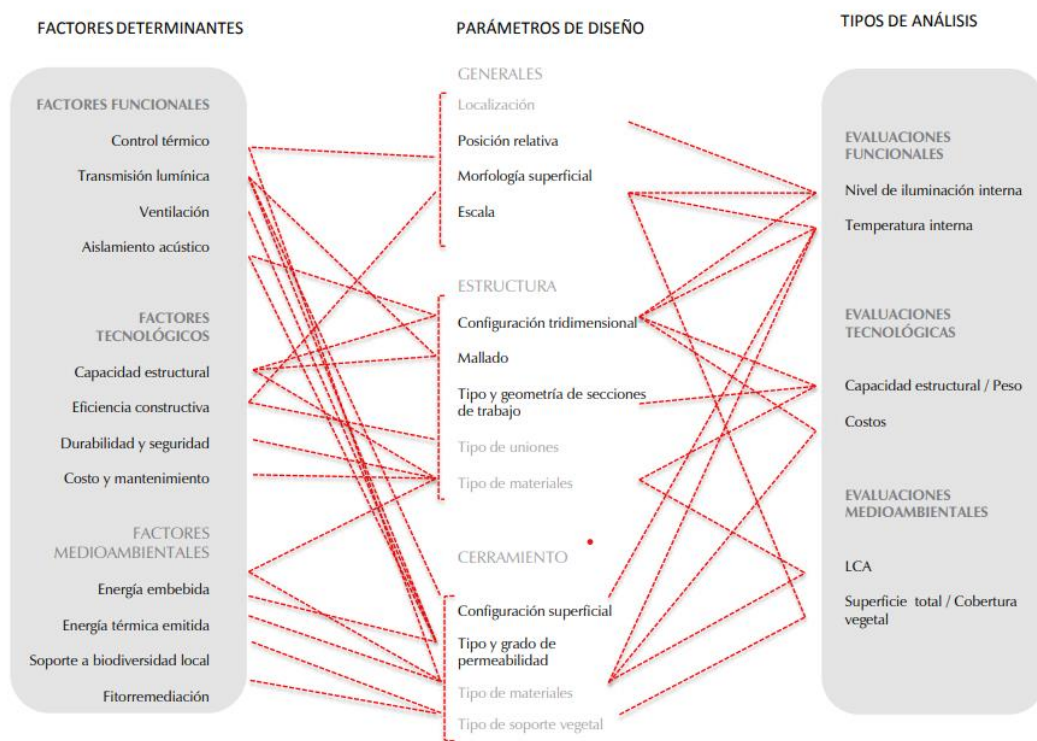
Figura 6. Factores determinantes para el diseño de Eco-envolventes



Tomada de Diseño de Eco-envolventes, (Velasco, 2011, p. 92).

En la segunda etapa se identificaron trece parámetros de configuración para conformar una primera estructura conceptual para el diseño de fachadas, implicó el desarrollo de un modelo paramétrico donde se escogieron siete parámetros de diseño con valores tridimensionales que se definieron en términos de sus posibilidades y rangos de variación, integrados dentro de un modelo digital geométrico, Las definiciones de estos parámetros fueron guiadas por supuestos datos como resultado de la investigación general (Velasco, 2011, p. 92).

Figura 7. *Parámetros de configuración de estructura conceptual*



Tomada de Diseño de Eco-envolventes, (Velasco, 2011, p. 92).

La tercera etapa implicó el desarrollo de una aplicación particular de este modelo, donde se utilizó un edificio específico, la sede de la Universidad Piloto en Girardot, para explorar

el comportamiento de diferentes sistemas de fachada generados desde el modelo paramétrico aquí expuesto, para ser evaluados en términos de su desempeño climático, estructural y medioambiental (Velasco, 2011, p. 92).

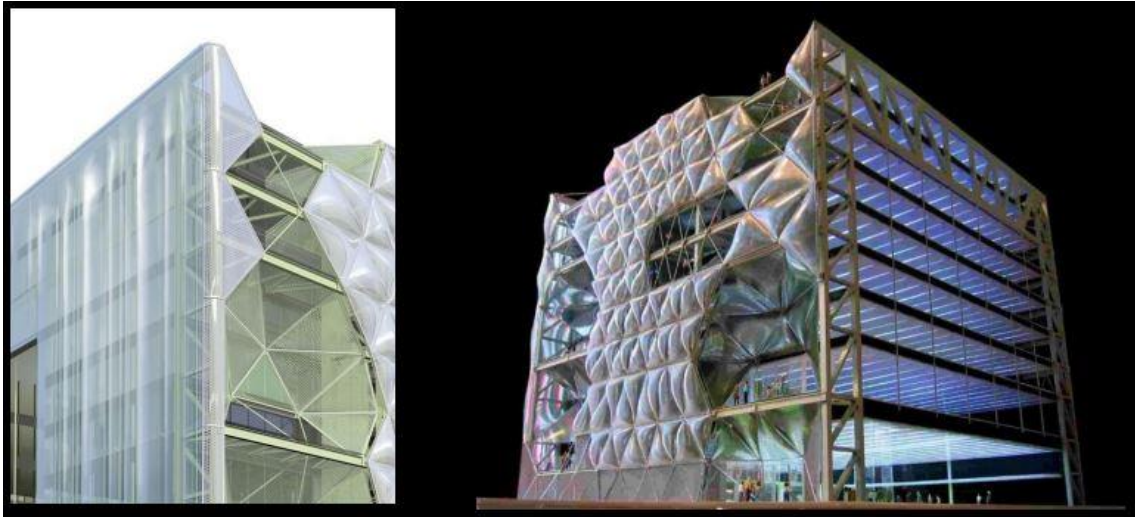
La metodología seguida se fundamenta en tres parámetros: parámetros generales, definen las condiciones generales de la envolvente como la localización y su morfología, los parámetros de estructura, que definen los aspectos constructivos, y los parámetros de cerramiento, aspectos relacionados con la manera en que el sistema envolvente interactúa con el medioambiente.

2.2.1 Referentes constructivos

A continuación, se describen algunos referentes arquitectónicos construidos que presentan envolventes innovadoras, planteadas bajo principios de diseño y funcionamiento que generan puntos de encuentro entre lo biológico, lo tecnológico y lo humano.

Envolventes interactivas:

La propuesta del Edificio de oficinas Media- ICT, obra diseñada por el equipo de Enric Ruiz Geli, en Barcelona, España del año 2010, desarrolló el concepto de una arquitectura performativa con eficiencia energética a través de una piel interactiva. El edificio interactúa con su entorno a través de la piel ETFE (etil-tetrafluoretileno), que sumado a una cubierta con sistemas fotovoltaicos y de reciclaje de agua lluvia reducen las emisiones de carbono en un 95%. A su vez, alcanza un 20% de ahorro energético con la inclusión de un filtro solar en su envolvente (Cloud 9, 2010, párr. 3).

Figura 8. *Edificio de oficinas Media-ICT*

Tomado de Archdaily / diseñado por Cloud 9, (2010).

El arquitecto Tobias Becker en su proyecto *Breathing Skins* desarrolla una tecnología inspirada en las pieles orgánicas que ajustan su permeabilidad para controlar el flujo de sustancias entre el interior y el exterior. Los músculos neumáticos regulan la cantidad de luz incidente, las vistas y el aire que pasa a través de la piel, que da la sensación de que respira imitando el comportamiento biológico adaptativo de los poros y pigmentos (Becker, 2018, párr. 1).

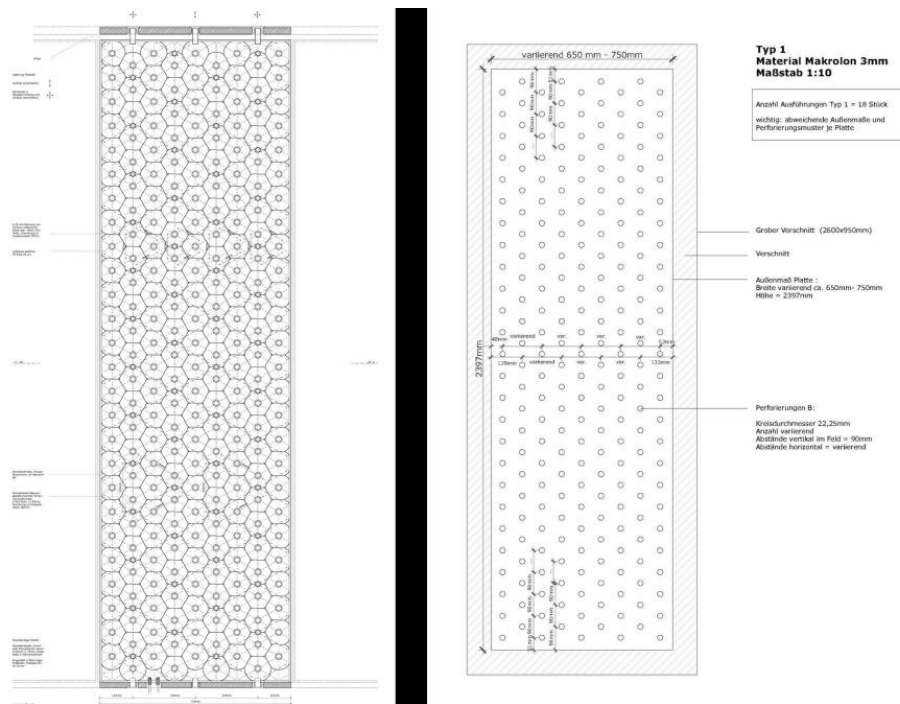
Figura 9. *Fachadas neumáticas*

Tomada de Breathing Skins / (Becker Tobias, 2018).

“Los sistemas abiertos como el organismo controlan el intercambio con su entorno para mantener el equilibrio interno. Las fachadas adaptables pueden reducir la necesidad energética de los edificios y crear un clima ambiental más saludable” (Becker, 2018, párr.2).

Cuando se menciona el carácter vivo en elementos estáticos, se habla de este tipo de fachadas que mediante sensores fotovoltaicos pueden reaccionar a las incidencias solares directas y brindar confort térmico para los usuarios que habiten su interior, creando una interfaz con capacidad auto reguladora.

Figura 10. *Fachada neumática planimetría*



Tomada de Breathing Skins / (Becker Tobias, 2018)

Envolventes cinéticas:

Las envolventes cinéticas se caracterizan principalmente por tener la característica del movimiento en su concepción. Esta capacidad permite su adaptación a diferentes condiciones externas al mismo tiempo que genera una estética dinámica al edificio.

Figura 11. *Fachadas dinámicas*

Tomada de Doblamos un mundo de acero, (2022).

En la imagen se observa la envolvente del parqueadero del aeropuerto de Brisbane, EE. UU. Conformada por pequeñas figuras colgantes que son movidas por el viento. En este caso se está aprovechando el flujo del viento para generar un dinamismo sobre la fachada sin consumir energía.

El proyecto de oficinas Torres Al Bahar ubicado en Abu Dhabi presenta también una envolvente cinética capaz de transformarse a lo largo del día, un aspecto de especial interés en un lugar con condiciones climáticas oscilantes.

Tabla 4. *Fachada cinética*

Concepto	Fuente	Definición (dada por el autor)	Términos asociados	Conclusión de la definición
Fachada cinética	(Pérez, 2016) Fachadas cinéticas: lógicas de diseño de envolventes sustentables de doble	Desde que la arquitectura moderna sentó nuevas bases respecto a las pieles arquitectónicas, han surgido intentos de mejorar la performance climática de los espacios interiores, ahora sujetos a cambios térmicos bruscos derivados de la	Innovar Piel Control energético	Las fachadas o pieles cinéticas surgen como una adaptación de la arquitectura al medio, respondiendo a un entorno cambiante a lo largo del día, la

Concepto	Fuente	Definición (dada por el autor)	Términos asociados	Conclusión de la definición
transparencia, incorporando sistemas mecánicos movimiento.	de	baja inercia de sus envolventes. Surgen así las pieles cinéticas, como adaptaciones constructivas para protegerse del medio, entendiendo el control de la energía externa como una respuesta sensata al problema del confort climático.	Climatización Reducción sostenibilidad	arquitectura debe igualar estos aspectos, generando envolventes que se adapten a estas condiciones climáticas.

Nota: En esta tabla se describe a profundidad el concepto de fachada cinética como términos fundamentales de la investigación.

Las fachadas cinéticas llegaron para impactar la manera con la cual se concibe la arquitectura moderna, siendo elementos transformables a lo largo del día, según el uso para el cual son implementadas con ello mismo se desarrolló esta fachada en el medio oriente, llamado Fachada receptiva de las torres Al Bahar / Aedas.

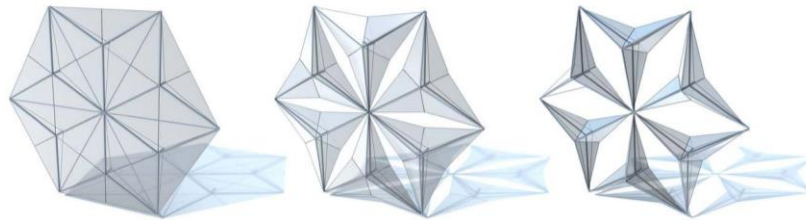
Figura 12. *Fachada receptiva de las torres Al Bahar*



Tomada de Archdaily / Al Bahar Aedas, (2012).

Los arquitectos diseñaron una fachada *receptiva* que toma aspectos culturales en su concepción formal, la llamada "mashrabiya", un dispositivo de sombreado de celosía islámico tradicional (Cilento / Archdaily, 2012, párr.1).

Figura 13. *Esquemas de diseño, torres Al Bahar*



Tomada de Archdaily / Al Bahar Aedas, (2012).

El sistema de sombreado Masharabiya de las torres de 145 metros de altura fue desarrollado por el equipo de diseño computacional Aedas a partir de la simulación de su funcionamiento en respuesta a la exposición al sol y aplicando principios paramétricos a su geometría.

Se estima que dicha pantalla reduce la ganancia solar en más del 50 por ciento y disminuye la necesidad del edificio de aire acondicionado que consume energía. (Cilento / Archdaily, 2012, párr.2).

Otro referente constructivo cinético es el Showroom Kiefer Technic, que realiza movimientos automáticos a través de persianas plegables verticalmente, para regular las condiciones de su espacio interior del medio que la rodea.

Figura 14. *Envolvente cinética, Showroom Kiefer*



Tomada de arch daily/ Showroom Kiefer, (2010).

“un edificio de oficinas y espacio de exhibición con una fachada dinámica que cambia a las condiciones exteriores, optimizando el clima interno, al tiempo que permite a los usuarios personalizar sus propios espacios con controles de usuario” (Vinnitskaya Irina / Archdaily, 2010, párr.1).

“La envolvente consiste en postes y travesaños de aluminio con puentes salientes para mantenimiento, con una fachada EIFS en yeso blanco. El parasol funciona con persianas electrónicas de paneles de aluminio preformado” (Vinnitskaya Irina / Archdaily, 2010, párr.2).

La obra One Ocean Thematic Pavilion para la EXPO 2012 en Yesou, Corea del Sur, es ampliamente conocida por sus características similares a las de un pez creadas por un sistema de fachada de vanguardia compuesta de polímeros reforzados con fibra de vidrio (GFRP) capaces de transformarse en una serie de patrones animados. La integración de las láminas móviles dentro de la piel del edificio se inspiró en un proyecto de investigación de

la Universidad ITKE de Stuttgart que investiga cómo se puede aplicar el mecanismo de movimiento biológico a escala arquitectónica (SOMA Lima / Archdaily, 2012, párr.2).

Figura 15. *One Ocean Thematic Pavilion*



Tomada de Archdaily / SOMA Lima, (2012).

La Envolverte Bloom es un proyecto cuya fachada actúa como un instrumento de seguimiento solar que indexa el tiempo y la temperatura. Tiene una forma que alude a la ropa interior de la era victoriana de una mujer, llamada 'Bloom'. En su concepción se unen la experimentación de materiales, la innovación estructural y la creación computacional de formas y patrones en una forma ambientalmente sensible (DO|SU / Archdaily, 2012, párr.1).

“La estructura está hecha principalmente de un termo bimetálico inteligente, una hoja de metal que se riza cuando se calienta, la superficie receptiva de la forma sombrea y ventila áreas específicas de la carcasa a medida que el sol calienta su superficie” (DO|SU / Archdaily, 2012, párr.2).

Figura 16. *Envolvente Bloom*

Tomada de DO-SU / Bloom, (2012).

Fachadas que incorporan organismos biológicos:

Algunas fachadas innovadoras están incorporando organismos biológicos aprovechando sus capacidades energéticas. En Hamburgo, Alemania se encuentra la primera fachada bioreactiva, en la llamada casa BIQ para la Exposición Internacional de la Construcción (IBA). La envolvente incorpora algas “bio-reactivas”, organismos que dan sombra al reaccionar a la energía lumínica del sol y al mismo tiempo son una fuente de energía renovable (Quintans, 2014, párr.1).

Figura 17. *Fachada algas bio-reactivas*

Tomada de tectónica / quitans, (2014).

El diseño de esta fachada está pensado para que las algas en la fachada bio-reactiva crezcan más rápido bajo la luz solar directa, proporcionando así más sombra interna en verano. De esta manera, los “bio-reactores” no solo producen biomasa que posteriormente puede ser cosechada, sino que también capturan la energía solar térmica, dos fuentes de energía capaces de ser utilizadas para alimentar el edificio.

Envolvente Neri Oxman:

Han desarrollado biocompuestos a base de agua programables para diseño y fabricación digital. Nombrado Agua hoja, el proyecto ha exhibido un pabellón y una serie de artefactos contruidos a partir de componentes moleculares que se encuentran en las ramas de los árboles, exoesqueletos de insectos y nuestros propios huesos. Utiliza los ecosistemas naturales como inspiración para un proceso de

producción de material que no produce residuos. “Derivado de una materia orgánica, impreso por un robot y modelado por el agua, este trabajo apunta hacia un futuro donde el adulto y el hecho se unen” (Neri Oxman, 2019, para. 1).

Figura 18. *Biocompuestos Sintonizables*



Tomado de SEED, Oxman, (2019).

A lo largo de este recorrido se han observado diversas envolventes que a nivel mundial han generado una innovación arquitectónica, generando un antes y un después. Desde envolventes compuestas por materiales que reaccionan al entorno por su composición química, hasta envolventes que disponen de sensores y sistemas complejos para generar movimientos, que le permiten poseer un mayor rango de adaptación. Todas estas iniciativas demuestran una búsqueda contemporánea centrada en la envolvente, de carácter interdisciplinar, con alta diversidad de posibilidades y con el objetivo de reducir del impacto ambiental y el consumo energético.

2.3 Marco histórico

Históricamente se ha considerado que la envolvente de un edificio es principalmente una barrera para proteger el interior de las condiciones climáticas externas, y, por lo tanto, se ha dado mayor importancia a la elección de materiales aislantes y resistentes. Sin embargo, hoy en día hay una tendencia a considerar la envolvente como un medio dinámico y activo, que puede contribuir a la eficiencia energética y al confort de los usuarios.

Esto implica una visión más amplia y proactiva de la envolvente, que puede incluir estrategias de ventilación natural, aprovechamiento de energía solar y otros elementos que permitan la regulación de las condiciones ambientales internas de manera más sostenible. Esta visión más holística de la envolvente de un edificio puede dar lugar a soluciones más innovadoras y eficaces para reducir el impacto ambiental y mejorar la calidad de vida de los usuarios.

2.3.1 Referentes históricos

A continuación, se hace una revisión literaria con relación a la evolución de la envolvente a lo largo de la historia, desde los primeros referentes que la contemplaron como un refugio hasta la actualidad que se concibe como un diseño de fachada más activa y menos estática.

En un principio los primeros hombres del planeta utilizaron las cuevas como refugio y protección contra las inclemencias del clima, depredadores y otros peligros. Algunas de las cuevas más antiguas conocidas por los arqueólogos, como la cueva de Altamira en España, tienen pinturas y dibujos rupestres que datan de hace más de 30.000 años, lo que indica que los humanos prehistóricos vivieron en estas cuevas durante largos periodos de tiempo (Gombrich, 1995, p. 40).

En resumen, las cuevas eran un recurso valioso para los primeros hombres del planeta, ya que les proporcionaban refugio, materiales para hacer herramientas y armas, almacenamiento de alimentos y otros suministros, y en lugar para practicar sus creencias religiosas y rituales.

En la edad media, los refugios eran muy diferentes según el estatus social y económico de las personas que los habitan.

Las casas desempeñaban diversas funciones: eran un refugio ante las inclemencias naturales, eran la residencia familiar y, en algunos casos, el centro de las actividades productivas. Las viviendas se agrupan en extensas manzanas de casas estrechas alineadas, entre medianeras y con un huerto hacia atrás. Así, estas grandes manzanas cuentan con enormes huecos interiores dedicados a cultivos hortícolas (Gómez, 2022, párr.23).

“Durante la Edad Media se produce un importante desarrollo en materia urbanística. Se intenta la ordenación urbana que, en el caso de la forma urbana, se concreta en una estructura amurallada y con una vivienda típica, la casa gótica” (Gómez, 2022, párr.2).

Las personas más ricas como la nobleza y los comerciantes prósperos vivían en casas más grandes y lujosas. Estas casas a menudo tenían varios pisos, grandes salones, cocinas y dormitorios separados para los miembros de la familia y los sirvientes.

En resumen, en la Edad Media los refugios eran muy simples y básicos para las personas de clase baja, pero a medida que aumentaban el estatus social y económico, las viviendas se volvían más grandes y lujosas.

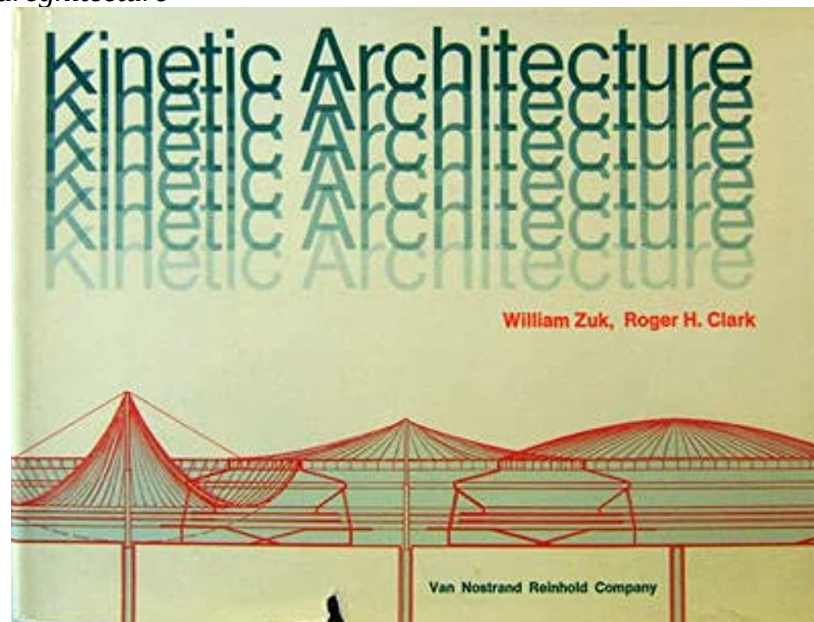
A lo largo del siglo XX luego del inicio de la revolución industrial la tecnología dio un salto en el tiempo, permitiendo elaborar construcciones de mayor envergadura con la implementación del acero en sus estructuras. Esto trajo consigo la influencia de grandes arquitectos

de la época que incursionaron en el campo de las envolventes para crear los principios de fachadas un poco más conscientes de la potencialidad de su función y uso.

“En 1930 por le Corbusier de una casa universal para todos los climas, “solo una casa para todos los países, la casa de la respiración exacta” que mediante muros neutrales permitiría mantener el interior de un edificio a una temperatura constante de 18 grados centígrados” (Le Corbusier, 1991, citado en López, 2018, p. 31).

“Fachadas cinéticas, en 1970, William Zuk describió la arquitectura cinética como un campo de arquitectura en el que elementos del edificio o el edificio entero tiene la capacidad de adaptarse al cambio a través de la cinética de un modo reversible, deformable y móvil” (Zuk & Clark, 1970, citado en López, 2018, p. 31).

Figura 19. *kinetic arcghitecture*



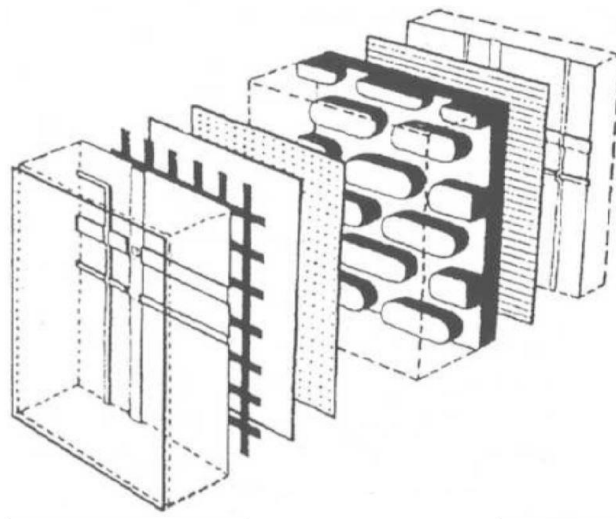
Tomado de Kinetic Architecture, (2013).

William Zuk publicó el libro Kinetic architecture que ayudó a inspirar a una nueva generación de arquitectos a diseñar una gama cada vez más amplia de edificios cinéticos

de trabajo reales. Asistidos por nuevos conceptos como Fuller's Tensegrity y por desarrollos en robótica, los edificios cinéticos se han vuelto cada vez más comunes en todo el mundo desde la década de 1980 (Zuk & Clark, 1970, citado en López, 2018, p. 31).

En 1981, Mike Davies es su artículo o titulado “Un muro para todas las estaciones” desarrolló el concepto de un “muro polivalente”. La idea se basa en la creación de una fachada, que además de proporcionar las clásicas funciones de cierre y aislamiento, es capaz de regular los requerimientos de control ambiental, ventilación o iluminación en cada momento, de forma automática, mediante un sistema de finas capas con capacidad de absorber, reflejar, filtrar o transferir la energía del medio (Davies, 1981, citado en López, 2018, p. 31).

Figura 20. *Muro polivalente*



Tomado de Mike Davies, (1981).

En 1987 se desarrolló uno de los primeros edificios en emplear una fachada activa y dinámica basada en la respuesta automática a la luz solar mediante el uso innovador de

dispositivos mecánicos fotosensibles, como estrategia para lograr una mayor eficiencia energética (loonen, 2010, citado en López, 2018, p. 31).

En el transcurso de los años se contemplaron varias problemáticas debido a que los paneles empleados en la fachada del instituto árabe son ruidosos tendiendo a romperse fácilmente otra problemática es que al ser automatizados no permiten que los residentes tengan el control sobre su propio espacio (loonen, 2010, citado en López, 2018, p. 31).

Figura 21. *Instituto árabe de París*



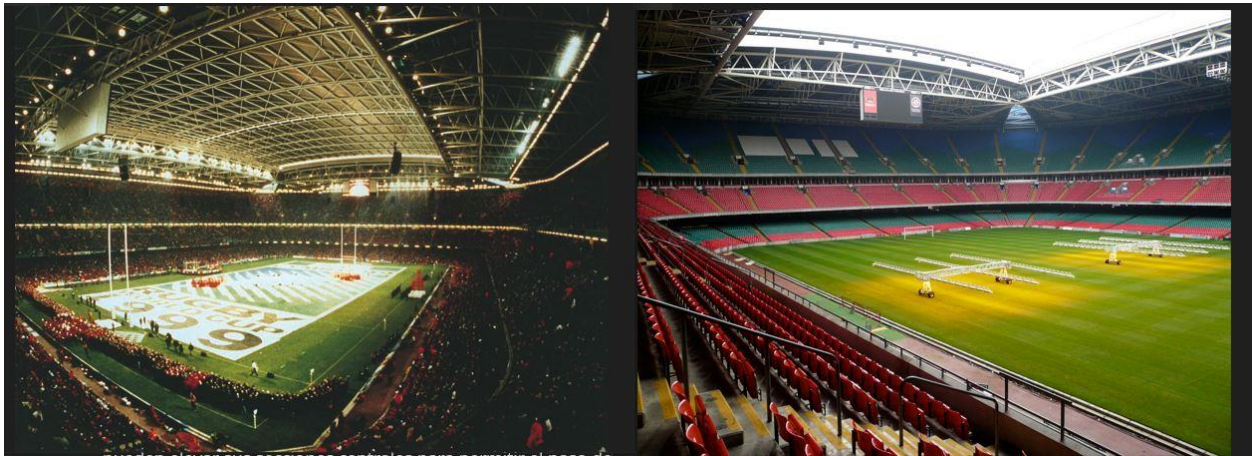
Tomado por los arquitectos Ateliers Jean Nouvel, (2010).

Las fachadas cinéticas, también conocidas como envolventes cinéticas o envolventes activas, han tenido un impacto significativo en la arquitectura y el diseño de edificios a principios del siglo XXI, grandes avances tecnológicos a nivel de desarrollo mecánico.

Estas envolventes están diseñadas para ser dinámicas y cambian en respuesta a las condiciones ambientales como la luz, temperatura y la humedad. El movimiento de las partes móviles de la envolvente puede ser controlado por sensores y sistemas de automatización.

En conclusión: Las envolventes cinéticas han tenido un impacto positivo en la arquitectura y el diseño de edificios al mejorar la eficiencia energética, la estética, la innovación en el diseño y la sostenibilidad. Logrando crear edificaciones funcionales como puentes o canales que pueden elevar sus secciones centrales para permitir el paso de barcos, o estadios con techos retráctiles como el Veltins-Arena, el Millennium Stadium en Cardiff o el estadio de Wembley.

Figura 22. *Millenium Stadium de Cardiff*



Tomada de Populous, estudio de Cardiff, (1999).

La biomimética es un enfoque de diseño y resolución de problemas que se basa en la observación y el estudio de la naturaleza para encontrar soluciones innovadoras. A lo largo de la historia, han existido varios precursores y pioneros que sentaron las bases de la biomimética.

Uno de los primeros precursores fue Leonardo da Vinci “1452-1519”, considerado uno de los primeros en implementar la biomimética, dibujando y estudiando numerosos diseños inspirados en la naturaleza, como las alas de los pájaros y las estructuras óseas de los animales.

Janine Benyus “1958”, desatacada por ser bióloga y escritora estadounidense que impactó la comunidad científica con el concepto de biomimética a través de su libro “Biomimicry innovation inspired by Nature”, Biomimética, innovación inspirada por la naturaleza,

desarrollando la idea de que la naturaleza pueda servir como fuente de inspiración para la innovación tecnológica.

Neri Oxman en la actualidad se ha destacado como una reconocida diseñadora, centrando la creación de sus investigaciones en la biomímesis a partir de estructuras y materiales inspirados en la naturaleza, implementando tecnologías avanzadas de fabricación digital y diseño generativo. Su trabajo se basa en la idea de que la naturaleza es una fuente inagotable de inspiración y conocimiento, y busca aprender de los patrones, formas y procesos que existen en los ecosistemas naturales.

Oxman ha desarrollado diversos proyectos que combinan la biología, la arquitectura y la fabricación avanzada. Estos factores incluyen estructuras impresas en 3D inspiradas en las formas de los corales, materiales que imitan las propiedades mecánicas de los tejidos biológicos y sistemas de enfriamiento inspirados en la transpiración de las plantas. Neri Oxman en la biomímesis radica en su capacidad para combinar la belleza estética con la funcionalidad inspirada en la naturaleza. Sus innovadores proyectos y su enfoque interdisciplinario han abierto nuevas posibilidades en el diseño sostenible y ha generado un mayor interés en la aplicación de la biomímesis en diversas industrias.

En la actualidad la evolución de estas tendencias de diseño, han convertido en el transcurso de las décadas la colaboración de profesiones contrarias en pro del diseño, creando así la capacidad de desarrollar nuevos materiales y estructuras con potencial de generar espacios más interactivos y adaptativos al entorno, con la finalidad de regular el consumo energético y potenciar la experiencia fenomenológica de los usuarios que las experimenten.

2.4 Marco geográfico

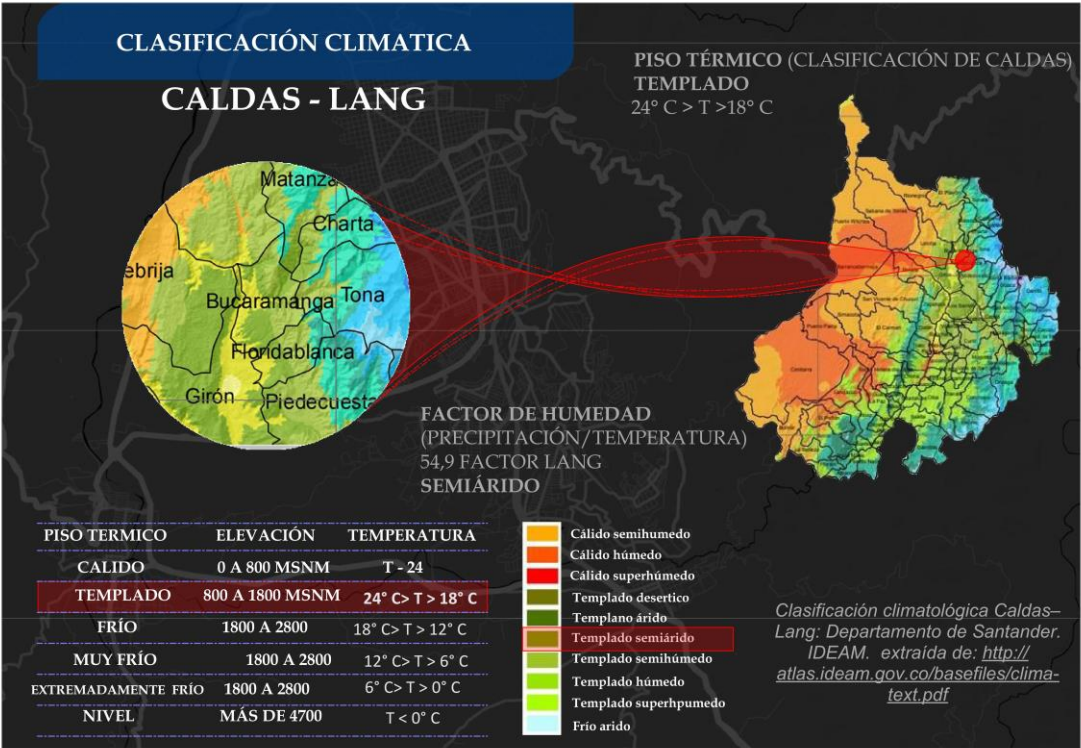
A continuación, se define el lugar específico para el desarrollo del caso de estudio, en este caso la ciudad de Bucaramanga, lugar de residencia del investigador.

Bucaramanga es una ciudad de Colombia ubicada en la región andina, en el departamento de Santander. Conocida como la “ciudad de los parques” fue fundada en el año 1622 por el encomendero Andrés Páez de Sotomayor. Actualmente cuenta con una población de 625114 habitantes según el último registro del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE).

La ciudad posee un clima subtropical, con una temperatura media anual de alrededor de 24 grados centígrados. Sin embargo, la temperatura puede variar según la altitud, que va desde los 959 msnm en el centro de la ciudad hasta los 1.400 msnm en las zonas más altas (IDEAM, 2014). Para el caso de estudio se determina una altitud de 959 msnm correspondiente al centro urbano.

A continuación, se presenta una ficha técnica de la delimitación geográfica y la zona de estudio. Caracterizada por un clima tropical templado semiárido, “esto según la clasificación climática caldas Lang” (IDEAM, 2014).

Figura 23. Análisis climático Bucaramanga

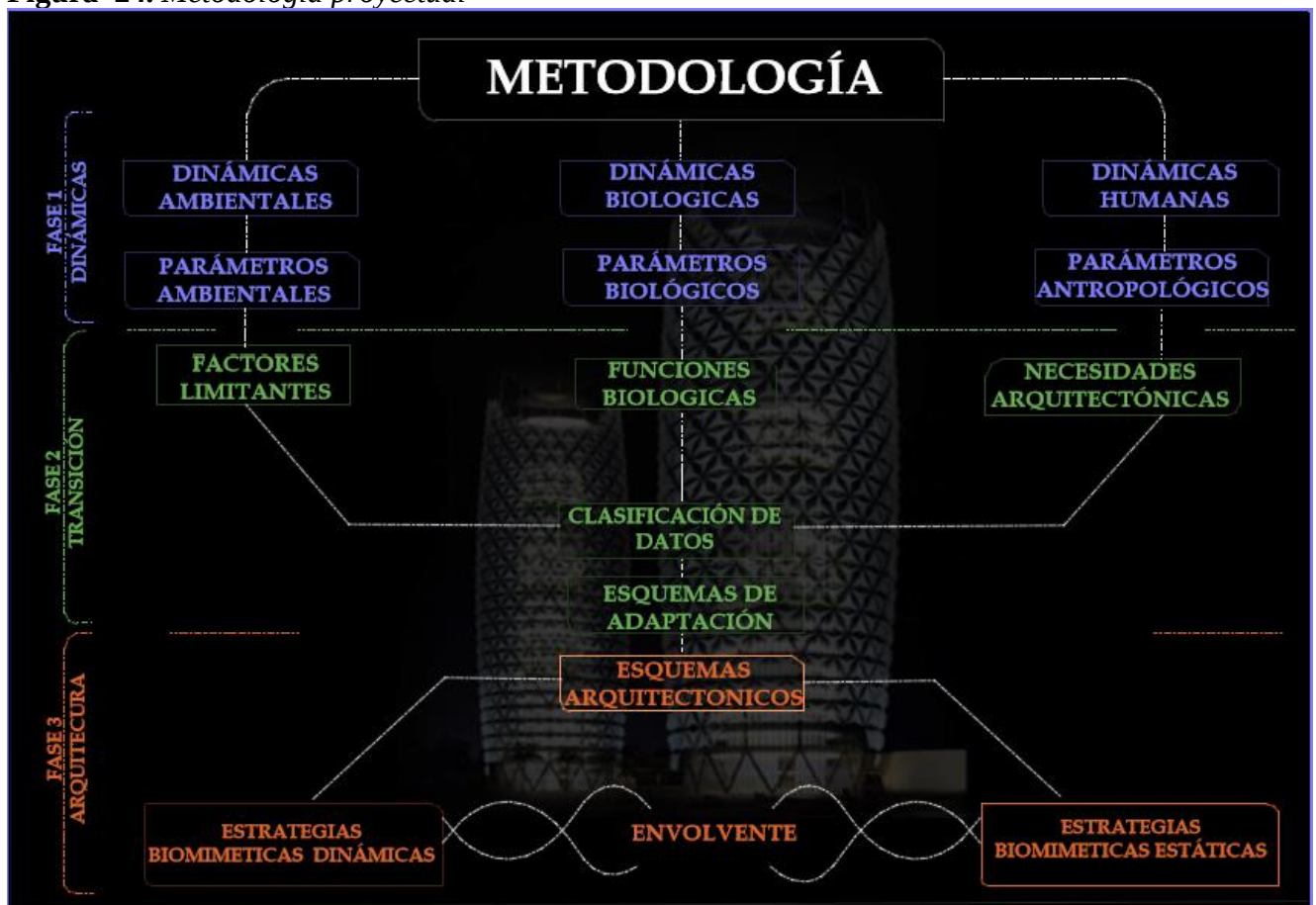


Se determinó mediante esta clasificación el bioma que posee la ciudad de Bucaramanga y el piso térmico en el que se encuentra, denominado como templado entre 950msnm y 1400msn, se caracteriza por ser un clima casi húmedo con un factor de humedad de 54,9 cercano a los 60 para ser considerado húmedo. Se concluye que la ciudad posee un clima tropical cambiante a lo largo del año entre épocas secas y con gran precipitación.

3. Metodología

El esquema de la Figura 30 representa de manera sencilla la estructura y el proceso de análisis del proyecto investigativo. La intención es generar un dialogo interdisciplinario entre el contexto, la biología y la arquitectura que detecte puntos de encuentro que puedan ser trasladados al diseño arquitectónico. La primera fase “Dinámicas” tiene como objetivo la recogida de información desde las diferentes disciplinas, en la segunda fase “Transición” se cruza la información y se estructura, para finalizar con la tercera fase “Arquitectura” dónde se generan, en coherencia con las dos fases anteriores, estrategias arquitectónicas para el diseño de una envolvente arquitectónica.

Figura 24. Metodología proyectual



3.1 Fases de desarrollo de la metodología

A continuación, se describen las fases planteadas en la metodología.

Tabla 5. Estructura metodológica

FASES	CONCEPTO	DESARROLLO
Fase 1	Dinámicas	• Marco teórico: referentes, conceptos. Otras investigaciones previas. (Palabras clave) • Caracterización climática • Entrevista biólogo • Catálogo de especies • Clasificación de especies
Fase 2	Transición	• Factores limitantes • Funciones y reacciones biológicas a partir de las limitantes. • Clasificación de datos según una matriz de doble entrada • Generación de estrategias biológicas
Fase 3	Arquitectura	• Generación de estrategias Arquitectónicas • Valoración de las estrategias

Nota: En esta tabla se desarrolla la estructura metodológica explicada por las fases de desarrollo y el concepto de investigación que contempla cada fase.

Fase 1 Dinámicas:

El objetivo de esta primera fase es determinar parámetros ambientales, biológicos y antropológicos que orienten la investigación. Se plantea el análisis del contexto en el que se realiza el proyecto, la caracterización climática, la identificación de las especies vegetales que lo habitan y la determinación de los factores humanos que la envolvente debe considerar en su planteamiento para generar soluciones a las necesidades humanas: protección, confort climático y conexión con el contexto inmediato, entre otros.

Fase 2 Transición:

El objetivo de esta segunda fase es básicamente cruzar la información y detectar principios y estrategias adaptativas. A partir de los parámetros ambientales, se identifican factores limitantes, es decir condiciones climáticas propias del lugar.

En esa respuesta a los desafíos climáticos, a través de una abstracción, comparación y síntesis, se determinan una serie de funciones o reacciones, como, por ejemplo: conservar agua, captar iluminación, o proteger y regular la temperatura. El cruce de información permite identificar estrategias o principios de adaptación comunes en las especies vegetales nativas.

Finalizando esta fase, se desarrolla una clasificación de los datos obtenidos para llevar estas estrategias a una aplicación arquitectónica.

Fase 3 Arquitectura:

En la tercera fase se generan las estrategias arquitectónicas de diseño (centradas en función y forma) y se hace una valoración final que evalúe y optimice los planteamientos.

4. Desarrollo del caso de estudio

El proyecto propone el objetivo de generar estrategias generales para el diseño de una envolvente en la ciudad de Bucaramanga a partir de los principios de diseño biomimético. A continuación, se desarrolla el caso de estudio en base a la metodología planteada.

4.1 Fase 1 Dinámicas

4.1.1 Dinámicas Humanas

Se desarrollan a partir del análisis de los parámetros antropológicos en la arquitectura, definiéndolos como aquellos que tienen en cuenta las necesidades físico-espaciales que los seres

humanos requieren para habitar un espacio determinado, logrando constituir mediante el diseño estancias que sean autosuficientes, funcionales, estéticas y confortables.

Este proceso analiza las problemáticas de habitabilidad existentes que poseen los espacios, enfatizando en los factores de consumo energético que necesitan las edificaciones para mantener las condiciones de confort, la conexión de los espacios con su entorno, la estructura mimetizándose con la función espacial y la implementación de una materialidad que no sea nociva hacia las condiciones humanas.

Analizando estas problemáticas se pueden generar casos de estudio que permitan desarrollar diseños mucho más conectados a las necesidades antropológicas, con la finalidad de proponer acciones directas que puedan mejorar la calidad de vida de los usuarios que habiten y experimenten un espacio.

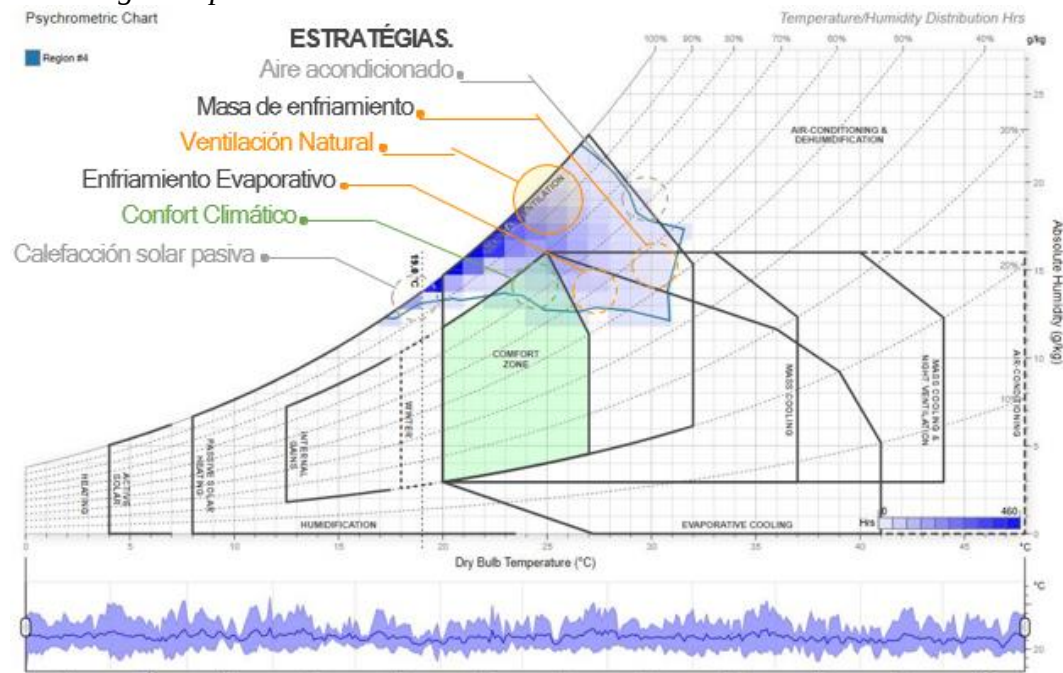
4.1.1.1 *Confort climático*

El confort climático se define como la capacidad de un edificio para proporcionar un ambiente interior agradable para sus ocupantes, en términos de temperatura, humedad, iluminación, ventilación y calidad del aire.

Las envolventes arquitectónicas que carecen de confort climático son todas aquellas que no logran mantener constantemente una temperatura optima en un tiempo definido, debido a factores como una mala orientación del edificio, una inadecuada selección de materiales de construcción, una falta de estrategias bioclimáticas que le permitan a la edificación respirar y actuar según a las condiciones climáticas que el entorno experimente a lo largo del año.

Teniendo en cuenta estas problemáticas, se ha desarrollado el análisis del diagrama de Givoni para catalogar el rango de confort climático que debe tener un espacio basado en las condiciones climáticas de la ciudad de Bucaramanga (J Marsh, 2023).

Figura 25. Diagrama psicrométrico de Givoni



Tomado de Andrew March / PVGIS (2023).

Este diagrama determina las estrategias de diseño pasivo que se pueden emplear para optimizar el confort térmico de los edificios en espacios públicos. Según el diagrama la zona de confort térmico esta entre los 20 y los 25 grados centígrados, se plantean estrategias en orden según su funcionalidad, en primera medida la ventilación natural, en segunda medida, la masa de enfriamiento evaporativo, y como medidas extremas poco usuales, la calefacción solar y el aire acondicionado.

4.1.1.2 *Sistemas mecánicos*

El origen de los sistemas de aire acondicionado se remonta a finales del siglo XIX cuando un ambicioso empresario Willis Carrier invento una máquina para resolver problemas de humedad y temperatura que existían en las empresas de impresión, a partir de ahí se fueron extendiendo por el mundo hasta llegar a las viviendas (Garrido L, 2019, p. 68).

Los factores negativos de los sistemas de aire acondicionado por conductos son, la excesiva velocidad del aire no es confortable, para una persona en reposo la velocidad del aire es agradable si está comprendida entre 0.15 y 0.24 m/s, en cambio la velocidad del aire en los conductos está comprendida alrededor de 6 m/s. los sistemas de climatización por conductos generan enfermedades, el índice de infecciones que contraen los enfermos por simplemente ingresar a un centro de salud es muy alto, en España en 2012, casi 8 de cada 100 personas que ingresaban en un centro de salud contrajeron una infección que no tenían (Garrido L, 2019, p. 71).

Los sistemas mecánicos se emplean desde hace muy poco destacándose como una de las soluciones mayormente implementadas en el mundo para satisfacer la condición de confort climático al interior de los espacios que lo necesitan, como tendencia se ha desarrollado mediante un uso masivo en todas las edificaciones sin importar su uso. En base a este análisis es importante conseguir como arquitectos la mayor eficiencia energética, espacial y climática en los espacios diseñados, para generar la menor intervención de mecanismos mecánicos y maximizar la calidad del diseño.

Figura 26. *Sistemas de aire acondicionado*

Tomado de The New York Times Pierre, (2018).

A medida que continúe el aumento en el uso del aire acondicionado en el mundo, la electricidad utilizada para hacerlo funcionar sobrecargará las redes eléctricas y aumentará las emisiones que calientan el planeta. Según un informe que la Agencia Internacional de la Energía emitió el martes, la cantidad de aires acondicionados en el mundo se disparará de 1600 millones de unidades en la actualidad a 5600 millones para mediados de siglo. Si no lo atendemos, para 2050 los sistemas de aire acondicionado usarán la misma cantidad de electricidad que necesita China actualmente para todas sus actividades (Pierre K, 2018, párr. 1).

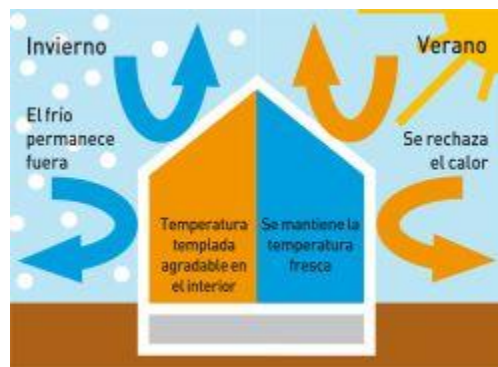
4.1.1.3 Inercia Térmica del edificio

Se define como la capacidad de los materiales para actuar absorbiendo el calor durante el día y liberándolo en la noche, la inercia térmica se utiliza para crear envolventes mucho más

eficientes en factores energéticos, al mantener una temperatura constante en su interior, sin la necesidad de utilizar sistemas de climatización artificial.

La inercia térmica de materiales utilizados en la construcción permite mantener la temperatura estable a lo largo del día, en los espacios interiores habitables. En verano, un muro másico, que presenta una gran inercia térmica, absorbe calor durante el día del ambiente interior, debido a la diferencia de temperatura entre ambos, lo va almacenando de manera progresiva, y se disipa durante la noche, con una ventilación adecuada. A la mañana siguiente, dicho muro ha reducido su temperatura, para empezar de nuevo el ciclo

Figura 27. *Inercia Térmica*



Tomado de certificados energéticos, Ibáñez (2016).

La estabilidad térmica en las edificaciones se basa en el diseño bioclimático caracterizado por la capacidad de autorregularse térmicamente todos los días del año, ofreciendo un entorno térmico natural estable con muy pocas variaciones, todo ello sin un mayor gasto energético.

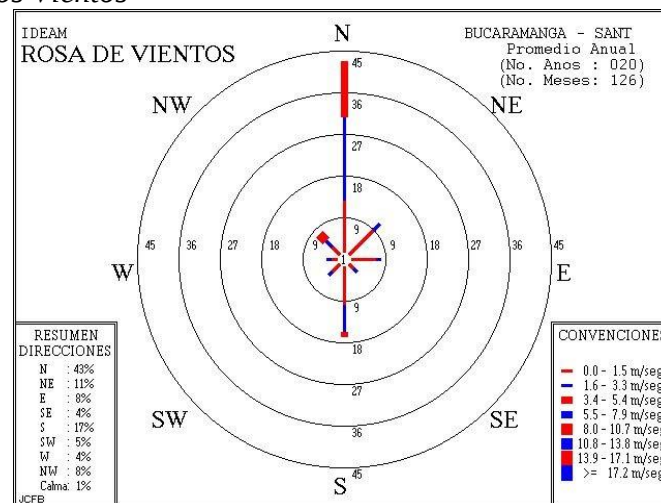
4.1.1.4 Ventilación natural

Lo ideal es ventilar de forma natural los edificios, eliminando o reduciendo al máximo los sistemas de ventilación mecánicos. La ventilación natural se puede implementar por medio de la propia estructura arquitectónica del edificio, patios, galerías y a través de las envolventes arquitectónicas (Garrido L, 2019, p. 83).

Las edificaciones por sí mismas pueden refrescarse, evitando calentarse, disponiendo de protecciones solares para la radiación solar directa e indirecta. Refrescándose mediante un sistema de enfriamiento arquitectónico de aire por medio de galerías subterráneas. Evacuando el aire caliente al exterior de la vivienda, mediante ventilación cruzada, efectos de ventilación, alturas de entre piso altas (Garrido L, 2019, p. 129).

A continuación, se realiza un análisis de la rosa de los vientos en Bucaramanga para conocer el comportamiento del viento, de donde vienen los vientos predominantes y a que velocidad.

Figura 28. Rosa de los Vientos



Tomado del IDEAM.

En la gráfica se observa que los vientos provienen en su mayoría del norte con un 43% a una velocidad de 10.7 m/s. Sin embargo, hay un porcentaje importante proveniente del sur con un 17% y del Noreste con 11%, noroeste 8%, este 8%, suroeste 5%, sureste 4%, oeste 4%. En la tabla izquierda se listan los porcentajes de vientos provenientes de los diferentes puntos cardinales a lo largo del año, mientras que en la tabla derecha se listan las velocidades de los vientos y sus intensidades.

4.1.1.5 Materialidad

Los materiales implementados en las construcciones de un edificio tienen un impacto directo para el medio ambiente como para los usuarios que habitan los espacios, es importante que como arquitectos sepan la importancia de escoger buenos materiales, que no sean perjudiciales para la salud humana y que sean amigables con el entorno. Algunas de las razones por las cuales la materialidad es importante en la arquitectura son, impacto ambiental, eficiencia energética, salud y bienestar.

La transpirabilidad, es la capacidad de un material para que pase el aire a través, pero no el agua, de este modo a través de una capa de pintura transpirable, se produce un intercambio de aire entre el interior y el exterior, de forma continua y natural impidiendo que pase el agua lluvia. Este indicador es importantísimo, ya que la ventilación natural a través de envolventes arquitectónicas porosas y transpirables es el único mecanismo que permite el intercambio de calor, con la menor cantidad de pérdidas energéticas, garantizando el nivel de ventilación necesario para la salud de sus ocupantes. Por tanto, las envolventes arquitectónicas solo se les puede aplicar pintura transpirable, cuanto mas tenga este factor mucho mejor (Garrido L, 2019, p. 66).

Otros factores a tener en cuenta en la implementación de materialidad para el diseño de fachadas es el trato de componentes naturales, entre más se implementen en la construcción de la envolvente según su durabilidad y costo, es de fundamental uso.

La durabilidad es otro factor importante ya que cuanto mayor sea la vida útil de una pintura, menos pintura se aplicará de nuevo en un determinado edificio y, por tanto, con independencia de otras ventajas ecológicas. Facilidad de mantenimiento, limpieza y durabilidad.

A continuación, se analizará el nivel ecológico de los materiales habituales de construcción, evaluando cada material con todos los indicadores ecológicos y haciendo una media para determinar su calidad.

0: nivel cero

1: nivel muy bajo

2: nivel bajo

3: nivel medio

4: nivel alto

5: nivel muy alto.

Figura 29. Evaluación Ecológica de materiales

	NOTA REAL		NOTA REAL
1 H.A. PREFABRICADO	7,48	39 BALDOSA HIDRAÚLICA	5,74
2 PIEDRA NO LABORADA	7,39	40 PANELES CONTRACHAPADO DE MADERA	5,67
3 VIDRIO	7,37	41 PANELES - XPS LIBRE DE CO2	5,61
4 MADERA PESADA	7,32	42 YESO	5,58
5 MADERA TERMOTRATADA	7,15	43 BLOQUES CERÁMICOS	5,48
6 H.A. PREFABRICADO CON FIBRAS	7,14	44 ADOBE	5,45
7 CAÑAMO - ROLLO	6,95	45 PANELES YESO - MADERA	5,41
8 LANA DE OVEJA - ROLLO	6,91	46 PANELES FIBRA MADERA CON RESINAS	5,39
9 H.A. PREFABRICADO ALIGERADO	6,88	47 LADRILLO CERÁMICO COCIDO BAJA T°	5,32
10 H.A. PREFABRICADO ARCILLA EXPANDIDA	6,88	48 H.A. ALIGERADO (ARCILLA EXPANDIDA) IN SITU	5,31
11 VIDRIO TEMPLADO	6,83	49 H.A. ALIGERADO (AIRE) IN SITU	5,31
12 PANELES CEMENTO - MADERA	6,80	50 ZINC	5,11
13 FIBRAS TEXTILES	6,79	51 LADRILLO CERÁMICO HUECO	5,04
14 MADERA LIGERA	6,78	52 PINTURA A LA CAL	4,98
15 ACERO	6,74	53 TRENCADIS	4,97
16 GRAVA	6,67	54 LADRILLO CERÁMICO MACIZO	4,95
17 CELULOSA - GRANEL	6,65	55 LÁMINA ASFÁLTICA	4,92
18 ACERO INOXIDABLE A	6,59	56 LASUR	4,91
19 ACERO INOXIDABLE B	6,59	57 MOSAICO CERÁMICO	4,86
20 LANA DE ROCA	6,35	58 COBRE	4,66
21 HORMIGÓN EN MASA	6,31	59 LADRILLO CERÁMICO PERFORADO	4,60
22 POLIPROPILENO	6,28	60 PINTURA A LOS SILICATOS	4,53
23 BLOQUE DE HORMIGÓN	6,27	61 BETÓN	4,30
24 FIBRA MADERA PRENSADA	6,25	62 LADRILLO CERÁMICO VITRIFICADO	4,21
25 LÁMINA DE CAUCHO NATURAL	6,17	63 ALUMINIO	4,19
26 PANELES FIBRAS MADERA. ALTA DENSIDAD	6,16	64 AZULEJO	4,13
27 PANELES FIBRAS MADERA. MEDIA DENSIDAD	6,16	65 LOSETAS CERÁMICAS (PORCELÁNICO)	4,06
28 PAJA	6,16	66 LOSETAS CERÁMICAS DOBLE COCCIÓN	4,00
29 POLICARBONATO	6,13	67 MELAMINA	3,92
30 ACERO CORTEN	6,13	68 PINTURA ORGÁNICA	3,31
31 POLIETILENO	5,97	69 ESPUMA - POLIURETANO	3,20
32 ACERO GALVANIZADO	5,86	70 BARNIZ AL AGUA	2,47
33 LOSETA CERÁMICA CON ANCLAJE	5,81	71 PINTURA PLÁSTICA AL AGUA	2,42
34 LOSETAS BARRO COCIDO BAJA T°	5,81	72 BARNIZ	2,15
35 HORMIGÓN ARMADO IN SITU	5,76	73 LACAS HIERRO	2,08
36 PVC	5,76	74 PINTURA PLÁSTICA	1,85
37 PANELES FIBRAS MADERA. BAJA DENSIDAD	5,75	75 BARNIZ MARINO	1,80
38 METACRILATO	5,74		

ORDENACIÓN ECOLÓGICA DE VARIOS MATERIALES

Tomada de Manual de Arquitectura Ecológica, Garrido (2019).

En base a este análisis mediante una matriz de doble sentido se determinó que los materiales de mayor nivel ecológico son, H.a. prefabricado 7.48, utilizándose como hormigón, la piedra no laborada con 7.39, el vidrio 7.37, madera pesada 7.32 y la madera termo tratada con 7.15.

Los materiales menos amigables con el entorno son, barniz marino que se implementa en tratamientos, la pintura plástica, lacas hierro y barniz. Esta contextualización de datos nos permite determinar la importación de que tipo de materiales se pueden implementar para el desarrollo de una envolvente, enfocándose en la reducción del impacto, pero para generarlo hay que enfocarse en todos los aspectos que influyen en el proceso de desarrollo.

4.1.1.6 Autosuficiencia

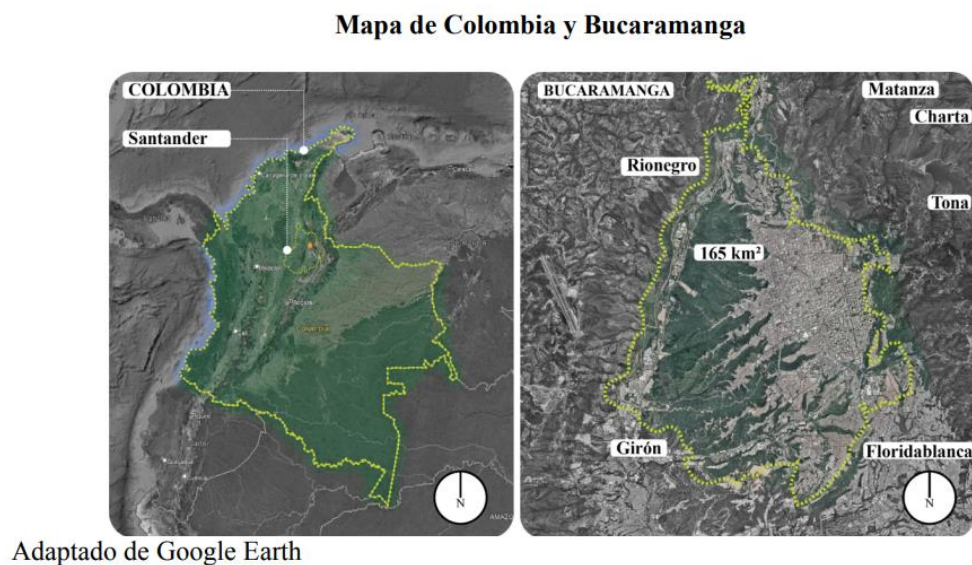
Es una forma de diseño sostenible que busca reducir la dependencia de factores mecánicos y de recursos externos, lo que busca es mejorar todos los aspectos necesarios de consumo mediante estrategias de producción, para mejorar el confort climático en las envolventes arquitectónicas, se deben considerar soluciones que aborden tanto la eficiencia energética como el bienestar de los ocupantes.

La combinación adecuada de aislamiento térmico, control solar, ventilación natural, iluminación natural, y diseño bioclimático puede proporcionar un ambiente interior confortable y saludable, reduciendo el impacto ambiental que genera una edificación. Se puede implementar en todas las áreas que abarcan la edificación.

4.1.2 Dinámicas Ambientales

Esta fase aborda el área donde se desarrolla el proyecto mediante el análisis de factores climáticos. En base a esto, se elabora un primer mapa con la localización de la ciudad.

Figura 30. Localización de la Ciudad de Bucaramanga



Tomada de Estrategias bioclimáticas, Suárez, (2022).

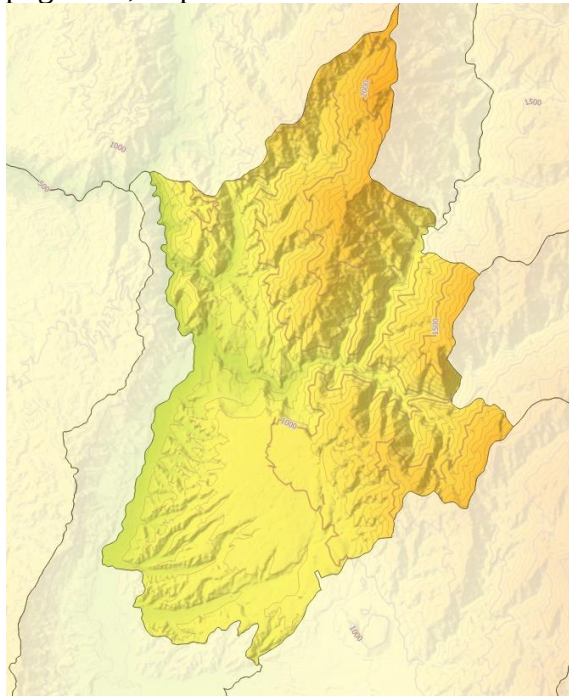
Se analiza la ubicación de la estación meteorológica del IDEAM, la altitud en que se encuentra la ciudad, la precipitación anual y las coordenadas. Esto con el fin de realizar una primera contextualización de los factores climáticos a analizar.

Figura 31. *Caracterización del clima*



Bucaramanga es una ciudad de Colombia ubicada en la región andina, en el departamento de Santander. Se encuentra en una altitud de 1018 msnm en el centro, esto varía según el sector en donde se ubique en la ciudad, pudiendo llegar hasta los 1.400 msnm en las zonas más altas.

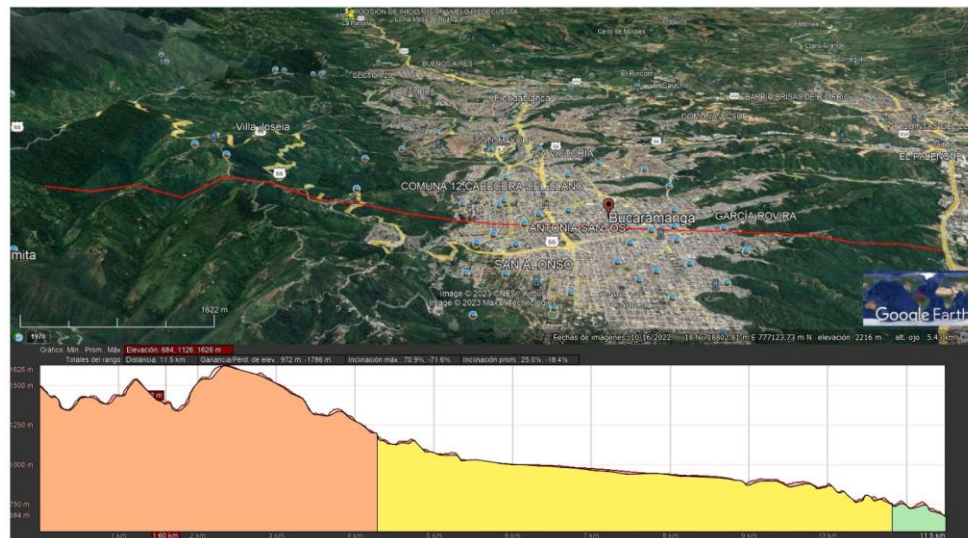
Este primer acercamiento permite conocer el contexto en el que se ubica el proyecto, desarrollando un análisis de los parámetros ambientales “temperatura, humedad, precipitación y radiación”. Mediante este análisis se optó por implementar la clasificación climática de Caldas Langa para caracterizar el tipo de clima y la composición de su entorno.

Figura 32. Mapa Análisis Topográfico, Capa 1

Tomado del Geoporal IGAC (2023).

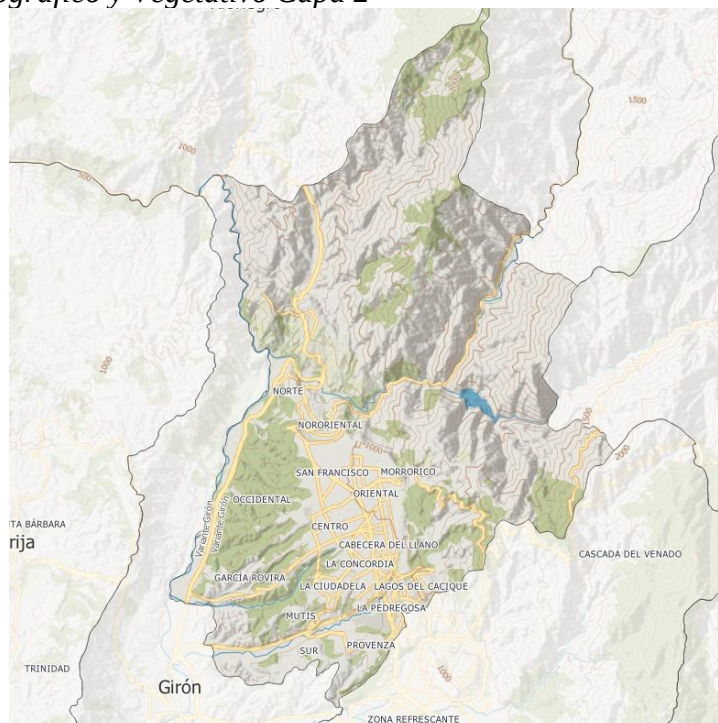
- Rojo- 2000-3000 msnm
- Naranja- 1.200-2000 msnm
- Amarillo -700- 1.200 msnm
- Verde- 0- 700 msnm

La ciudad de Bucaramanga se encuentra formada geológicamente por un derrumbe a partir de un abanico aluvial de piedemonte, se le conoce como forma de cono truncado. Constituida por una meseta, la cual contiene grandes variaciones de nivel geográfico, esto puede representar la existencia de diferentes ecosistemas más pequeños abarcados por un mismo Bioma, como lo es el bosque Tropical Semiárido, esto según la clasificación climática de Caldas Lang. En este punto se desarrolla un análisis de capas para interpretar las características climáticas de la ciudad y abstraer los datos más relevantes en el proceso metodológico.

Figura 33. Corte del Análisis Topográfico capa 1

Tomado de Google Earth, (2023).

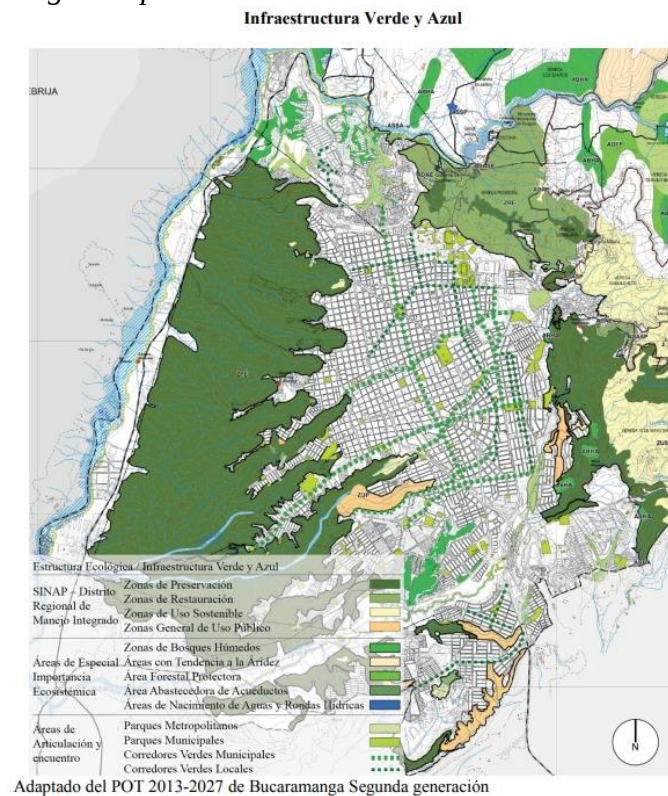
Análisis de capa topográfica, representando el corte de desnivel urbano de la ciudad de Bucaramanga, esto puede influir en pequeños microclimas que se generen a lo ancho de la ciudad.

Figura 34. Análisis geográfico y Vegetativo Capa 2

Tomado del Geoporal IGAC (2023).

En la segunda capa se realiza un cruce de información urbana, ligando las curvas de nivel con un primer análisis general de la vegetación existente a lo largo del trazado urbano. La mayor parte de vegetación conocida como bosque Andino, se desarrolla en las periferias de la ciudad como lo son la escarpa y el inicio de la montaña oriental. Esto debido al crecimiento urbano en el centro de la ciudad, donde se condensa el desarrollo de la infraestructura urbana.

Figura 35. Estructura Ecológica capa 3



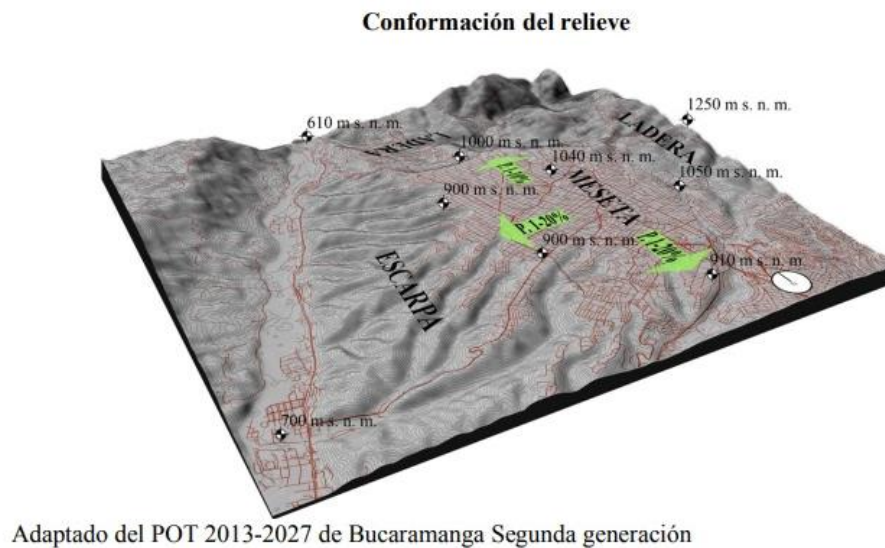
Tomada de Estrategias bioclimáticas, Suárez, (2022).

En el desarrollo de esta tercera capa se profundiza en el análisis de la estructura ecológica, y se observa el funcionamiento de estas zonas extensas en las periferias abrazando el contexto urbano, en la leyenda se describe la estrucutra ecológica en tres aspectos, áreas de especial

importancia ecosistémica, áreas de articulación y encuentro y el distrito regional de manejo integrado, que abarca zonas de preservación, restauración, uso sostenible y público.

La infraestructura verde urbana de la ciudad la configuran inicialmente grandes áreas verdes libres en promedio de 10 hectáreas que constituyen parques metropolitanos destinados a usos recreativos activos o pasivos que generan valor paisajístico y ambiental para todo el territorio de la ciudad, además, de traer beneficios como el mejoramiento del microclima, la calidad del aire, reducen el dióxido de carbono, mejoran el paisaje y son refugio de biodiversidad (Pereira B, 2022, p. 52).

Figura 36. *Desarrollo Topográfico capa 1*



Tomada de Estrategias bioclimáticas, Suárez, (2022).

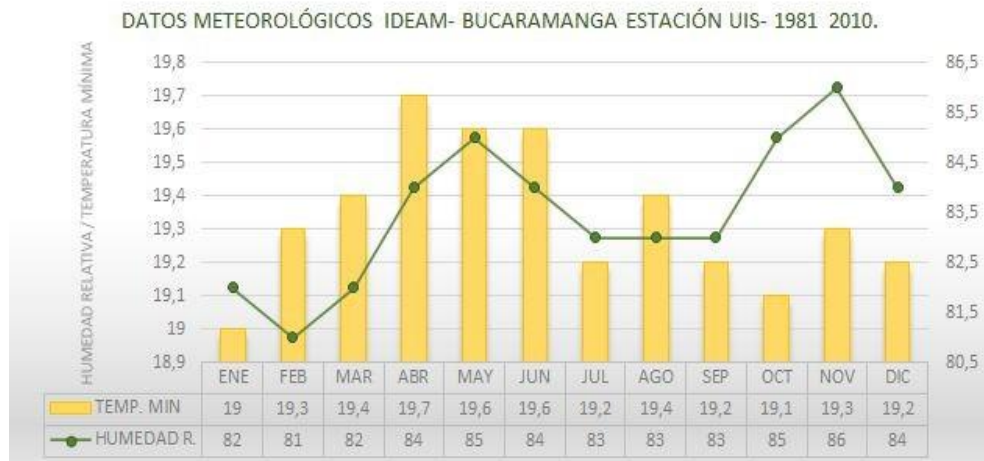
La meseta desciende desde el este al oeste con pendientes que varían del 1% al 20% hasta llegar a la escarpa, así mismo, en dirección norte-sur existe inclinación del 1% al 20 %, por último, en el norte la pendiente del 1% al 10% hasta encontrarse con la ladera (Pereira B, 2022, p. 29).

Figura 37. *Nodos urbanos de Temperatura capa 2***Localización de los nodos o termómetros digitales**

Tomada de Estrategias bioclimáticas, Suárez, (2022).

El análisis de efecto de isla de calor al interior del centro urbano es representado con este diagrama que demuestra una concentración de radiación debido a la composición material de las calles pavimentadas y la falta de zonas permeables como zonas ajardinadas. Los resultados del estudio demuestran una intensidad media de 1.0 °C manifestándose a lo largo de la noche.

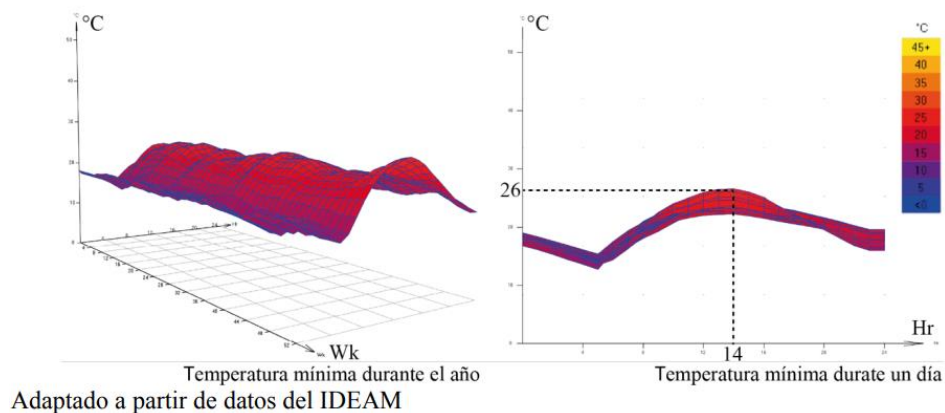
Este fenómeno de isla de calor ocurre en áreas urbanas donde la temperatura es mas alta que en las áreas circundantes por los extensos bosques, estas afectaciones pueden traer problemas en: afectaciones a la salud, afectaciones al medio ambiente, afectaciones en la infraestructura. Es de vital importancia tomar medidas que generen estrategias de mitigación del efecto isla de calor, aumentando las áreas verdes urbanas, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover la construcción de edificios mas eficientes energéticamente.

Figura 38. *Análisis Humedad y Temperatura mínima*

Tomada del IDEAM (2010).

Figura 39. *Simulación Temperatura mínima*

Simulación realizada a través del software Ecotect Analysis

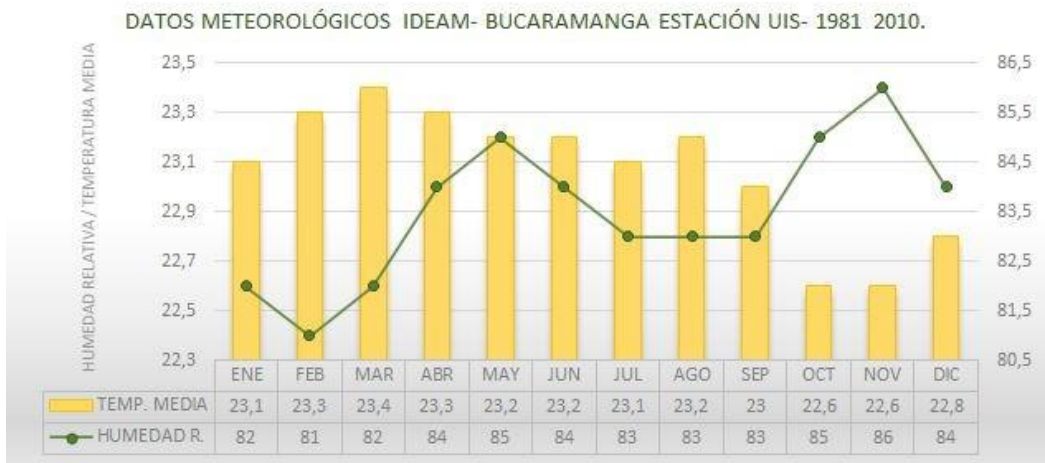


Tomada de Estrategias bioclimáticas, Suárez, (2022).

Se determina según la tabla, que la temperatura mínima alcanzada es de 18°C representada en el mes de enero, generando un incremento proporcional hasta el mes de abril alcanzando los 20°C, teniendo variaciones leves de 3°C, en el resto del año se observa una disminución de 1 a 2°C, variaciones leves de los cambios de temperatura, lo que determina un clima similar a lo largo del año. El factor de humedad actúa de la misma manera hasta el mes de mayo llegando una humedad

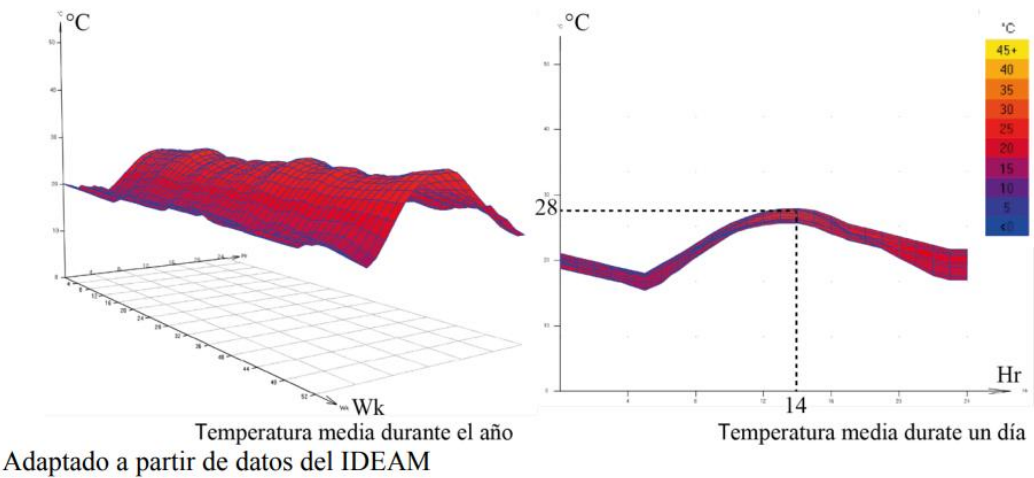
de 85% con una temperatura de 20°C, pero el resto del año actúa inversamente proporcional llegando a su punto máximo de 86%.

Figura 40. Análisis Humedad y Temperatura media



Tomada del IDEAM (2010).

Figura 41. Simulación Temperatura media
Simulación realizada a través del software Ecotect Analysis

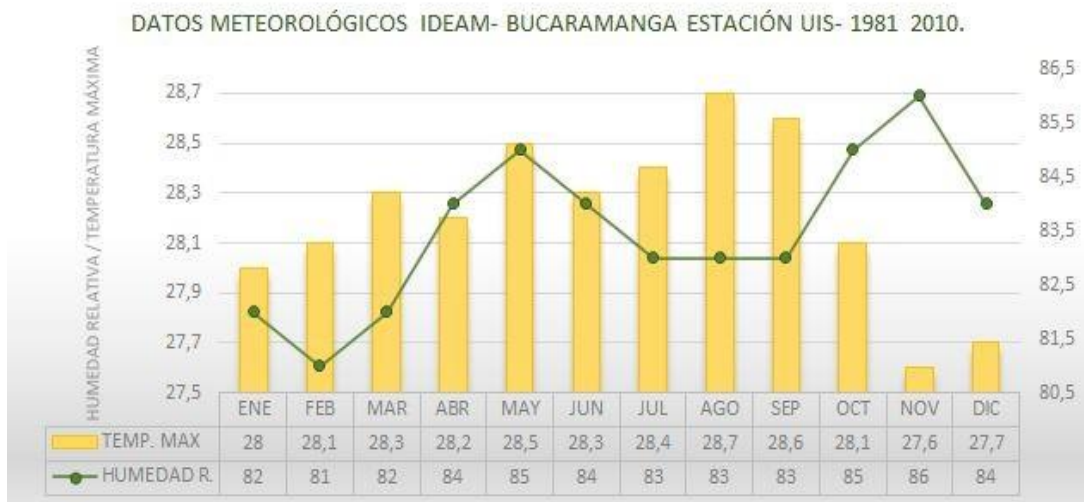


Tomada de Estrategias bioclimáticas, Suárez, (2022).

Se puede observar que la humedad representada por la línea verde se encuentra en uno de sus puntos más bajos en 82%, cuando la temperatura es más alta en enero, febrero y marzo llegando a 24 °C. Después de esto, la humedad y la temperatura alcanza niveles similares, teniendo

variaciones de 2 °C dando lugar a días calurosos con alta humedad, o “bochornosos” en meses como abril, mayo y junio.

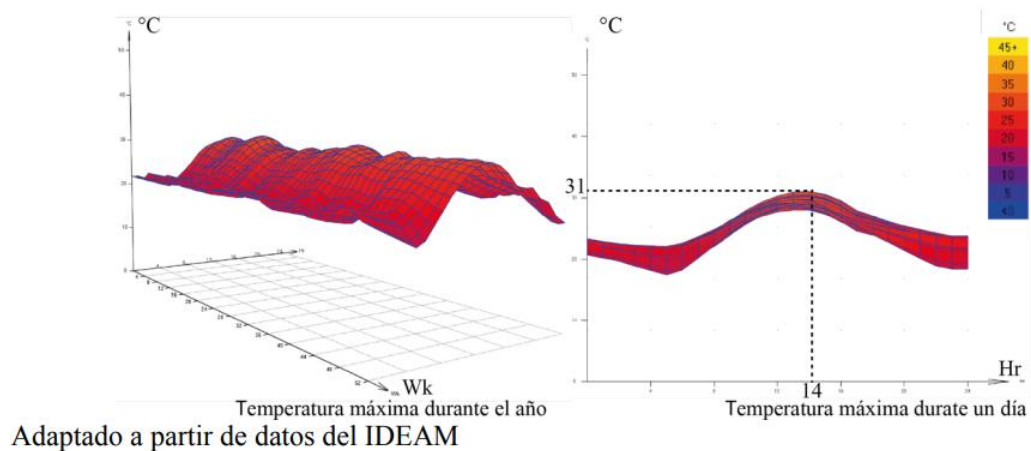
Figura 42. *Análisis Humedad y Temperatura máxima*



Tomada del IDEAM (2010).

Figura 43. *Simulación Temperatura máxima*

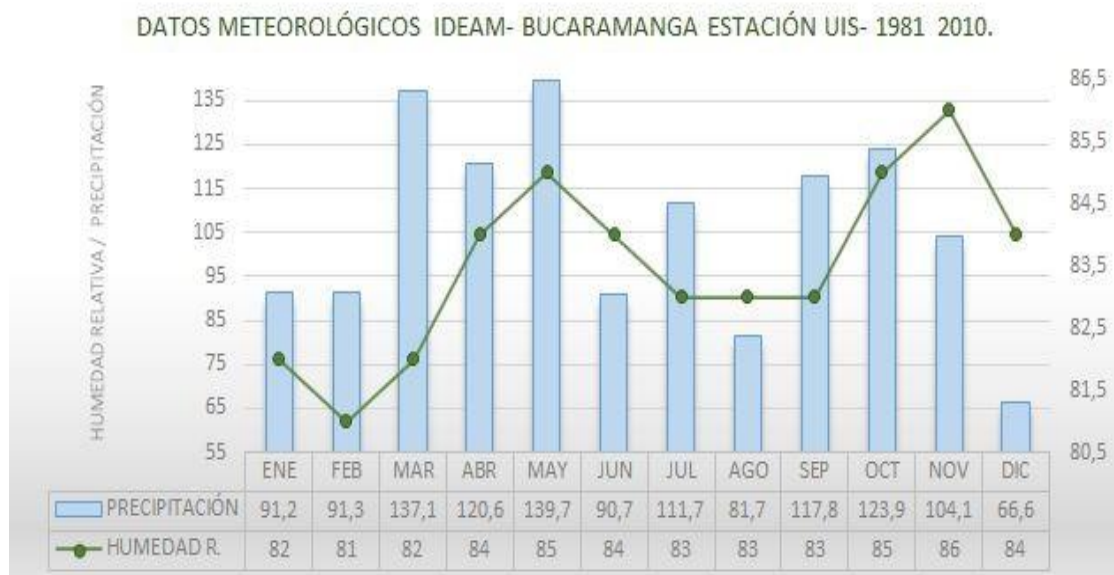
Simulación realizada a través del software Ecotect Analysis



Tomada de Estrategias bioclimáticas, Suárez, (2022).

Se determina según los datos obtenidos por el IDEAM, que las temperaturas más altas se presentan de julio a agosto con una temperatura por encima de los 28 °C lo que determina las épocas más críticas del año, sin embargo, la humedad actúa inversamente proporcional presentando en estos meses de altas temperaturas un rango del 83%, el mismo que maneja a lo largo del año. La temperatura se mantiene constante a lo largo del año, solo se detalla una leve reducción en los meses de noviembre y diciembre llegando a los 27 °C, teniendo una variación de 1 a 2 °C.

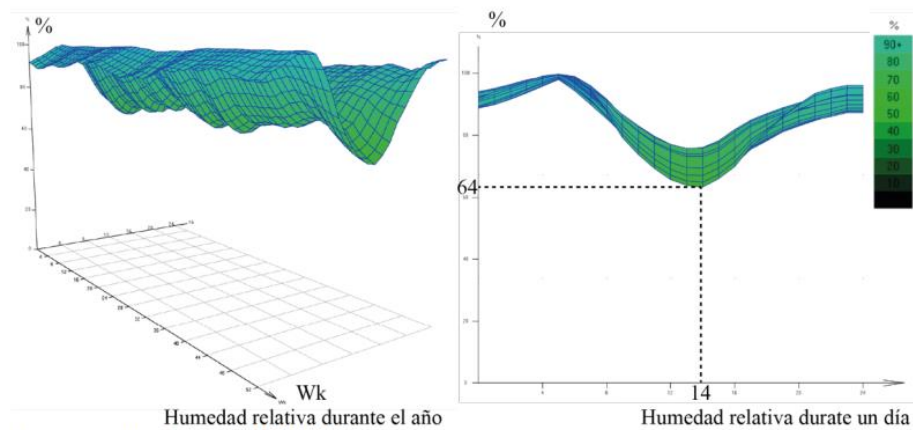
Figura 44. *Análisis Precipitación, Radiación y Humedad*



Tomada del IDEAM (2010).

Figura 45. Simulación Humedad Relativa%

Simulación realizada a través del software Ecotect Analysis

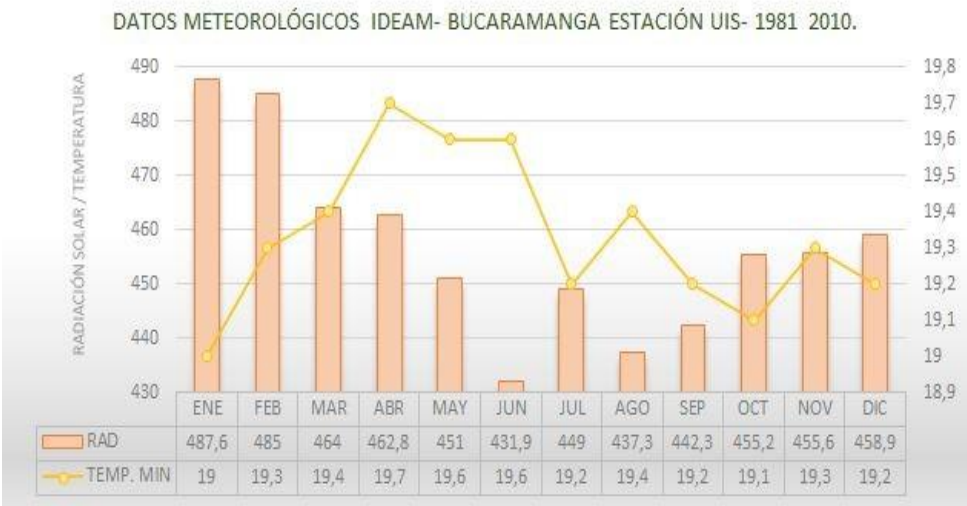


Adaptado a partir de datos del IDEAM

Tomada de Estrategias bioclimáticas, Suárez, (2022).

Existe una clara relación entre los niveles de precipitación y la Humedad relativa, siguiendo casi el mismo patrón a lo largo del año. Con excepciones como febrero, cuando las precipitaciones descienden hasta 91.3 manteniéndose en un punto medio y la humedad llegando a su punto más bajo con 81%, y en noviembre llegando a 104 un promedio medio, cuando la humedad llega a su punto más alto de 86%. Como Bucaramanga es un clima tropical se presentan bastantes variaciones en la precipitación a lo largo del año la época de lluvias más fuertes que va de marzo a mayo llegando a 140 considerado una época de exceso de lluvia.

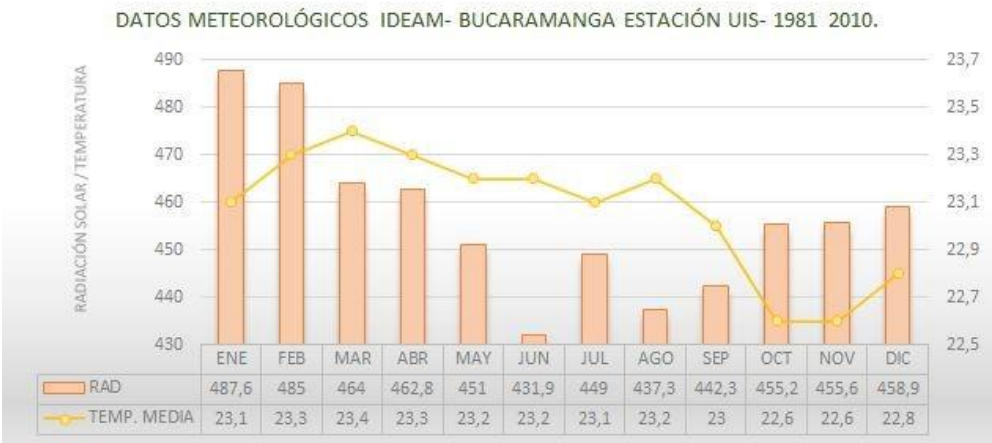
Figura 46. Análisis Radiación Solar y Temperatura mínima



Tomada del IDEAM (2010).

Se analiza un comportamiento inversamente proporcional de mayo a octubre cuando la temperatura llega a 20 °C la radiación llega a sus puntos más bajos 431.3 en el mes de junio, finalizando el año la temperatura desciende y la radiación aumenta, encontrándose en un punto medio las dos, y al inicio de año la radiación llega a su punto máximo 487.6 y la temperatura se encuentra en su punto más bajo con 19 °C.

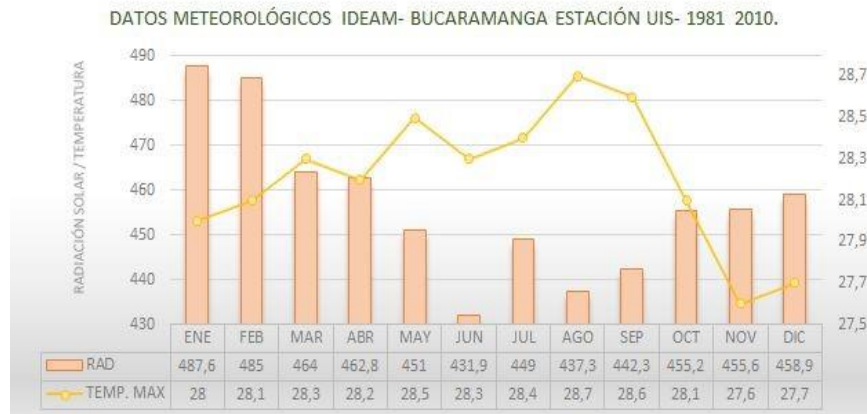
Figura 47. Análisis Radiación Solar y Temperatura media



Tomada del IDEAM (2010).

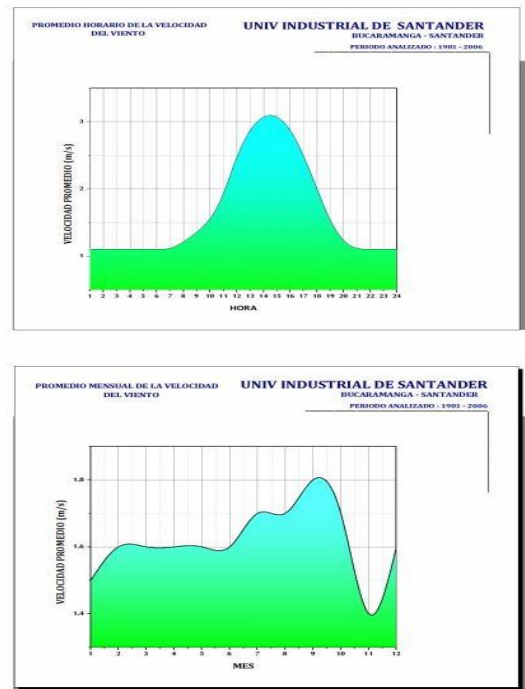
Cuando la temperatura está en su punto medio la radiación es menos constante descendiendo de febrero a junio que llega a su punto más bajo 431, debido a esto la temperatura es constante teniendo variaciones máximas de 2 °C, se representan al igual que en el anterior grafico que los dos factores actúan inversamente proporcionales.

Figura 48. *Análisis Radiación Solar y Temperatura Máxima*



Tomada del IDEAM (2010).

A lo largo de las tres tablas se evidencia el mismo comportamiento de datos inversamente proporcionales, en este caso los puntos más altos de temperatura son de julio a septiembre con 29 °C y en este mismo punto la radiación llega a sus niveles más bajos, la única época del año que coinciden es en marzo y abril.

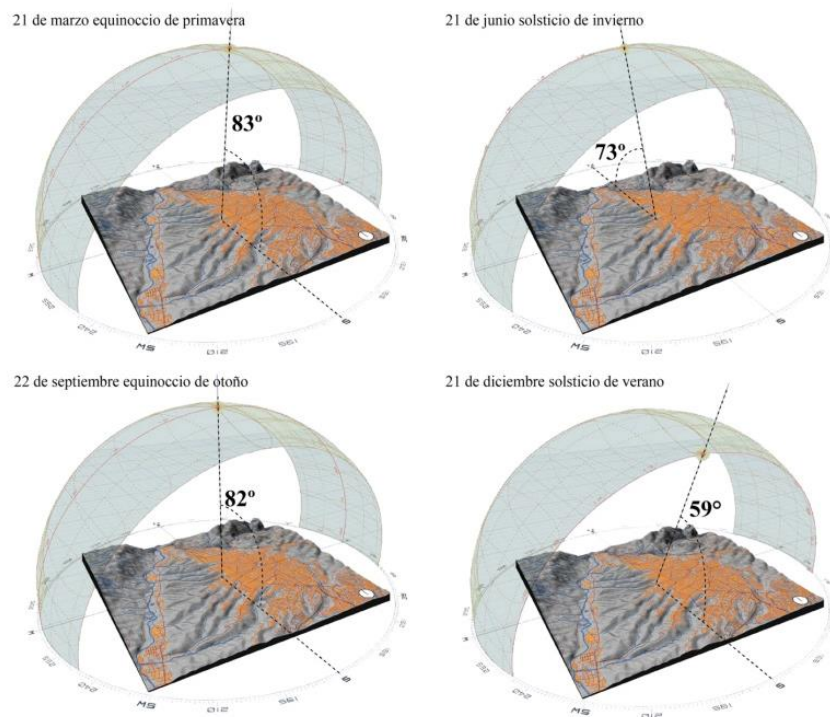
Figura 49. *Análisis de Ventilación*

Tomada del IDEAM (2010).

El promedio horario de la dirección del viento determina que los vientos provenientes del Sureste durante las primeras horas del día, hasta las 7am. Posteriormente se redireccionan hacia el Norte en un intervalo de 4 horas y se mantienen en este punto hasta las 9pm desde donde se redireccionan hacia el Sureste.

Se observa como la velocidad comienza en 1m/s en las primeras horas del día, y cómo a partir de las 11 am, comienza a elevarse hasta llegar a su punto más alto a las 3 pm, para luego estabilizarse hasta las 8pm.

Se concluye que predominan los vientos del norte a lo largo de todo el año, con ligeras variaciones, alcanzando su punto más alto en septiembre y descienden a su punto más bajo en noviembre.

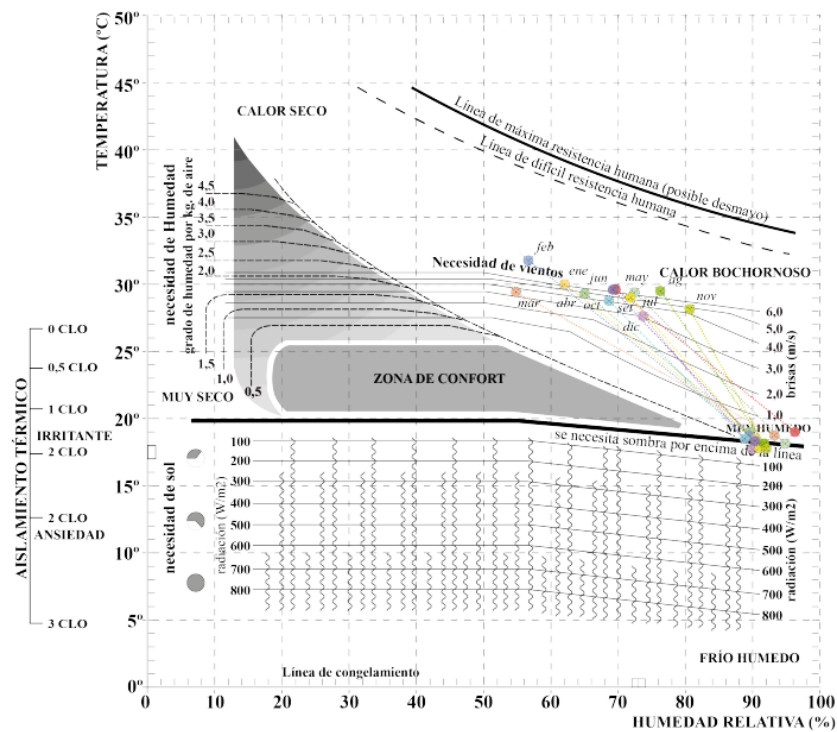
*Movimiento solar***Figura 50.** *Análisis Solar Solsticio y Equinoccio***21 de marzo, 21 de junio, 22 de septiembre y 21 de diciembre**

Tomada de Estrategias bioclimáticas, Suárez, (2022).

El análisis solar determina las inclinaciones del sol en las horas más críticas a lo largo del año, sintetizar esta información como principio de diseño, permite analizar el sol como una herramienta fundamental, para el diseño bioclimático y la composición de envolventes arquitectónicas. Bucaramanga al estar ubicado en la misma zona que el ecuador, presenta inclinaciones solares leves, de notando su máxima inclinación en el 21 de diciembre conocido como el solsticio de verano.

Figura 51. *Climograma de Olgay*

Climograma de Olgay: temperaturas máximas/humedad relativa mínima y temperatura mínima/humedad relativa máxima



Adaptado a partir de datos del IDEAM

Tomada de Estrategias bioclimáticas, Suárez, (2022).

Este diagrama se implementa para representar la información climática de una zona geográfica, en este caso la de la ciudad de Bucaramanga, en base a esto se determina, que por encima de los 45 °C podría presentarse un desmayo, el calor bochornoso fuera del confort climático se presentaría luego de los 28 °C, con la necesidad de vientos para generar renovaciones del aire, el primer ciclo térmico se presenta a los 22 °C lo que estima tener prendas frescas, el rango de la zona de confort llega hasta los 25 °C, factor a tener en cuenta para desarrollar estrategias que en las épocas de mayores temperaturas permitan mediante a la ventilación renovar el aire y así mantener los espacios más frescos.

Figura 52. *Parámetros ambientales analizados*

Según los parámetros ambientales analizados a lo largo de este punto que determinan el comportamiento climático a lo largo del año, según este factor analizado podemos abstraer el primer rango de información generada por la fase 1, el cual contempla los factores limitantes o retos a los que tienes que hacer frente los organismos biológicos con la finalidad de adaptarse al medio.

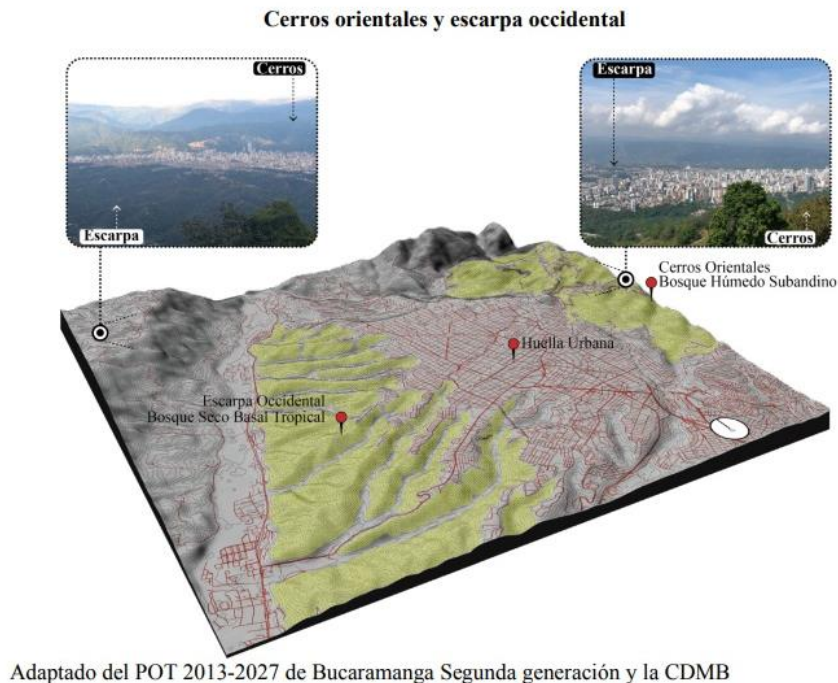
Estas limitantes se abstraen de las condiciones climáticas analizadas previamente en las tablas obtenidas por el IDEAM, se caracteriza como las épocas más críticas, la temporada seca se extiende de diciembre a marzo y de julio a agosto, mientras que la temporada de lluvias se extiende de abril a junio y de septiembre a noviembre. Esto con lleva a presentar variaciones que condicionan a las especies de plantas que viven en el entorno. Teniendo épocas de abundante agua como épocas de continua sequía. A través de estos factores condicionantes hemos conseguido catalogar los factores que determinan el clima.

4.1.3 Dinámicas Biológicas

Para desarrollar esta dinámica se realizó una contextualización en base a proyectos que ya han planteado una ruta previa de conocimiento en el campo de la arquitectura biomimética, según los datos recopilados en la investigación se fue construyendo un método para analizar y clasificar la información a usar.

La configuración del paisaje natural colindante con el municipio de Bucaramanga es diversa debido al relieve cambiante. En primer lugar, se destaca el sistema montañoso de los cerros orientales con una extensión total de 3.942 hectáreas de las cuales 1300 hectáreas están contiguas a la huella urbana (Guevara Ariza, 2022), declarada como reserva natural en el POT y proyectada como futuro parque bosque de los caminantes y está catalogada como Bosque Húmedo Subandino (EDU, 2017).

De acuerdo con el estudio ambiental realizado por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, (CDMB), “este ecosistema es vital, permite descontaminar el aire y producir sombra” y con gran valor de vida silvestre. estrategias bioclimáticas para el espacio público urbano 30 En segundo lugar, la escarpa occidental que es catalogada como Bosque Seco Basal Tropical (EDU, 2017), comprende un área de 2.034 hectáreas, de las cuales la CDMB, ha adquirido 1.300 hectáreas aproximadamente (Villabona Castillo, 2022), considerada como Zona protección y zona de Recuperación para la Preservación Natural según el POT. También queda en evidencia la simbiosis perdida por la infraestructura verde natural, seccionada por la ciudad(Pereira B, 2022, p. 29).

Figura 53. Infraestructura Verde Natural

Tomada de Estrategias bioclimáticas, Suárez, (2022).

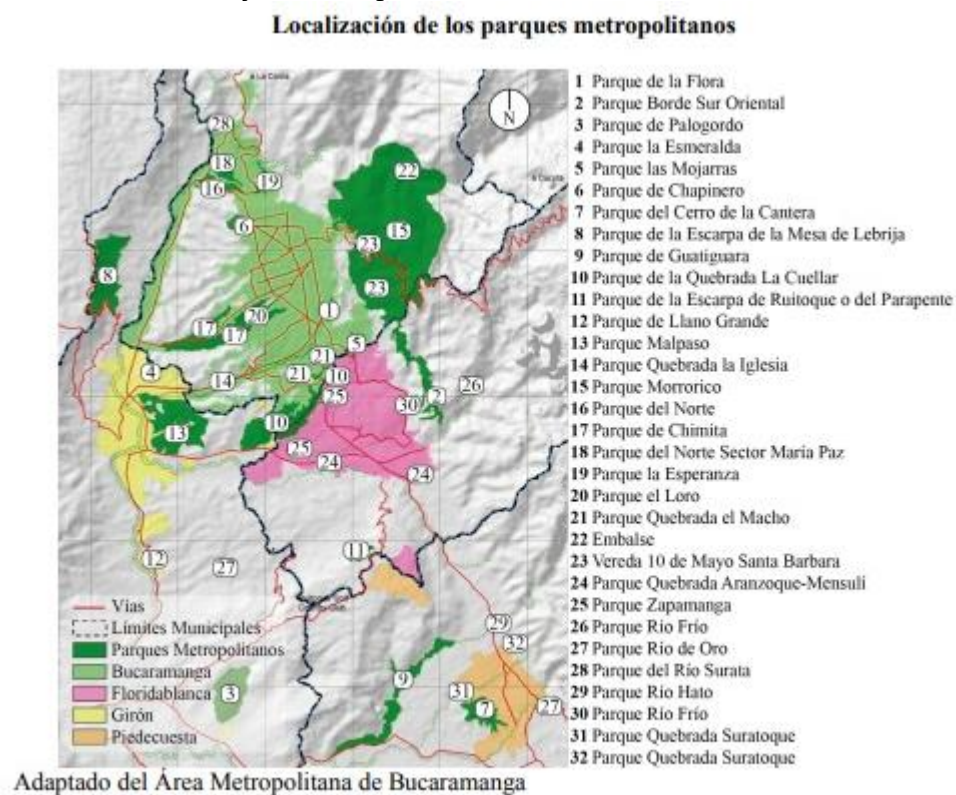
La infraestructura verde urbana de la ciudad la configuran inicialmente grandes áreas verdes libres en promedio de 10 hectáreas que constituyen parques metropolitanos destinados a usos recreativos activos o pasivos que generan valor paisajístico y ambiental para todo el territorio de la ciudad, además, de traer beneficios como el mejoramiento del microclima, la calidad del aire, reducen el dióxido de carbono, mejoran el paisaje y son refugio de biodiversidad (Pereira B, 2022, p. 53).

Si bien la Alcaldía viene adelantando acciones para recuperar los más de 200 parques que hay en la ciudad y tiene varios proyectos de parques en el horizonte, Según el Observatorio Metropolitano, Bucaramanga tiene un índice de 2,5m² de área verde por habitante, un dato que la ubica por debajo de Bogotá, que tiene aproximadamente 4 m²/Hab, Medellín (3,8 m²/Hab) y Manizales (4,1 m²/Hab). De hecho, está por debajo de Floridablanca (3,78

m²/Hab) y Piedecuesta (5,5 m²/Hab), y en el área sólo supera a Girón, que tiene un índice de 0,57 m²/hab.

la ciudad está muy lejos de los estándares que recomienda la Organización Mundial de la Salud (OMS), que dice que una ciudad debe tener entre 10 m² y 15 m² de área verde por habitante para garantizar una buena calidad de vida y un aire limpio a sus habitantes (Chio J, 2017, párr. 4).

Figura 54. Ubicación Parques Metropolitanos



Tomada de Estrategias bioclimáticas, Suárez, (2022).

4.1.4 Entrevista Biólogo

El objetivo de este recurso de muestra una serie de conocimiento biológicos previos que salen fuera del campo arquitectónico, por lo tanto se implementa como un apoyo analítico de los conceptos básicos y de cómo abordar metodológicamente el análisis de especies en la ciudad de Bucaramanga, mediante este recurso de entrevista trabajamos junto a un biólogo, elaborando unas preguntas puntuales en base de la estructura metodológica, proponiendo la entrevista como primer punto dentro de la dinámica biológica, con el fin de desarrollar un método de abstracción y clasificación de datos.

La entrevista parte de una contextualización por parte del entrevistador del proyecto, mediante la explicación del proyecto investigativo, los objetivos propuestos y la finalidad del estudio de las especies de plantas en la ciudad de Bucaramanga, la descripción de conceptos básicos como especies, biomas, adaptación y factores limitantes. Genera un punto de partida para interpretar estos conceptos como acciones biológicas que ocurren para obtener respuestas de las especies vivas.

La explicación del método del proyecto sirvió para interpretar como se podría alcanzar los objetivos propuestos. Una vez se explicó el planteamiento del proyecto y la estructura metodológica, se inició un proceso de profundización en el análisis de especies biológicas en este caso las plantas. Iniciando con una serie de preguntas que ayudaron a plantear una clasificación de especies basada de lo general a lo particular.

¿Cómo se desarrolla el funcionamiento biológico de una planta?

¿Cómo abordar el análisis y la interpretación del comportamiento de un espécimen vegetal?

¿Cómo generar una clasificación de especies biológicas argumentada en principios de adaptación?

¿Según sus principios biológicos que factores o procesos determinan la adaptabilidad de una especie?

Una vez planteadas estas preguntas desarrollamos un método para obtener y clasificar los datos, con la finalidad de analizar los especímenes con mayor capacidad de adaptación, obteniendo principios de reacción o respuestas de los factores climáticos analizados previamente.

4.1.5 Análisis de especies

Metodología propuesta para el análisis de especies a partir de la caracterización del bioma donde se desarrollan las especies a analizar, observar las limitaciones generadas directamente por el bioma en este caso clima tropical semiárido a lo largo del año, para determinar las posibles reacciones que puedan desarrollar estas especies como principios biológicos, para crear mecanismos de adaptación.

Tabla 6. *Metodología de Análisis de Especies*

Análisis	Descripción
Bioma	Biomos son el bosque, descripción del tipo de bosque y sus características que permite diferenciarlo de los demás, y las formaciones vegetales del entorno.
Adaptaciones	Se estudian las adaptaciones de las plantas a este entorno.
Análisis biológico	Descripción de las problemáticas más relevantes. Altas temperaturas, el déficit hídrico y el exceso de luz como los factores limitantes para su desarrollo.

Nota: descripción metodológica del análisis de especies. Para abstraer la información biológica (López Marlén, 2018, p. 47).

La vegetación de Bucaramanga corresponde a una zona de vida transición entre el Bosque Seco Tropical (bs-T) y Bosque Húmedo Premontano (bmh-PM) o una transición entre el Bosque Subandino y Bosque Inferior Tropical de la clasificación de Cuatrecasas. Se han identificado 70 especies de árboles en Bucaramanga de las cuales 40 son Especies que son nativas y las otras 30 son Especies introducidas. Las especies más abundantes de árboles en la ciudad son la Licania tomentosa u oiti y los Guayacanes rosa y amarillos con un 30%. Los gallineros y los sarrapios con un 15%. La palma real y la Palma abanico con un 5%. El búcaro con un 2% (Arenas E, 2009).

La primera selección de especies se genera con las especies nativas que poseen criterios de adaptación más fuertes que las invasivas, seguido a esto se implementa un catálogo de especies desarrollado por la CDMB y la Alcaldía de Bucaramanga.

Figura 55. *Catálogo de especies nativas Bucaramanga*



Tomado de Alcaldía de Bucaramanga, Ascencio, (2022).

Tabla 7. *Tipos de estrategias de adaptación en organismos vivos*

Concepto	Fuente	Definición (dada por el autor)	Términos asociados	Conclusión de la definición.
Morfológica	(López Marlén, 2018)	La adaptación morfológica o estructural es la relativa a la anatomía del organismo incluyendo la forma, el tamaño, el patrón o la estructura, permitiéndole una mejor funcionalidad para la supervivencia en ese entorno	Adaptación Anatomía Forma	La adaptación morfológica se describe como los parámetros físicos adaptados por las especies para sobrevivir en un medio. Un ejemplo sería el cuello de las jirafas
Fisiológica	(López Marlén, 2018)	La adaptación fisiológica o funcional representa cambios en el funcionamiento del organismo, generalmente relacionada con procesos químicos como respuesta sistémica del individuo frente a un estímulo externo específico para sobrevivir	Función Organismo Super vivencia.	El ser vivo al exponerse mucho tiempo a ciertas condiciones, en las cuales él pueda subsistir. Desarrolla un proceso de adaptación química en su sistema. Para generar características que le permitan subsistir en el medio.
Etológica	(López Marlén, 2018)	La adaptación etológica o de comportamiento es la que provoca modificaciones en las respuestas de los organismos ante determinados estímulos con la finalidad de subsistir, desarrollarse o reproducirse. un sistema de retroalimentación de señal y respuesta, en el que el comportamiento marca una interacción entre la planta y su entorno	Comportami entos Estímulos Interacción Desarrollo Adaptación	Desarrollo de una adaptación a partir de su comportamiento. Respondiendo a los estímulos del entorno cambiante para crear estrategias de respuesta interactiva.

Nota: La siguiente tabla contiene los tres tipos de adaptación que se pueden presentar en las plantas para llegar a la capacidad de adaptarse en un entorno.

A partir de este punto se realiza una selección de plantas encontradas en el catálogo, “La Administración Municipal con el propósito de reconocer el potencial de la cantidad del verde urbano en Bucaramanga, realizó un catálogo de aquellas especies nativas que atraen fauna silvestre a la región”(Morado, 2022, para. 1). disponemos de cinco especies a profundizar, destacando sus características esenciales con el fin de abstraer sus principios biológicos.

Especies Nativas:

Figura 56 Espécimen 1 Búcaro

BÚCARO

Características	
Familia	Fabaceae
Nombre científico	<i>Erythrina fusca</i>
Autor	Lour.
Etimología	<i>Erythrina</i> , del griego <i>erithros</i> , rojo; <i>fusca</i> , que significa oscuro.
Sinónimo	<i>Erythrina glauca</i> Willd.
Nombre común	Búcaro
Origen	Nativa
Continente	Centro América, Sur América
Distribución geográfica	América tropical; introducida en el Paleotrópico
Altura máxima (m)	20
Diámetro (cm)	200
Amplitud de copa	Amplia (mayor que 14 m)
Densidad de follaje	Alta
Modelo arquitectónico	No determinado
Sistema radicular	Superficial
Atributos foliares	Miden 20 cm de largo por 15 cm de ancho, con folíolos elípticos, redondeados en la base y en el ápice; margen entera.

NATIVA



Tomado de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá, (2023).

Según la ficha técnica de esta especie se caracteriza por sus atributos florales, refiriéndose a las características de las hojas que facilitan la identificación de la especie, su tamaño, forma. Otros aspectos para destacar es el color que caracteriza estas hojas y la composición de sus hojas, formándose por una lámina o limbo. Esta especie destaca por unos nudos en el limbo de sus hojas o en el tallo que las une a las ramas por moverse a lo largo del día según las condiciones climáticas.

La función que genera la especie en aspectos urbanos puede ser la obtención de sombra, una barrera contra el viento o de alimento para la fauna y uso ornamental. Se observa que posee raíces fuertes y extendidas que afectan construcciones, se destaca por adaptarse tanto a zonas húmedas como secas, y requiere un nivel alto de luminosidad (Universidad EIA, 2023).

Figura 57. *Espécimen 2 Guayaba Feijoa*

Guyaba Feijoa

Características	
Familia	Myrtaceae
Nombre científico	<i>Acca sellowiana</i>
Autor	(O.Berg) Burret
Etimología	-
Sinónimo	-
Nombre común	Guayaba feijoa
Origen	Introducida
Continente	Sur América
Distribución geográfica	Nativa de Suramérica; cultivada en trópicos y subtropicos
Altura máxima (m)	5
Diámetro (cm)	20
Amplitud de copa	Estrecha (menor que 7 m)
Tasa de crecimiento	Lenta
Longevidad	Media (36 - 60 años)
Zonas de humedad	Húmeda
Rango altitudinal	1001 - 1500 msnm, 1501 - 2000 msnm
Requerimiento de luminosidad	Alta
Tipo de suelo	No determinado
Uso	La madera se emplea en obras pequeñas de construcción y carpintería. Los frutos son comestibles
Función	Seto, Ornamental, Barrera contra ruido, Alimento para la fauna, Fruto comestible
Usos en espacio público	Parques, Antejardines, Plazas/Plazoletas

NATIVA



Tomado de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá, (2023).

Posee una forma de caba globosa lo que le permite cubrirse bien del sol, como si fuera una sombrilla, posee una composición de hojas simple, con un fruto circular, también dispone de flores de color rojo y la amplitud de su copa es estrecha.

Es una especie que se caracteriza por su lento crecimiento, pero de gran funcionamiento fisiológico en climas cálidos, la posición de las hojas es opuesta al tallo para protegerla de la exposición a la radiación. Se les denomina a sus frutos como botones florales de una particularidad geométrica. Entre formas orgánicas y terminaciones lineales.

Figura 58. *Espécimen 3 Guayacán Rosado*

Características	
Familia	Bignoniaceae
Nombre científico	<i>Tabebuia rosea</i>
Autor	(Bertol.) Bortero ex A.D.C.
Etimología	<i>Tabebuia</i> , nombre vaucaulo brasileño <i>tabebuia</i> o <i>taibenuia</i> ; <i>rosea</i> , del latín rosa, por el color rosado de sus flores.
Sinónimo	-
Nombre común	Guayacán rosado
Origen	Nativa
Continente	Centro América, Sur América
Distribución geográfica	México a Ecuador
Altura máxima (m)	40
Diámetro (cm)	100
Amplitud de copa	Amplia (mayor que 14 m)
Densidad de follaje	Media
Modelo arquitectónico	No determinado
Sistema radicular	Profundo
Atributos foliares	Miden 30 cm de largo por 20 cm de ancho, con borde entero y con 5 folíolos
Persistencia hoja	Caducifolia
Atributos florales	Miden 5 cm de largo, campanuladas
Estación de floración	Época seca
Sistema de polinización	Insectos, Aves
Limitaciones flores	Comosas: al caer, afecta la movilidad de peatones
Atracción fauna	Alta
Densidad madera (g/cm³)	0,54
Tasa de crecimiento	Rápida
Longevidad	Alta (> 60 años)
Zonas de humedad	Húmeda, Muy húmeda
Rango altitudinal	0 - 1000 msnm, 1001 - 1500 msnm, 1501 - 2000 msnm
Requerimiento de luminosidad	Alta
Tipo de suelo	Se desarrolla aún en suelos pobres y degradados, pero con suficiente humedad
Uso	La madera se emplea en ebanistería fina y carpintería
Función	Ornamental, Restauración ecológica

Tomado de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá, (2023).

Es una de las especies más simbólicas en la ciudad de Bucaramanga por la particularidad de su estética, una especie muy esbelta con una altura máxima de 40 m, tiene la característica de florecer en las épocas secas, lo que se percibe como una estrategia de adaptación, posee una tasa de crecimiento alta.

Un aspecto para resaltar es el desarrollo en suelos pobres y degradados, pero que posean humedad, con ello demuestra que no necesita de buenas condiciones para adaptarse a un entorno. Es una de las especies con mayor coeficiente de adaptación.

El aspecto estético es resaltado por la pigmentación rosada de sus flores que disponen de una posición en forma de panícula.

Figura 59. *Espécimen 4 Azuceno*

Azuceno

Características	
Familia	Apocynaceae
Nombre científico	<i>Tabernaemontana litoralis</i>
Autor	Kunth
Etimología	-
Sinónimo	<i>Stemmadenia litoralis</i> (Kunth) L. Allorge
Nombre común	Azuceno
Origen	Nativa
Continente	Sur América
Distribución geográfica	Colombia a México
Altura máxima (m)	4
Diámetro (cm)	15
Amplitud de copa	Estrecha (menor que 7 m)
Densidad de follaje	No determinado
Modelo arquitectónico	No determinado
Sistema radicular	No determinado
Atributos foliares	Hojas elípticas con una longitud entre 10 y 24 cm con borde entero y revoluta
Persistencia hoja	Perenne
Atributos florales	Con un diámetro de 6 cm, aromáticas con 5 pétalos
Estación de floración	No determinado
Sistema de polinización	No determinado
Limitaciones flores	Tóxicas
Tasa de crecimiento	Media a Rápida
Longevidad	Media (36 - 80 años)
Zonas de humedad	Seca, Húmeda
Rango altitudinal	0 - 1000 msnm, 1001 - 1500 msnm, 1501 - 2000 msnm
Requerimiento de luminosidad	Alta
Tipo de suelo	No determinado
Uso	El latex se emplea en medicina popular
Función	Ornamental, Sombrio
Usos en espacio público	Antejardines, Vías peatonales, Plazas/Plazoletas, Edificios institucionales

NATIVA



Tomado de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá, (2023).

El azuceno es una especie de árbol urbano con una altura baja, pero soporta de gran manera los gases de dióxido de carbono, posee una forma de copa semi globosa, cuna composición de hojas simple, opuesta al tallo.

En la parte formal sus hojas son elípticas con una longitud de 10 a 24 cm con borde entero y revoluto, uno de los aspectos relevantes es que es una especie altamente toxica en todas sus partes, se usa mucho en el espacio público en ante jardines, vías peatonales y edificios institucionales.

De esta especie se saca el látex como compuesto químico, también lo segregan sus hojas en las épocas de mayor radiación, pues este compuesto químico lo protege como si fuera un bloqueador para la piel humana.

Se presenta en zonas tanto húmedas como secas, con una longevidad media entre 36 y 60 años. Posee una tasa de crecimiento mediana, como no es tan alto su proceso de crecimiento no es tan rápido.

Figura 60. Espécimen 5 *Guayacán Amarillo*

Guayacán Amarillo

Características	
Familia	Bignoniaceae
Nombre científico	<i>Handroanthus chrysanthus</i>
Autor	(Jacq.) S.O. Grose
Etimología	<i>Handroanthus</i> , en honor al botánico brasileño Oswaldo Handro; <i>chrysanthus</i> , en latín significa flores doradas.
Sinónimo	<i>Tabebuia chrysantha</i>
Nombre común	Guayacán amarillo
Origen	Nativa
Continente	América tropical
Distribución geográfica	México a Perú; Trinidad
Altura máxima (m)	35
Diámetro (cm)	100
Amplitud de copa	Media (7 - 14 m)
Densidad de follaje	Media
Modelo arquitectónico	No determinado
Sistema radicular	Profundo
Atributos foliares	Con 5 a 7 folíolos de margen entera o aserrada.
Persistencia hoja	Caducifolia
Atributos florales	Miden de 5 a 7 cm de largo, campanuladas y vistosas
Estación de floración	Estacional
Longevidad	Alta (> 60 años)
Zonas de humedad	Húmeda
Rango altitudinal	0 - 1000 msnm, 1001 - 1500 msnm, 1501 - 2000 msnm
Requerimiento de luminosidad	Alta
Tipo de suelo	Franco
Uso	La madera se emplea para pisos, construcciones, chapas e implementos deportivos.
Función	Sombrio, Ornamental, Alimento para la fauna
Usos en espacio público	Separadores, Cerros, Glorietas, Orejas de puente, Parques, Plazas/Plazoletas, Edificios institucionales

NATIVA



Tomado de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá, (2023).

El guayacán amarillo resalta por su pigmentación y su estética, una especie de muy rápido crecimiento, con una ventaja sobre muchas por no necesitar suelos ricos en minerales, lo único que

necesita es un suelo semihúmedo, tiene un principio adaptativo de florecer en las épocas de mayor aumento de temperatura, en las épocas de mayor sensación térmica, suelen dejar caer sus hojas como especies xerofítica, para mantener la mayor cantidad de agua al interior de su tronco.

La composición de su copa es semiglobosa y sus hojas están estructuradas de forma compuesta, son hojas bastante grandes lo que indica que la especie no necesita de mucha agua para subsistir.

Principio biológico de a mayor es la hoja menor es la capacidad de retención esto pasa inversamente proporcional con las especies desérticas, como los cactus.

Figura 61. *Espécimen 6 Gallinero*

GALLINERO		NATIVA
Características		
Familia	Fabaceae	
Nombre científico	<i>Pithecellobium dulce</i>	
Nombre común	chiminango, payandé, gallinero, acacia tunuda, azabache	
Sinónimo	-	
Continente de origen	Centro y Sur América	
Condición en Colombia según origen	Nativa	
Hábito de crecimiento	Árbol	
Altura máxima (m)	20	
Tasa de crecimiento	Rápida	
Longevidad	Alta (> 60 años)	
Zonas de humedad	Húmeda, Seca	
Rango altitudinal	0 - 1000 msnm, 1001 - 1500 msnm, 1501 - 2000 msnm	
Requerimiento de luminosidad	Alta	
Tipo de suelo	No es exigente en suelos y soporta sequías prolongadas	
Uso	La madera se emplea en postes de cerca y carpintería	
Función	Alimento para la fauna, Restauración ecológica, Sombrio, Barrera rompevientos, Cerca viva	
Usos en espacio público	Cerros, Orejas de puente, Glorietas, Parques, Edificios institucionales	



Tomado de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá, (2023).

El gallinero se determina como una de las especies más vitas en el sector urbano se caracteriza por su alta longevidad y es una de las especies, que mejor se adapta al entorno, al no exigir suelos ricos en nutrientes y su característica principal es soportar sequias prolongadas esto destaca las capacidades de retención interna de agua, su fisiología destaca por ser un tronco ligero a la vista y una estética en forma de sombrilla que disminuye la temperatura considerablemente, posee hojas medianamente grandes que le permiten captar la radiación solar, y su pigmentación de un verde vivo es gracias al intercambio fotosintético.

Figura 62. Espécimen 7 Sarrapio

SARRAPIO

Características	
Familia	Fabaceae
Nombre científico	<i>Dipteryx odorata</i>
Nombre común	sarrapia, sarrapio, choibá, almendro,
Sinónimo	-
Continente de origen	Sur América
Condición en Colombia según origen	Nativa
Hábito de crecimiento	Árbol
Altura máxima (m)	30
Tasa de crecimiento	Lento
Longevidad	Larga
Tasa de crecimiento	Lenta
Longevidad	Alta (> 60 años)
Zonas de humedad	Muy húmeda
Rango altitudinal	0 - 1000 msnm
Requerimiento de luminosidad	Alta
Tipo de suelo	Bien drenados
Uso	La semilla oleaginosa es comestible y de ella se extrae un aceite para la fabricación de jabones
Función	Alimento para la fauna, Restauración ecológica
Usos en espacio público	Orejas de puente, Parques, Edificios institucionales

NATIVA



Tomado de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá, (2023).

El Sarrapio destaca por su longevidad, necesita una luminosidad alta, su fisiología de hojas grandes para captar más iluminación, necesita suelos bien drenados para tener un óptimo crecimiento, llega a crecer hasta 30 m, pero posee un nivel de crecimiento lento, esto determina que no están fácil adaptarse para él, porque necesita unas condiciones específicas para sobrevivir.

Especies Introducidas.

Tabla 8. *Espécimen 1 Introducida Caucho*

Caucho

Características	
Familia	Moraceae
Nombre científico	<i>Ficus elastica</i>
Autor	Roxb. ex Hornem.
Etimología	-
Sinónimo	-
Nombre común	Caucho
Origen	Introducida
Continente	Asia
Distribución geográfica	Asia; cultivada en los trópicos
Altura máxima (m)	30
Diámetro (cm)	200
Amplitud de copa	Amplia (mayor que 14 m)
Atributos foliares	Hojas espiraladas y coriáceas.
Persistencia hoja	Perenne
Atributos florales	Se encuentran encerradas en el interior de receptáculos huecos.
Estación de floración	No determinado
Sistema de polinización	No determinado
Limitaciones flores	Ninguna
Limitaciones frutos en espacios públicos	Masivos: afecta movilidad de peatones y vehículos
Sistema de dispersión	No determinado
Atracción fauna	-
Densidad madera (g/cm³)	0.62
Tasa de crecimiento	Media
Longevidad	Alta (> 60 años)
Zonas de humedad	Seca, Húmeda
Rango altitudinal	0 - 1000 msnm, 1001 - 1500 msnm, 1501 - 2000 msnm
Requerimiento de luminosidad	Media
Tipo de suelo	No determinado
Uso	Aceites, gomas y resinas
Función	Ornamental

Introducida



Tomado de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá, (2023).

El caucho es una de las especies más conocidas, su uso se implementa en aceites, gomas o resinas, posee una longevidad alta de hasta 60 años y poco más, es un árbol bastante grande con una copa de 14m y es una especie introducida que viene de Asia, pero logro adaptarse a un clima

tropical sin dificultades, varia en su tipo de adaptación entre suelos secos y suelos húmedos. Este factor garantiza que tiene buena capacidad de adaptación al medio.

Figura 63. *Espécimen 2 Introducida Laurel*

Laurel

Características	
Familia	Moraceae
Nombre científico	<i>Ficus benjamina</i>
Autor	L.
Etimología	<i>Ficus</i> , nombre genérico que se deriva del nombre dado en latín al higo; <i>benjamina</i> , epíteto latino
Sinónimo	-
Nombre común	Laurel, falso laurel
Origen	Introducida
Continente	Asia
Distribución geográfica	Asia; cultivada en los trópicos
Altura máxima (m)	25
Diámetro (cm)	100
Amplitud de copa	Amplia (mayor que 14 m)
Densidad de follaje	Alta
Modelo arquitectónico	No determinado
Sistema radicular	Superficial
Atributos foliares	Hojas en espiral, ovadas o lanceoladas, coriáceas, con ápice acuminado. Con estípulas.
Persistencia hoja	Perenne
Atributos florales	Las flores se encuentran encerradas en el interior de receptáculos.
Limitaciones frutos en espacios públicos	Masivos: afecta movilidad de peatones y vehículos
Sistema de dispersión	No determinado
Atracción fauna	-
Densidad madera (g/cm³)	0.46
Tasa de crecimiento	Rápida
Longevidad	Media (36 - 60 años)
Zonas de humedad	Seca, Húmeda
Rango altitudinal	0 - 1000 msnm, 1001 - 1500 msnm, 1501 - 2000 msnm
Requerimiento de luminosidad	Alta

Introducida



Tomado de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá, (2023).

El laurel es una especie que se adapta bien a las calles, tiene buena receptividad del dióxido de carbono, no posee un gran tamaño, posee una tasa de crecimiento alta, de igual manera es uno de los motivos de su implementación en las franjas urbanas, se adapta muy bien tanto a los suelos húmedos como secos, es una especie introducida, proveniente de Asia lo que demuestra su capacidad de adaptación a un clima tropical.

Tabla 9. *Espécimen 3 Introducida Oití*

OITÍ

Características	
Familia	Chrysobalanaceae
Nombre científico	<i>Licania tomentosa</i>
Autor	(Benth.) Fritsch.
Etimología	-
Sinónimo	-
Nombre común	Oití
Origen	Introducida
Continente	Sur América
Distribución geográfica	NE Brasil. Cultivada en los trópicos
Altura máxima (m)	15
Diámetro (cm)	50
Amplitud de copa	Media (7 - 14 m)
Densidad de follaje	No determinado
Modelo arquitectónico	No determinado
Sistema radicular	No determinado
Atributos foliares	Hojas dísticas, onduladas, pubescentes y con estípulas
Persistencia hoja	Perenne
Atributos florales	No determinado

INTRODUCIDA



Tomado de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá, (2023).

Es una especie proveniente de Brasil un clima similar, posee hojas onduladas un desarrollo que posee en su fisiología. Una especie longeva y de gran tamaño con un crecimiento de tiempo medio. Alcanza una altura intermedia de 15 m con un crecimiento lento. Se determina que tiene dificultades de adaptación al clima con la característica que debe poseer tierra con bastantes nutrientes.

Figura 64. Espécimen 4 Introducida Palma Real

PALMA REAL

Características	
Familia	Arecaceae
Nombre científico	<i>Roystonea regia</i>
Autor	(Kunth) O.F.Cook
Etimología	-
Sinónimo	-
Nombre común	Palma real, palma real de Cuba
Origen	Introducida
Continente	Centro América
Distribución geográfica	Cuba; cultivada en los trópicos
Altura máxima (m)	30
Diámetro (cm)	75
Tasa de crecimiento	Rápida
Longevidad	Alta (> 60 años)
Zonas de humedad	Seca, Húmeda
Rango altitudinal	0 - 1000 msnm, 1001 - 1500 msnm, 1501 - 2000 msnm
Requerimiento de luminosidad	Alta
Tipo de suelo	Prefiere suelos profundos y ricos en materia orgánica.
Uso	No determinado
Función	Alimento para la fauna, Ornamental
Usos en espacio público	Orejas de puente, Parques

INTRODUCIDA



Tomado de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá, (2023).

La palma real es una especie introducida pero procedente del caribe, tiene una característica de crecimiento rápido y se adapta con facilidad a los climas hostiles gracias a su morfología y a la retención de agua que ejerce esta especie sobre el entorno, se puede adaptar también de cero hasta dos mil metros de altura sobre el nivel del mar. No necesita de tierra fértil para subsistir. Siendo una de las especies que mas capacidad de adaptación posee.

Figura 65. *Espécimen 5 Introducida Olivo negro*

Olivo negro

Características	
Familia	Combretaceae
Nombre científico	<i>Bucida buceras</i>
Autor	L.
Etimología	-
Sinónimo	-
Nombre común	Olivo negro
Origen	Introducida
Continente	Centro América
Distribución geográfica	Antigua, Antillas, Bahamas, Barbados, Cuba, Dominica, Granada, Guayana, Haití, Jamaica, México, Puerto, San, Santa, Trinidad
Altura máxima (m)	35
Diámetro (cm)	100
Amplitud de copa	Amplia (mayor que 14 m)
Densidad de follaje	No determinado
Modelo arquitectónico	No determinado
Sistema radicular	No determinado
Atributos foliares	Hojas ovadas o elípticas
Densidad madera (g/cm³)	0.69
Tasa de crecimiento	Lenta a Media
Longevidad	Alta (> 60 años)
Zonas de humedad	Húmeda
Rango altitudinal	0 - 1000 msnm, 1001 - 1500 msnm, 1501 - 2000 msnm
Requerimiento de luminosidad	Media
Tipo de suelo	Rico en materia orgánica
Uso	La madera se emplea en la construcción, carpintería y ebanistería
Función	Ornamental, Sombrio
Usos en espacio público	Orejas de puente, Parques, Separador arterias principales, Andenes vías de servicio, Vías peatonales.

Introducida



Tomado de Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá, (2023).

El olivo negro es una especie con buena estética y ligereza es una especie introducida proveniente de centro América, alcanza una altura de 35 m con crecimiento lento, necesita de suelos con bastantes nutrientes, pero por la interposición de sus hojas posee la capacidad de reducir la radiación térmica en la parte inferior. No soporta climas tan hostiles, pero tiene la capacidad de adaptarse desde 0 hasta 2000 msnm. No es considerada una especie con gran capacidad de adaptación en épocas críticas climáticas.

4.2 Fase 2 Transición

La segunda fase se enfoca en la transición de abstracción y transformación de datos con el fin de obtener principios de adaptación.

Figura 66. *Matriz de doble sentido*

	Especie	Altura	Crecimiento	Longevidad	Composición Formal	Adaptación	Estética	Nota
ESPECIES NATIVAS	Búcaro	3	5	5	3	4	3	23
	Guayaba F	1	2	3	3	3	2	14
	Guayacán R	5	5	5	4	4	5	28
	Azuceno	1	3	3	3	4	2	16
	Guayacán A	5	4	5	4	4	5	27
	Gallinero	3	5	5	4	5	4	26
	Sarrapio	4	2	5	3	3	3	20
ESPECIES INTRODUCIDAS	Caucho	4	3	5	4	3	4	23
	Laurel	3	5	3	3	4	3	21
	Oití	3	2	5	3	3	3	19
	Palma real	4	5	5	4	2	4	24
	Olivo Negro	3	3	5	4	4	5	24
	Coeficiente	39	47	54	42	43	43	268

Se realiza la matriz de doble sentido con la finalidad de generar datos cuantificables, medidos en niveles de adaptación de las especies analizadas anteriormente, estos datos están clasificados entre especies nativas y especies introducidas, analizando cuales son los aspectos en que unas están por encima de otras.

Los ítems analizados nacen a partir de los principios de adaptación de las especies, como la fisionomía que determina su tamaño, su tiempo de crecimiento, la longevidad o durabilidad a un entorno, la composición formal que adapta a lo largo del tiempo, analizando su comportamiento. En los principios adaptativos determinamos las estrategias de cada especie para

subsistir en el medio en las épocas más críticas, hay especies especializadas o que se desarrollan de mejor manera en estas etapas

Una vez realizada la exploración de los modelos naturales en los diferentes climas definidos, esta segunda fase de transición conecta la biología con la arquitectura a través de los procesos de abstracción y valoración, con el objetivo de facilitar la transferencia de conocimiento desde la inspiración en las plantas hasta el desarrollo de nuevas soluciones arquitectónicas.

Figura 67. Ordenación de Esppecies según su capacidad adaptativa

ESPECIES NATIVAS	Especie	Nota	ORDEN
	Guayacán R	28	1
	Guayacán A	27	2
	Gallinero	26	3
	Olivo Negro	24	4
	Palma real	24	5
	Búcaro	23	6
	Caucho	23	7
	Laurel	21	8
ESPECIES INTRODUCIDAS	Sarrapio	20	9
	Oití	19	10
	Azuceno	16	11
	Guayaba F	14	12
	Coefficiente	268	13

Se ordenan las especies tabuladas según sus datos y los resultados obtenidos se ordenan para clasificar las especies en un orden de valor para medir su capacidad de adaptación al medio y de esta manera lograr clasificar las especies que se van a implementar en los esquemas de adaptación.

4.2.1 Factores limitantes

Desafíos o retos caracterizados a lo largo de esta investigación “evitar el calentamiento excesivo debido a la elevada insolación, evitar la pérdida de agua y con ello los daños por deshidratación, evitar daños producidos por el exceso de radiación ultravioleta, realizar la fotosíntesis, evitar la pérdida de agua por exceso de ventilación, perder estabilidad por rafas de vientos”.

Se puede concluir que la planta enfrenta a varios desafíos o retos que deben ser superados para sobrevivir y crecer adecuadamente. Estos desafíos incluyen evitar el calentamiento excesivo debido a la elevada insolación, prevenir la pérdida de agua y los daños por deshidratación, evitar daños producidos por el exceso de radiación, realizar la fotosíntesis y controlar los rangos de ventilación para no perder agua en sus hojas. Estos aspectos se han destacado como los más importantes siendo grandes desafíos que limitan el crecimiento de las plantas.

Desafío: el desafío o reto es el problema que el organismo debe afrontar para sobrevivir dada una situación específica. El desafío sería la respuesta a la pregunta: ¿cuál es la adaptación de la planta estudiada? (López Marlén, 2018, p. 80).

Función: por definición, una función es el propósito de algo. En el contexto biomimético, la función se refiere al papel desempeñado por las adaptaciones de un organismo que le permiten sobrevivir. La función también puede ser “lo que se necesita que haga la solución de diseño”

(ASKNATURE). La función se identifica con un verbo que define directamente el desafío biológico. La función sería la respuesta a la pregunta: ¿por qué la planta ha necesitado llevar a cabo esta adaptación? (López Marlén, 2018, p. 80).

Estrategia: una estrategia biológica es una característica, mecanismo o proceso que desempeña una función en el sistema natural. La estrategia es la forma en la que los organismos se han adaptado como respuesta a los desafíos funcionales para sobrevivir. La estrategia sería la respuesta a la pregunta: ¿cómo ha desarrollado la planta estas funciones específicas? (López Marlén, 2018, p. 80).

Figura 68. *Criterios de abstracción del clima al modelo biológico*

CLIMA - BIOMA		
PARÁMETRO AMBIENTAL	DESAFÍO	¿qué?
	FUNCIÓN	¿por qué?
	ESTRATEGIA	¿cómo?
		MODELO BIOLÓGICO
		Ejemplos plantas más representativas

Tomada de Envolvertes vivas, López, (2018).

La exploración de la biomecánica y morfología de los grupos de plantas seleccionados en los diferentes biomas se organiza en torno a tres conceptos importantes: desafío, función y estrategias (López Marlén, 2018, p. 80).

Figura 69 *Factores limitantes*

PARAMETRO AMBIENTAL	DESAFIOS O RETOS
TEMPERATURA	• EVITAR EL CALENTAMIENTO EXCESIVO DEBDO A LA ELEVADA INSOLACIÓN
HUMEDAD	• EVITAR LA PERDIDA DE AGUA Y CON ELLO LOS DAÑOS POR DESHIDRATACIÓN
LUZ	• EVITAR DAÑOS POR EXCESO DE RADIACIÓN • REALIZAR LA FOTOSINTESIS
VENTILACIÓN	• EVITAR LA PERDIDA DE AGUA EN LAS HOJAS POR VENTILACIÓN • FLEXIBILIDAD PARA SOPORTAR LAS CORRIENTES AIRE
NIVEL 1	NIVEL 2

Las plantas enfrentan factores limitantes destacados en la figura anterior, limitaciones detectadas del análisis climático desarrollado en la dinámica ambiental, según esto se identifican los desafíos o retos a los que tiene que reaccionar la especie para sobrevivir a las condiciones propuestas por los parámetros ambientales. Esto se define como el primer principio de acción de una especie para generar una estrategia que le permita subsistir en el medio. Estos principios han sido clasificados por cada factor ambiental y a cada uno se le otorga una reacción directa que ejecutaría una planta.

4.2.2 Funciones

Se definen las diferentes funciones o recciones que ejercen los organismos vivos en este caso las plantas definiendo el desafío generado por los parámetros ambientales en primera

instancia y catalogado como un factor limitante ya que condiciona el desarrollo de una planta debido a la presentación de condiciones climáticas cambiantes o radicales. Al presentarse condiciones cambiantes rápidamente los organismos tienden a realizar procesos mucho mas cortos para mantener en funcionamiento su proceso biológico.

Figura 70. *Definición de funciones*

PARAMETRO AMBIENTAL	DESAFIOS O RETOS	FUNCIONES
TEMPERATURA	• EVITAR EL CALENTAMIENTO EXCESIVO DEBDO A LA ELEVADA INSOLACIÓN	- PROTECCIÓN DEL CALOR - DISIPAR EL CALOR
HUMEDAD	• EVITAR LA PERDIDA DE AGUA Y CON ELLO LOS DAÑOS POR DESHIDRATACIÓN	- CONSERVAR EL AGUA - GANAR AGUA
LUZ	• EVITAR DAÑOS POR EXCESO DE RADIACIÓN • REALIZAR LA FOTOSINTESIS	- PROTEGERSE DE LA LUZ - CAPTAR LUZ
VENTILACIÓN	• EVITAR LA PERDIDA DE AGUA EN LAS HOJAS POR VENTILACIÓN • FLEXIBILIDAD PARA SOPORTAR LAS CORRIENTES AIRE	- FLEXIBILIDAD AL VIENTO - PROTECCIÓN A RAFAS
NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3

4.3.1 Esquemas de adaptación

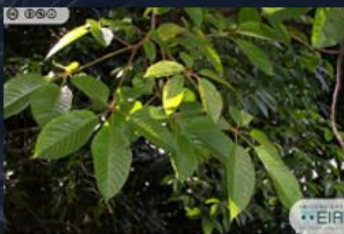
A continuación, se presentan los esquemas de adaptación de las especies analizadas anteriormente, estos esquemas se consideran principios de reacción a las limitantes climáticas que se desarrolla en el entorno. Estas reacciones se determinan como estrategias de adaptación para permitirle a la especie biológica subsistir en el medio.

Los esquemas se presentan en una tabla determinando el desafío y la función que realiza la planta, esto se representan mediante una estrategia como principio de reacción y se presentan la evidencia grafica del modelo biológico.

En el caso de la temperatura el desafío consistía, en evitar el calentamiento excesivo debido a la elevada insolación. Se presenta la primera estrategia como una barrera contra la radiación en similitud como lo realizan las edificaciones con la inercia térmica.

La segunda estrategia se basa en reflejar la radiación mediante a su composición fisiológica, y es por esto mismo que la geometría biológica, en algunas situaciones refleja la función que ejerce el organismo para responder a la limitación propuesta por los parámetros ambientales

Figura 71. Esquemas de adaptación a la Temperatura

TEMPERATURA	
Desafío	Función
Evitar el calentamiento excesivo debido a la elevada insolación	Protegerse del calor
Estrategia	Modelo biológico
Barrera contra la radiación 	Guayacán Amarillo 
Reflejar la radiación con su forma 	Azuceno 

El segundo esquema representa la adaptación en respuesta al factor limitante de la radiación

El desafío consiste en regular la actividad fotosintética de acuerdo con la diferente energía luminosa recibida, actuando en función de protección del calor.

Este desafío se resuelve mediante la estrategia de que las hojas de que ejercen la sombra en la parte alta de la copa son más delgadas y anchas para crear una barrera de protección que regule la radiación térmica que pueda llegar a afectar la especie.

Y la segunda estrategia representa la composición química del caucho que recubre sus hojas con una capa impermeable mediante un proceso químico en las temporadas de mayor

radiación térmica, actuando como un principio de bloqueador en la piel humana. Esto permite preservar la especie y adaptarse a las épocas más críticas.

Figura 72. Esquemas de adaptación a la Radiación



El tercer desafío se enfoca en los desafíos propuestos por la humedad, consiste en las épocas más calida generar una regulación abundante de recurso hídricos, y se genera mediante la función de intercambiar humedad con el ambiente.

Se presentan las estrategias mediante hojas con mayor densidad estomática, esto se explica mediante al aumento de poros dentro de la hoja que le permitan ejercer una mayor transpiración en las épocas de sequía, para adaptarse al entorno hostil.

Figura 73. Esquemas de adaptación Humedad

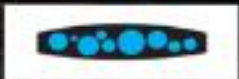
HUMEDAD	
Desafío	Función
Durante los meses cálidos regular abundantes recursos hídricos	Intercambiar humedad con el ambiente
Estrategia	Modelo biológico
Hojas con mayor densidad estomática, mayor cantidad de poros, para una mayor transpiración 	Gallinero 
Hojas como sistemas de almacenamiento de agua 	Sarrapio 

Figura 74. Esquemas de adaptación Ventilación

Ventilación			
Desafío		Función	
Durante los meses cálidos regular abundantes recursos hídricos		Intercambiar humedad con el ambiente	
Estrategia		Modelo biológico	
Hojas con mayor densidad estomática, mayor cantidad de poros, para una mayor transpiración		Búcaro	
 IMPERMEABILIZACIÓN FOLIAR		Gallinero	
Mantener la estabilidad en los nodos de sus hojas, principio de flexibilidad			

4.3 Fase 3 Arquitectónica

Una vez desarrolladas las etapas de exploración, abstracción y valoración, la implementación técnica concluye la metodología. La implementación técnica consiste en el desarrollo de los diseños conceptuales seleccionados previamente en forma de casos de diseño, su prototipado, la fabricación de los elementos a escala mediante la aplicación de tecnologías avanzadas, la validación del sistema y la evaluación de los resultados, mediante técnicas de medición ya establecidas en la industria.

Dentro de la categoría mecanismos dinámicos se consideran aquellas plantas que responden a estímulos externos a través del movimiento. La investigación se centra en aquellas plantas que son receptivas, es decir, que exhiben movimientos rápidos y reactivos en una escala de tiempo que podemos percibir, como respuesta a cambios en el medio que las rodea. Se estudian, por tanto, cómo las plantas reaccionan de manera específica a la luz, la temperatura, el agua o el dióxido de carbono en las diferentes condiciones climáticas definidas, a través de sus mecanismos dinámicos en las escalas macroscópica y microscópica.

Figura 75. Diseño adaptativo

PROCESOS		FUNCIONAMIENTO ADAPTATIVO	
 Recoger		Funcionamiento adaptativo dinámico	
 Filtrar			
  Ventilar			
 Difuminar			
 Refrigerar			
   Captar			Funcionamiento adaptativo estático
 Reflejar			
   Absorber			
  Almacenar			

Tomado de Naturalizando el diseño, López, (2018).

Generación de esquemas de diseños conceptuales: La generación de esquemas de diseños conceptuales es el último paso en el proceso de valoración, y es el paso previo a la implementación técnica. El diseño conceptual ejerce de conexión entre la síntesis obtenida tras la exploración de la información biológica y el desarrollo de un caso de estudio de envolvente. La generación de diseños conceptuales se aborda desde las funciones que la envolvente tiene que desarrollar para hacer frente a los desafíos de cada clima (López Marlén, 2018).

Figura 76. Desarrollo de la metodología



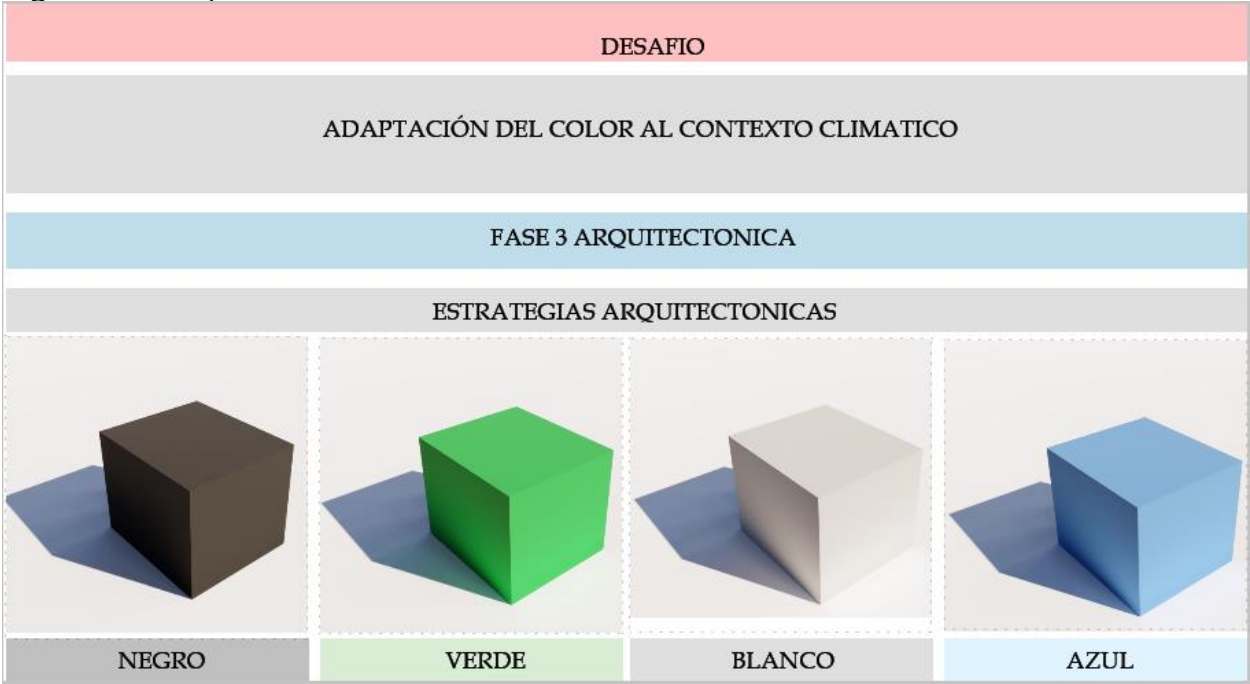
Estructura del desarrollo de la fase metodológica explicando en diagramas las tres fases y la continuidad y clasificación de datos de cada fase, para alcanzar el objetivo de una implementación arquitectónica.

4.3.1 Presentación de estrategias de adaptación

Figura 77. Estrategias arquitectónicas contra la radiación



Figura 78. Adaptación del color



La adaptación al medio mediante la implementación es un tema fundamental a la hora de implementar un color para una envolvente arquitectónica, por ello se determinó esta como una categoría para la elaboración de los esquemas arquitectónicos.

Figura 79. Estrategias de ventilación



Estomas como estrategias estáticas:

Por otro lado, las estomas son considerados estrategias estáticas (EE) debido a la gran variedad de morfologías en la superficie foliar alrededor de los poros estomáticos, como consecuencia directa de las adaptaciones funcionales a las condiciones ambientales. De acuerdo con los diferentes desafíos a los que se enfrentan las plantas según las diferentes zonas climáticas, las hojas han desarrollado diferentes morfologías estomáticas y en esta investigación son valoradas como la clave de sus adaptaciones al medio.

Figura 80. Esquemas de Materialidad



Estrategias de autosuficiencia:

Estrategia de recolección de aguas lluvias, para el almacenamiento de agua y la reutilización en baños y zonas de riego, también para la creación de turbinas mediante el uso de

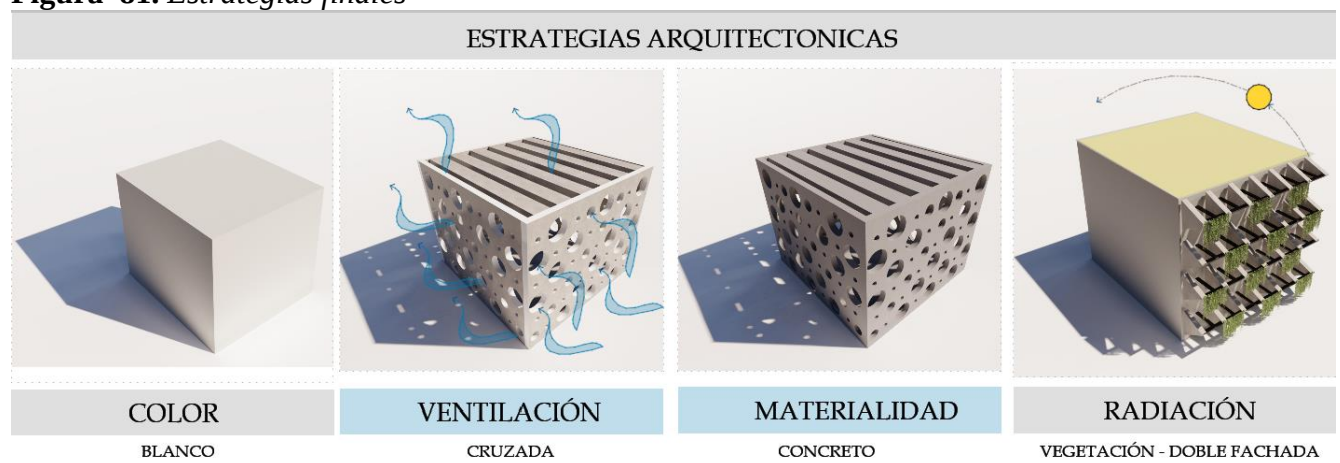
aspas con la caída de agua por gravedad, la regulación térmica en la fachada mediante el almacenamiento de agua.

Estrategia de sensores fotovoltaicos que reaccionan al movimiento según la influencia de la radiación solar, mediante la programación de un software para dar movimiento y protección a la fachada según la hora del día.

4.3.2 Clasificación de estrategias arquitectónicas

Una vez desarrolladas las estrategias arquitectónicas se procede a clasificarlas según su aporte de adaptación a las condiciones climáticas donde se implanta la envolvente arquitectónica, dando una respuesta directa a los desafíos como principios de estrategias de adaptación e implementación arquitectónica, para el desarrollo de un prototipo de envolvente.

Figura 81. Estrategias finales



Diseño adaptativo: en este caso la adaptabilidad se manifiesta a través de las características morfológicas en las envolventes arquitectónicas. Se trata de definir una serie de criterios estratégicos en las decisiones formales del diseño de la envolvente, como disposiciones y configuraciones, más que formas finales o fórmulas predeterminadas.

Se hace una recopilación final con los esquemas que generan una mayor adaptación al entorno, teniendo en cuenta los desafíos, de humedad, radiación, materialidad y color. Para que puedan ser implementados en un prototipo de envolvente que de respuesta a estas limitaciones logrando adaptarse eficazmente al medio. Junto a estos esquemas también se añade la implementación de estrategias de autosuficiencia energética como, la recolección de aguas lluvias, la implementación de tecnología y de sensores fotovoltaicos y el movimiento de la envolvente para generar una respuesta a lo largo del día.

5. Conclusiones

Revisión de la hipótesis de partida, el objetivo general de este proyecto investigativo radica en, Proponer estrategias generales para el diseño de una envolvente en la ciudad de Bucaramanga a partir de los principios de diseño biomimético.

Se determino en este camino como otra alternativa de propuesta de diseño arquitectónico, mediante el análisis de organismos vivos, en este caso de plantas. Se complejizo el análisis y el desarrollo de estas dinámicas, debido a que la biología es un área fuera de las capacidades de análisis arquitectónicas. Por este motivo se tuvo que recurrir al medio de una entrevista con un biólogo calificado, para permitir entender y desarrollar la información biológica.

Una vez fue desarrollado este medio, se facilitó el análisis de información biológica y con ello el desarrollo una metodología de clasificación en cada fase que recopilábamos información para depurar la información menos relevante y con ello continuar con el proceso de análisis de las especies.

Es importante resaltar que el objetivo final de este proyecto investigativo es desarrollar esta investigación como una herramienta de análisis biomimético para que futuras investigaciones la puedan implementar en otros contextos climáticos, pero permitiendo llegar a proponer estrategias de diseño para envolventes que sean mucho más interactivas con el entorno.

A lo largo de la investigación nos encontramos con múltiples dificultades, como el comprender la información, la limitación de recursos para obtener y desarrollar más propuestas y la limitación del tiempo, es un proyecto que se puede continuar desarrollando hasta lograr proponer diseños específicos de envolventes para casos de estudios que lo ameriten.

Referencias

- Arenas E. (2009). *Flora y Fauna* . https://es.wikipedia.org/wiki/Bucaramanga#Flora_y_fauna
- Becker Tobias. (2018). *Breathing Skins*. <https://www.tebe.berlin/innovation/>
- Chio J. (2017). ¿Sigue siendo Bucaramanga la ‘Ciudad de los Parques’?’ *Vanguardia Liberal* , 1. [https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/sigue-siendo-bucaramanga-la-ciudad-de-los-parques-DFVL405886#:~:text=Seg%C3%BAAn%20el%20Observatorio%20Metropolitano%2C%20Bucaramanga,%2C1%20m%C2%B2%2Fhab\).](https://www.vanguardia.com/area-metropolitana/bucaramanga/sigue-siendo-bucaramanga-la-ciudad-de-los-parques-DFVL405886#:~:text=Seg%C3%BAAn%20el%20Observatorio%20Metropolitano%2C%20Bucaramanga,%2C1%20m%C2%B2%2Fhab).)
- Estévez, A. (2008). *Arquitectura biodigital* .
file:///C:/Users/santi/OneDrive/Escritorio/TESIS/TESIS%20ENVOLVENTES/REFERENTES/Arquitectura_biodigital_y_genetica_adecu.pdf
- Estévez Alberto. (2018). *Arquitectura biodigital y genética*.
file:///C:/Users/santi/OneDrive/Escritorio/TESIS/TESIS%20ENVOLVENTES/REFERENTES/Arquitectura_biodigital_y_genetica_adecu.pdf
- Garrido L. (2019). *Manual de Arquitectura Ecológica* (ediciones de la U, Vol. 1).
- Iturbe, U. (2010). Adaptaciones y adaptación biológica, revisadas. *Evolución*.
<https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4266/ADAPTACION.pdf>
- J Marsh. (2023). *Andrew Marsh*. <https://andrewmarsh.com/>
- López Marlén, R. R. B. Á. (2018). *Naturalizando el diseño* [Tesis Doctoral]. Universidad de Oviedo.
- Medina, C. (2016). *Patrones de arquitectura ancestral y adaptación ecológica tairona en ciudad perdida*. <https://ciencia.lasalle.edu.co/arquitectura/664>

- Morado, C. (2022). *Herbáceas ornamentales para lugares soleados*.
<https://www.bucaramanga.gov.co/noticias/bucaramanga-ya-cuenta-con-un-catalogo-de-especies-nativas/>
- Morales, L. (2012). Arquitectura paramétrica aplicada en envolventes complejas con base en modelos de experimentación en el Diseño Arquitectónico. *Legado* , 23–34.
- Neri Oxman. (2019, June 8). *Neri Oxman y MIT desarrollan biocomposites programables para la fabricación digital*. SEED. <https://www.studioseed.net/blog/software-blog/parametric-generative-design-blog/grasshopper/neri-oxman-y-mit-desarrollan-biocomposites-programables-para-la-fabricacion-digital/>
- ONU. (2015, September 25). *Objetivos de Desarrollo Sostenible* .
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Pallasmaa, J. (2021). *Animales arquitectos*.
[file:///C:/Users/santi/OneDrive/Escritorio/TESIS/TESIS%20ENVOLVENTES/REFERENT ES/Animales-arquitectos-by-Juhani-Pallasmaa-_z-lib.org_.pdf](file:///C:/Users/santi/OneDrive/Escritorio/TESIS/TESIS%20ENVOLVENTES/REFERENT%20ES/Animales-arquitectos-by-Juhani-Pallasmaa-_z-lib.org_.pdf)
- Pereira B. (2022). *Estrategias Bioclimáticas para el espacio público urbano*.
- Pérez, M. (2016). *Fachadas Cinéticas*. <file:///C:/Users/santi/Downloads/A15.pdf>
- Pierre K. (2018, May 18). *El calentamiento que genera el aire acondicionado*.
<https://www.nytimes.com/es/2018/05/18/espanol/aire-acondicionado-calentamiento-global.html>
- Riechmann, J. (2003). *Biomímesis*. 28–31.
- Sierra, et ál. (2016). *Biomimesis y los servicios de los ecosistemas* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. <https://www.researchgate.net/publication/319623922>

- Trovato Graziella. (2007). *Des-velos. Autonomía de la envolvente en la arquitectura contemporánea* (1st ed., Vol. 1). https://www.akal.com/libro/des-velos_33869/
- Universidad EIA. (2023). *Catálogo Virtual de flora del Valle de Aburrá* .
<https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/species/37>
- Velasco, R. , y R. D. (2011). D. de eco envolventes. (2011). *Diseño de eco-envolventes*
[Universidad Piloto de Colombia]. www.ucatolica.edu.co