

**IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS DE DISEÑO PARAMÉTRICO PARA LA  
GENERACIÓN DE MODELOS DE OCUPACIÓN Y VIVIENDA FRENTE A AMENAZAS  
AMBIENTALES EN NARIÑO**



David Stiven Rosero Portillo  
Darío Fernando Parra Ramírez

Universidad de Nariño  
Facultad de Artes  
Programa de Arquitectura  
Pasto – Nariño – Colombia  
2023

**IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS DE DISEÑO PARAMÉTRICO PARA LA  
GENERACIÓN DE MODELOS DE OCUPACIÓN Y VIVIENDA FRENTE A AMENAZAS  
AMBIENTALES EN NARIÑO**



David Stiven Rosero Portillo  
Darío Fernando Parra Ramírez

Trabajo de Grado presentado para optar al título de Arquitecto

Asesores:

Jairo Andrés Chamorro Cabrera, Arquitecto  
Andrés Caicedo Guañarita, Arquitecto

Universidad de Nariño  
Facultad de Artes  
Programa de Arquitectura  
Pasto – Nariño – Colombia  
2023

**Nota de Responsabilidad:**

“Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva de los autores”.

Artículo 1. Del acuerdo Número 324 del 11 de octubre de 1966, emanado por el honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Todos los derechos.

**Nota de Aceptación:**

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad de Nariño para optar al título de Arquitecto.

---

**Jurado Arq. Ximena Rosero Guerrero**

---

**Jurado Arq. Christian Narvárez Valencia**

---

**Jurado Arq. César Fuertes Santander**

**Fecha de sustentación:**

**San Juan de Pasto, 19 abril de 2023**

## **Dedicatoria**

Quiero dedicar este logro a toda mi familia que siempre me apoyó en mi formación como arquitecto y como persona, a mis compañeros con quienes a lo largo de cada semestre he tenido la oportunidad de trabajar en cada proyecto y también a todos y cada uno de mis docentes que han sido fundamentales en la enseñanza y acompañamiento de todo este enriquecedor proceso.

Hago un agradecimiento especial a mi madre Mireya Portillo, quien con mucho esfuerzo me permitió salir adelante y estudiar esta carrera para poder convertirme en profesional. Ella fue mi mayor motivación y apoyo durante todos estos años de formación académica, aconsejándome en los momentos difíciles y siendo testigo de la dedicación y el empeño que he dispuesto a lo largo de todo este camino.

**David Stiven Rosero Portillo**

## **Dedicatoria**

Esta investigación está dedicada a mis padres Gloria Ramirez y Eduardo Parra quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades.

A mis hermanos Daniel, Constanza y Diego por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A Maria Florencia Obando Paz por ser un pilar fundamental para este y muchos otros logros. Por último al M. Eng. David Andres Calvache Muñoz por su ejemplo y guía académica y laboral, por la confianza depositada y la amistad creada en torno a nuestras disciplinas.

**Darío Fernando Parra Ramírez**

## **Agradecimientos**

A nuestros docentes Andrés Caicedo y Jairo Chamorro por brindarnos el espacio de la Profundización en Diseño Computacional y Fabricación Digital como enfoque para poder llevar a cabo nuestro trabajo de grado, a través de una temática muy innovadora y enriquecedora para nuestras vidas como profesionales. Les agradecemos por su acompañamiento y asesorías, por permitirnos conocer una visión totalmente diferente de la Arquitectura y por traer espacios como estos a nuestra Universidad de Nariño.

## Resumen

Desde hace años el desarrollo de la práctica de la arquitectura y el urbanismo en Colombia se ha visto subordinado a métodos, tanto de diseño, como constructivos, que responden a un contexto social muy apartado de lo que vivimos en la actualidad. Han sido países de primer mundo aquellos que de alguna manera han llevado a cabo procesos de vanguardia que tratan de adaptarse a las necesidades de la sociedad contemporánea, pero si lo llevamos a nuestro contexto, la situación es totalmente diferente. Día a día se siguen construyendo nuevos proyectos con técnicas aplicadas hace más de 50 años, que para su tiempo fueron exitosas, pero que se quedan cortas para lo que realmente deberíamos estar haciendo en nuestro medio actual.

Estilos como el movimiento moderno y el posmodernismo han quedado atrás como un modo de reflejar la sociedad fordista y sus procesos de producción en masa. Son estilos propios a su época, pero que no son óptimos para solventar las necesidades actuales. Nuestro medio y la sociedad en general avanza muy rápidamente, y de la misma forma debería estar avanzando la arquitectura. La implementación de herramientas tecnológicas son indispensables para el desarrollo de nuestra práctica, y es por esto que, un nuevo estilo arquitectónico que tenga en cuenta todos los suministros que la evolución nos ha brindado es indispensable.

De esta manera es como surge el parametricismo, como el nuevo gran estilo destinado a ser el sucesor de la arquitectura moderna, y el único capaz de reflejar en su totalidad a la sociedad posfordista, a través de su alternativa de diseño, como lo es el diseño paramétrico, el cual implementa las herramientas computacionales como su principal motor, siendo capaz de cuantificar en valores numéricos cualquier tipo de variable interna o externa que pueda llegar a afectar los proyectos.

El diseño paramétrico puede ser aplicado en varias escalas y en diferentes ramas del diseño. Desde el diseño industrial, hasta el urbanismo, pasando por el diseño de modas y el diseño arquitectónico, siendo este último su énfasis principal. El arquitecto entonces, pasa de ser una entidad que resuelve los proyectos desde su perspectiva, a ser más un programador capaz de traducir cualquier variable a un lenguaje que el computador logre entender. Este lenguaje es conocido como código, que a su vez va a contener algoritmos, los cuales de una manera más simplificada vendrían a ser el mensaje o el conjunto de reglas que queremos que el software procese y aplique sobre nuestro proyecto.

En Colombia son muy pocas las universidades que profundizan en estos temas y dan paso a la innovación y aplicación de la vanguardia a los procesos académicos de los estudiantes de arquitectura, y esta podría ser la razón que justifique las técnicas convencionales tanto de diseño como constructivas que aún se llevan a cabo en nuestro medio. A pesar de esto, la aplicación de técnicas de diseño paramétrico y el enriquecimiento teórico acerca del parametricismo en la Universidad de Nariño y su programa de arquitectura, es posible gracias a la opción de Trabajo de Grado modalidad ‘Profundización en Diseño Computacional y Fabricación Digital’, la cual se convierte en una asignatura que brinda la capacidad de adquirir nuevos conocimientos en cuanto a los avances se llevan a cabo en la práctica de la arquitectura y se propone como un área de investigación y exploración enfocado a procesos de diseño con herramientas tecnológicas.

El trabajo investigativo denominado ‘Implementación de herramientas de diseño paramétrico para la generación de modelos de ocupación y vivienda frente a amenazas ambientales en Nariño’ tiene como fin llevar a cabo una exploración de herramientas basadas en el diseño paramétrico, mediante las cuales se obtenga una solución óptima acerca de una de las mayores problemáticas que afectan a nuestro departamento, como lo son las amenazas naturales. De esta manera se busca aplicar diferentes conceptos teóricos y prácticos adquiridos a lo largo de la profundización para finalmente obtener soluciones adaptativas a diferentes escalas: Una escala macro, en la cual se generen diversos fenotipos o soluciones de modelos de ocupación, y una escala micro en la cual se generen diversos fenotipos o soluciones de viviendas adaptativas a las condiciones del lugar. Tras la obtención de estos fenotipos se llevará a cabo una evaluación y posterior selección del modelo óptimo tanto de vivienda como de modelo de ocupación aplicados en diferentes lugares y con distintas condiciones y amenazas, para evidenciar de forma más clara la aplicación y respuesta adaptativa que brinda este proceso de diseño.

**Palabras Clave:** Parametricismo, Diseño Paramétrico, Diseño Computacional, Fabricación Digital, Algoritmo, Fenotipo, Modelo de Ocupación.

## Abstract

For years, the development of the practice of architecture and urbanism in Colombia has been subordinated to methods, both design and construction, which respond to a social context far removed from what we live in today. First world countries have been those that have somehow carried out avant-garde processes that somehow try to adapt to the needs of contemporary society, but if we take it to our context, the situation is totally different. Day by day, new projects continue to be built with techniques applied more than 50 years ago, which were successful for their time, but fall short of what we really should be doing in our current environment.

Styles like the modern movement and postmodernism have been left behind as a way of reflecting on Fordist society and its mass production processes. They are styles typical of their time, but they are not optimal to meet current needs. Our environment and society in general are advancing very quickly, and architecture should be advancing in the same way. The implementation of technological tools are essential for the development of our practice, and that is why a new architectural style that takes into account all the supplies that evolution has given us is essential.

This is how parametricism emerges, as the new great style destined to be the successor to modern architecture, and the only one capable of fully reflecting post-fordist society, through its design alternative, such as the parametric design, which implements computational tools as its main engine, being able to quantify in numerical values any type of internal or external variable that may affect projects.

Parametric design can be applied at various scales and in different branches of design, from industrial design to urban planning, through fashion design and architectural design, the latter being its main emphasis. The architect then goes from being an entity that solves the projects from his perspective, to being more of a programmer capable of translating any variable into a language that the computer can understand. This language is known as code, which in turn will contain algorithms, which in a more simplified way would become the message or set of rules that we want the software to process and apply to our project.

In Colombia, there are very few universities that delve into these issues and give way to innovation and avant-garde application to the academic processes of architecture students, and this could be the reason that justifies the techniques used in both design and construction that still take place in our midst. Despite this, the application of parametric design techniques and the theoretical enrichment about parametricism at the University of Nariño and its architecture program, is possible thanks to the Graduate Work option modality "Deepening in Computational Design and Digital Fabrication", which becomes a subject that provides the ability to acquire new knowledge in terms of advances in the practice of architecture and is proposed as an area of research and exploration focused on design processes with technological tools.

The investigative work called "Implementation of parametric design tools for the generation of occupation and housing models against environmental threats in Nariño" aims to carry out an exploration of tools based on parametric design, through which a solution is obtained. Optima about one of the biggest problems that arise in our department, such as natural threats. In this way, it seeks to apply different theoretical and practical concepts acquired throughout the study to finally obtain adaptive models at different scales: A macro scale, in which various phenotypes or occupancy solutions are generated, and a micro scale in which various phenotypes or housing solutions adaptive to the conditions of the place are generated. After obtaining these phenotypes, an evaluation and subsequent selection of the optimal model of both housing and occupation model applied in different places and with different conditions and threats will be carried out, to more clearly demonstrate the application and adaptive response that this design process provides.

**Keywords:** Parametricism, Parametric Design, Computational Design, Digital Fabrication, Algorithm, Phenotype, Occupation Model.

## Tabla de Contenido

<b>Resumen .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>X</b>
<b>Tabla de Contenido .....</b>	<b>XII</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>XVII</b>
<b>Lista de Cuadros .....</b>	<b>XXIII</b>
<b>Lista de Anexos .....</b>	<b>XXIV</b>
<b>Glosario .....</b>	<b>XXV</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>28</b>
<b>2. Problema .....</b>	<b>29</b>
<b>3. Objetivos .....</b>	<b>31</b>
3.1. Objetivo General .....	31
3.2. Objetivos Específicos .....	31
<b>4. Justificación .....</b>	<b>32</b>
<b>5. Marco Teórico .....</b>	<b>33</b>
5.1. Asignatura de trabajo de grado opción profundización .....	33
5.2. Marco Histórico .....	33
5.2.1. Arquitectura y temporalidad .....	33
5.2.2. Fordismo .....	34
5.2.2.1. <i>Estilo Moderno</i> .....	35
5.2.3. Posfordismo .....	38
5.2.3.1. <i>Subestilos transitorios de vanguardia</i> .....	39

5.2.3.1.1 <i>Funcionalismo</i> .....	40
5.2.3.1.2 <i>Organicismo</i> .....	41
5.2.3.1.3 <i>Brutalismo</i> .....	41
5.2.3.1.4 <i>Metabolismo</i> .....	42
5.2.3.1.5 <i>Posmodernismo</i> .....	42
5.2.3.1.6 <i>High Tech</i> .....	43
5.2.3.1.7 <i>Deconstructivismo</i> .....	44
5.2.4 <i>Parametricismo</i> .....	44
5.2.4.1 <i>Parametricismo como nuevo estilo global</i> .....	46
5.2.4.2 <i>Heurísticas negativas (tabúes)</i> .....	47
5.2.4.3 <i>Heurísticas positivas (dogmas)</i> .....	47
5.2.4.4 <i>Principios del modernismo vs parametricismo</i> .....	48
5.2.4.4.1 <i>Principios del modernismo</i> .....	48
5.2.4.4.2 <i>Principios del parametricismo</i> .....	48
5.2.4.5 <i>Subestilos del Parametricismo</i> .....	48
5.2.4.5.1 <i>Foldism (Plegamiento)</i> .....	49
5.2.4.5.2 <i>Blobism (Blobismo)</i> .....	49
5.2.4.5.3 <i>Swarmism (Enjambre)</i> .....	50
5.2.4.5.4 <i>Tectonism (Tectonismo)</i> .....	51
5.2.5 <i>Diseño paramétrico</i> .....	51
5.2.6 <i>Arquitectura en la era de la producción digital</i> .....	52
5.2.7 <i>Diseño computacional y fabricación digital</i> .....	53

5.2.8 Informatización y computación .....	54
5.2.9 Computación en la práctica arquitectónica .....	56
5.2.10 Rendimiento informático y simulación .....	56
5.2.11 Fabricación y construcción computacional .....	58
5.2.12 La computación como una forma de arte integrado .....	59
5.2.13 Computación de materiales .....	60
5.3 Marco Conceptual .....	62
5.3.1 Autopoiesis de la Arquitectura .....	62
5.3.2 Sistemas Sociales de Luhmann .....	64
5.3.3 Sistemas Top Down y Bottom Up .....	64
5.3.4 Autoorganización .....	65
5.3.5 Emergencia .....	66
5.3.6 Parametricismo y estructuras fractales en la arquitectura vernácula .....	67
5.3.7 Vivienda de Emergencia .....	72
5.3.8 Domos Geodésicos .....	74
5.3.9 Arquitectura Biomimética .....	76
5.3.10 Arquitectura dirigida por eventos .....	77
5.3.11 Atractores .....	77
5.3.12 Modelo Basado en Agentes .....	78
5.3.13 Hilos Húmedos .....	79
5.3.14 Metaballs .....	79
5.3.15 Optimización Estructural .....	80

<b>6. Metodología .....</b>	<b>81</b>
<b>7. Desarrollo .....</b>	<b>83</b>
7.1 Clasificación y Valoración por Amenazas .....	83
7.2 Aplicación de la metodología .....	86
7.2.1 Geolocalización .....	86
7.2.2 Análisis Topográfico .....	90
7.2.2.1 Análisis de Pendientes .....	90
7.2.2.2 Análisis de Concavidades .....	91
7.2.2.3 Análisis de Elevaciones .....	92
7.2.2.4 Análisis de Visuales .....	93
7.2.2.5 Análisis de Escorrentías .....	93
7.2.3 Análisis de Amenazas .....	95
7.2.3.1 Franjas de Protección .....	95
7.2.3.2 Áreas de Protección .....	96
7.2.3.3 Franjas de Vegetación .....	97
7.2.3.4 Zonas de Inundación .....	98
7.2.3.5 Selección de Terrenos por Pendientes .....	99
7.2.3.6 Selección de Áreas de Implantación .....	100
7.2.4 Modelos de Ocupación .....	101
7.2.5 Agrupaciones de viviendas .....	109
7.2.6 Prototipo de viviendas .....	111
7.2.6.1 Componentes de la vivienda .....	111

7.2.6.1.1 Cimentación .....	112
7.2.6.1.2 Entrepiso .....	112
7.2.6.1.3 Cerramiento .....	113
7.2.6.1.4 Cubierta .....	114
7.2.6.2 Materialidad .....	114
7.2.6.3 Respuesta Bioclimática. ....	115
7.2.6.3.1 Radiación. ....	116
7.2.6.3.2 Convección .....	117
7.2.6.3.3 Conducción .....	118
7.2.7 Análisis Bioclimático .....	119
7.2.7.1 Temperatura .....	120
7.2.7.2 Humedad Relativa .....	120
7.2.7.3 Velocidad del Viento .....	121
7.2.7.4 Radiación solar directa .....	122
7.2.7.5 Rosa de Vientos .....	123
7.2.7.6 Carta Solar .....	124
7.2.8 Código de modelos de vivienda. ....	125
7.2.9 Resultados de modelos de vivienda. ....	130
<b>8. Conclusiones .....</b>	<b>136</b>
<b>9. Recomendaciones .....</b>	<b>137</b>
<b>10. Referentes Bibliográficos .....</b>	<b>138</b>
<b>11. Anexos .....</b>	<b>142</b>

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Producción Fordista</i> .....	<b>35</b>
<b>Figura 2.</b> <i>Le Corbusier – Villa Savoye</i> .....	<b>36</b>
<b>Figura 3.</b> <i>Le Corbusier - Ville Radieuse</i> .....	<b>37</b>
<b>Figura 4.</b> <i>Zonificación de Brasilia</i> .....	<b>38</b>
<b>Figura 5.</b> <i>Demolición del complejo Pruitt – Igoe de San Luis</i> .....	<b>40</b>
<b>Figura 6.</b> <i>Arne Jacobsen - Bellavista Klampenborg</i> .....	<b>40</b>
<b>Figura 7.</b> <i>Frank Lloyd Wright - Casa de la Cascada</i> .....	<b>41</b>
<b>Figura 8.</b> <i>Biblioteca Geisel</i> .....	<b>41</b>
<b>Figura 9.</b> <i>Nakagin Capsule Tower</i> .....	<b>42</b>
<b>Figura 10.</b> <i>Arata Isozaki - Team Disney Building</i> .....	<b>43</b>
<b>Figura 11.</b> <i>Richard Rogers - Edificio Lloyd's</i> .....	<b>43</b>
<b>Figura 12.</b> <i>Frank Gehry - Museo Guggenheim de Bilbao, España</i> .....	<b>44</b>
<b>Figura 13.</b> <i>Estética del parametricismo</i> .....	<b>45</b>
<b>Figura 14.</b> <i>Centro Heydar Aliyev en Bakú, Azerbaiyán</i> .....	<b>46</b>
<b>Figura 15.</b> <i>Urbanismo Paramétrico</i> .....	<b>46</b>
<b>Figura 16.</b> <i>Glasgow Museum of Transport Riverside - Zaha Hadid Architects</i> .....	<b>49</b>
<b>Figura 17.</b> <i>Galaxy SOHO - Zaha Hadid Architects</i> .....	<b>50</b>
<b>Figura 18.</b> <i>Kartal-Pendik Masterplan, Istanbul, Turkey, 2006</i> .....	<b>50</b>
<b>Figura 19.</b> <i>CIAB Pavilion</i> .....	<b>51</b>
<b>Figura 20.</b> <i>Logo de Rhinoceros</i> .....	<b>52</b>
<b>Figura 21.</b> <i>Logo de Grasshopper</i> .....	<b>52</b>

<b>Figura 22.</b> <i>Alicia Nahmad - La Masonry Domino</i> .....	<b>54</b>
<b>Figura 23.</b> <i>Foster + Partners - Centro de Entretenimiento Khan Shatyr</i> .....	<b>55</b>
<b>Figura 24.</b> <i>Código de grasshopper</i> .....	<b>55</b>
<b>Figura 25.</b> <i>Aedas - Lè Architecture</i> .....	<b>56</b>
<b>Figura 26.</b> <i>Foster + Partners - Smithsonian Institution</i> .....	<b>57</b>
<b>Figura 27.</b> <i>Sustainability Pavilion - Grimshaw</i> .....	<b>58</b>
<b>Figura 28.</b> <i>Terminal 3 del Aeropuerto Internacional de Bao'an, Shenzhen, China</i> .....	<b>60</b>
<b>Figura 29.</b> <i>Achim Menges - Pabellón robótico para V&amp;A</i> .....	<b>60</b>
<b>Figura 30.</b> <i>Estructura de los escarabajos replicada en fibras de carbono</i> .....	<b>61</b>
<b>Figura 31.</b> <i>Robots sincronizados de filamentos de alas sin núcleo</i> .....	<b>62</b>
<b>Figura 32.</b> <i>Proceso de mitosis en una célula</i> .....	<b>63</b>
<b>Figura 33.</b> <i>Bandada de aves</i> .....	<b>65</b>
<b>Figura 34.</b> <i>Bandada de peces</i> .....	<b>65</b>
<b>Figura 35.</b> <i>Moho de fango</i> .....	<b>66</b>
<b>Figura 36.</b> <i>Fractales en la naturaleza</i> .....	<b>67</b>
<b>Figura 37.</b> <i>Pueblo de Bai-la, Zambia</i> .....	<b>68</b>
<b>Figura 38.</b> <i>Representación en planta del Pueblo Bai-la</i> .....	<b>68</b>
<b>Figura 39.</b> <i>Logone Birni, Camerún</i> .....	<b>69</b>
<b>Figura 40.</b> <i>Viviendas Musgum, Camerún</i> .....	<b>69</b>
<b>Figura 41.</b> <i>Vista en planta de las viviendas Musgum, Camerún</i> .....	<b>70</b>
<b>Figura 42.</b> <i>Vista en Corte de las viviendas Musgum, Camerún</i> .....	<b>70</b>
<b>Figura 43.</b> <i>Viviendas Trulli Pugliese, en Italia</i> .....	<b>71</b>

<b>Figura 44.</b> <i>Esquema de las viviendas</i> .....	71
<b>Figura 45.</b> <i>Viviendas de emergencia en madera para damnificados por sismos</i> .....	72
<b>Figura 46.</b> <i>Refugios plegables de bambú en China</i> .....	73
<b>Figura 47.</b> <i>Vivienda impresa en Italia a cargo de Mario Cucinella Architects</i> .....	73
<b>Figura 48.</b> <i>Vivienda geodésica en madera</i> .....	74
<b>Figura 49.</b> <i>Vivienda geodésica con estructura en acero</i> .....	75
<b>Figura 50.</b> <i>Estructura de un Fullerenó</i> .....	75
<b>Figura 51.</b> <i>Hygroscope - Centro pompidou</i> .....	76
<b>Figura 52.</b> <i>Fachada de las torres Al Bahar en Abu Dhabi</i> .....	77
<b>Figura 53.</b> <i>Punto Atractor en Grasshopper</i> .....	78
<b>Figura 54.</b> <i>Modelo basado en agentes</i> .....	78
<b>Figura 55.</b> <i>Hilos Húmedos</i> .....	79
<b>Figura 56.</b> <i>Metaballs</i> .....	80
<b>Figura 57.</b> <i>Proceso de Optimización Topológica</i> .....	80
<b>Figura 58.</b> <i>Metodología de Trabajo</i> .....	81
<b>Figura 59.</b> <i>Zonas susceptibles a inundación</i> .....	83
<b>Figura 60.</b> <i>Zonas de amenaza sísmica</i> .....	84
<b>Figura 61.</b> <i>Zonas susceptibles a deslizamientos</i> .....	85
<b>Figura 62.</b> <i>Localización de Barbacoas en Nariño, Colombia</i> .....	87
<b>Figura 63.</b> <i>Sitio de trabajo en Barbacoas</i> .....	87
<b>Figura 64.</b> <i>Localización de Pasto en Nariño, Colombia</i> .....	88
<b>Figura 65.</b> <i>Sitio de trabajo en Pasto</i> .....	88

<b>Figura 66.</b> <i>Localización de Tumaco en Nariño, Colombia</i> .....	<b>89</b>
<b>Figura 67.</b> <i>Sitio de trabajo en Tumaco</i> .....	<b>89</b>
<b>Figura 68.</b> <i>Código para el análisis topográfico</i> .....	<b>90</b>
<b>Figura 69.</b> <i>Logo del plugin Bison</i> .....	<b>91</b>
<b>Figura 70.</b> <i>Análisis de pendientes</i> .....	<b>91</b>
<b>Figura 71.</b> <i>Análisis de concavidades</i> .....	<b>92</b>
<b>Figura 72.</b> <i>Análisis de elevaciones</i> .....	<b>92</b>
<b>Figura 73.</b> <i>Análisis de visuales</i> .....	<b>93</b>
<b>Figura 74.</b> <i>Logo del plugin Anemone</i> .....	<b>94</b>
<b>Figura 75.</b> <i>Análisis de escorrentías</i> .....	<b>94</b>
<b>Figura 76.</b> <i>Código para el análisis de amenazas</i> .....	<b>95</b>
<b>Figura 77.</b> <i>Logo del plugin Pufferfish</i> .....	<b>95</b>
<b>Figura 78.</b> <i>Franjas de protección</i> .....	<b>96</b>
<b>Figura 79.</b> <i>Áreas de protección</i> .....	<b>97</b>
<b>Figura 80.</b> <i>Franjas de vegetación</i> .....	<b>98</b>
<b>Figura 81.</b> <i>Logo del plugin Parakeet</i> .....	<b>98</b>
<b>Figura 82.</b> <i>Zonas de inundación</i> .....	<b>99</b>
<b>Figura 83.</b> <i>Selección por pendientes</i> .....	<b>99</b>
<b>Figura 84.</b> <i>Logo del plugin Weaverbird</i> .....	<b>100</b>
<b>Figura 85.</b> <i>Áreas de implantación</i> .....	<b>100</b>
<b>Figura 86.</b> <i>Ocupación Urbana en Barbacoas, Nariño</i> .....	<b>101</b>
<b>Figura 87.</b> <i>Código escala macro</i> .....	<b>102</b>

<b>Figura 88.</b> <i>Logo del plugin Kangaroo</i> .....	<b>102</b>
<b>Figura 89.</b> <i>Fenotipos de modelos de ocupación en Barbacoas</i> .....	<b>103</b>
<b>Figura 90.</b> <i>Fenotipos de modelos de ocupación en Pasto</i> .....	<b>104</b>
<b>Figura 91.</b> <i>Fenotipos de modelos de ocupación en Tumaco</i> .....	<b>105</b>
<b>Figura 92.</b> <i>Proceso de agrupación y conexión en Barbacoas</i> .....	<b>106</b>
<b>Figura 93.</b> <i>Proceso de agrupación y conexión en Pasto</i> .....	<b>107</b>
<b>Figura 94.</b> <i>Proceso de agrupación y conexión en Tumaco</i> .....	<b>108</b>
<b>Figura 95.</b> <i>Vista en planta de los modelos de ocupación resultantes</i> .....	<b>109</b>
<b>Figura 96.</b> <i>Perspectivas de los modelos de ocupación resultantes</i> .....	<b>109</b>
<b>Figura 97.</b> <i>Renders de los modelos de ocupación resultantes</i> .....	<b>109</b>
<b>Figura 98.</b> <i>Código Meso - Agrupaciones de Metaballs</i> .....	<b>110</b>
<b>Figura 99.</b> <i>Vivienda Multifamiliar</i> .....	<b>110</b>
<b>Figura 100.</b> <i>Vista en planta de vivienda multifamiliar</i> .....	<b>110</b>
<b>Figura 101.</b> <i>Prototipo de vivienda</i> .....	<b>111</b>
<b>Figura 102.</b> <i>Componentes de la vivienda</i> .....	<b>112</b>
<b>Figura 103.</b> <i>Detalle de Cerramiento</i> .....	<b>113</b>
<b>Figura 104.</b> <i>Prototipo de vivienda</i> .....	<b>114</b>
<b>Figura 105.</b> <i>Detalle estructural de los nodos de conexión</i> .....	<b>115</b>
<b>Figura 106.</b> <i>Paneles fenólicos abiertos</i> .....	<b>116</b>
<b>Figura 107.</b> <i>Paneles fenólicos cerrados</i> .....	<b>117</b>
<b>Figura 108.</b> <i>Ventilación de las viviendas</i> .....	<b>118</b>
<b>Figura 109.</b> <i>Logo del plugin Ladybug Tools</i> .....	<b>119</b>

<b>Figura 110.</b> <i>Código para el análisis bioclimático</i> .....	119
<b>Figura 111.</b> <i>Variaciones en la Temperatura</i> .....	120
<b>Figura 112.</b> <i>Variaciones en la Humedad Relativa</i> .....	121
<b>Figura 113.</b> <i>Variaciones en la Velocidad del Viento</i> .....	122
<b>Figura 114.</b> <i>Variaciones en la Radiación Solar Directa</i> .....	122
<b>Figura 115.</b> <i>Rosa de Vientos</i> .....	123
<b>Figura 116.</b> <i>Carta Solar</i> .....	124
<b>Figura 117.</b> <i>Fenotipos de conexiones estructurales</i> .....	125
<b>Figura 118.</b> <i>Fenotipos de paneles externos</i> .....	126
<b>Figura 119.</b> <i>Fenotipos de paneles internos</i> .....	127
<b>Figura 120.</b> <i>Fenotipos de losas</i> .....	128
<b>Figura 121.</b> <i>Fenotipos de pilares por diámetro</i> .....	129
<b>Figura 122.</b> <i>Fenotipos de pilares por longitud</i> .....	130
<b>Figura 123.</b> <i>Modelo de vivienda para Barbacoas</i> .....	131
<b>Figura 124.</b> <i>Vista aérea de vivienda en Barbacoas</i> .....	131
<b>Figura 125.</b> <i>Vista interna de viviendas en Barbacoas</i> .....	132
<b>Figura 126.</b> <i>Modelo de vivienda para Pasto</i> .....	132
<b>Figura 127.</b> <i>Vista aérea de vivienda en Pasto</i> .....	133
<b>Figura 128.</b> <i>Vista interna de viviendas en Pasto</i> .....	133
<b>Figura 129.</b> <i>Modelo de vivienda para Tumaco</i> .....	134
<b>Figura 130.</b> <i>Vista aérea de vivienda en Tumaco</i> .....	134
<b>Figura 131.</b> <i>Vista interna de viviendas en Tumaco</i> .....	135

**Lista de Cuadros**

<b>Cuadro 1.</b> <i>Fordismo vs Posfordismo</i> .....	<b>39</b>
<b>Cuadro 2.</b> <i>Matriz de Amenazas Naturales</i> .....	<b>86</b>
<b>Cuadro 3.</b> <i>Matriz Ambiental de Campos de Trabajo</i> .....	<b>86</b>

**Lista de Anexos**

<b>Anexo 1.</b> <i>Códigos</i> .....	<b>142</b>
<b>Anexo 2.</b> <i>Memorias</i> .....	<b>142</b>
<b>Anexo 3.</b> <i>Plugins</i> .....	<b>142</b>
<b>Anexo 4.</b> <i>Presentación</i> .....	<b>142</b>
<b>Anexo 5.</b> <i>Videos</i> .....	<b>142</b>

## Glosario

**Adaptabilidad:** Capacidad de responder adecuadamente a las exigencias del entorno.

**Algoritmo:** Conjunto ordenado de instrucciones o reglas definidas y finitas que permite hacer un cálculo y hallar la solución a determinados problemas, a través de instrucciones que de manera metódica permiten llegar a un resultado final.

**Atractor:** Conjunto de valores numéricos hacia los cuales un sistema tiende a evolucionar, dada una gran variedad de condiciones iniciales en el sistema. Es utilizado comúnmente para dar paso a una afectación de un sistema más grande y provocar en éste una diferenciación continua.

**Autoorganización:** Proceso en el que un sistema complejo se organiza espontáneamente sin la intervención de un control centralizado.

**Código:** Conjunto de elementos que se combinan siguiendo ciertas reglas y que son semánticamente interpretables, lo cual permite intercambiar información.

**Congenialidad:** Relación mutua entre dos o más factores que se integran como uno solo.

**Correlación:** Correspondencia o relación recíproca entre dos o más acciones o fenómenos.

**Diseño Paramétrico:** Proceso proyectual caracterizado por la interrelación de variables de diseño (parámetros) a través de herramientas de diseño computacional.

**Diseño Top Down:** El diseño de arriba hacia abajo, es una estrategia de diseño de manera lineal y centralizada, en la cual el diseñador es quien toma decisiones directas sobre el proyecto y su forma.

**Diseño Bottom Up:** El diseño de abajo hacia arriba, es una estrategia de diseño de manera descentralizada y auto-organizada, en donde las interacciones entre múltiples individuos surgen de forma autónoma y dan paso a sistemas más complejos sin la intervención directa del diseñador.

**Eficiencia:** Capacidad para realizar o cumplir adecuadamente una función con la menor cantidad de recursos posible.

**Emergencia:** Patrones o comportamientos complejos en un sistema que surgen de la interacción de sus componentes individuales y que no pueden ser explicados por el comportamiento de cada componente por separado.

**Fenotipo:** Es la expresión en forma física de las características de un individuo. En diseño se refiere a los resultados formales que arroja esa interacción de información inicial.

**Flexibilidad:** Capacidad para adaptarse con facilidad a las diversas circunstancias o para acomodar las normas a las distintas situaciones o necesidades.

**Fractal:** Es un objeto geométrico cuya estructura básica, fragmentada o aparentemente irregular, se repite a diferentes escalas.

**Genotipo:** Es la información básica que conforma a un individuo. Este término es utilizado dentro del diseño paramétrico para referirse a la información inicial que define un proyecto y que dará paso a múltiples resultados.

**Hilos Húmedos:** Técnica utilizada por el arquitecto e ingeniero alemán Frei Otto para crear modelos de caminos y senderos curvos.

**Mainstream:** También denominado Corriente Principal, se refiere a la arquitectura tradicional o mayormente aceptada en el medio.

**Método:** Modo ordenado y sistemático de proceder para llegar a un resultado o fin determinado.

**Metodología:** Conjunto de procedimientos para dar respuesta a los problemas y objetivos de una investigación.

**Modelo Basado en Agentes:** Técnica de modelado y simulación basado en la creación de modelos individuales de agentes que interactúan entre sí y con su entorno, permitiendo simular cómo los agentes se comportan y cómo cambian las interacciones con el tiempo.

**Modelo de Ocupación:** Busca definir el crecimiento y la expansión urbana que debe seguir un territorio para garantizar la adecuada localización y distribución espacial de las actividades determinadas por un conjunto de variables ambientales.

**Morfogénesis:** (forma + creación, “origen de la forma”) es el proceso biológico que lleva a que un organismo desarrolle su forma.

**Morfo genética:** Es cuando se parte de un arquetipo inicial que compone el genoma del objeto, el cual será posteriormente sometido a alteraciones que innovarán en su forma.

**Parametricismo:** Estilo arquitectónico de vanguardia promovido como sucesor de la arquitectura moderna y posmoderna.

**Parámetro:** Es una variable cuyo valor se fija a voluntad, los cuales permiten evaluar o valorar una situación en particular.

**Personalización:** Adaptar algo según la característica o el gusto de una persona y conferir algo en un carácter del individuo.

**Prefabricación:** Proceso constructivo mediante el cual se incorporan a la construcción, crecientemente, diferentes elementos pre-terminados, fabricados antes de su montaje en obra y fuera de ésta.

**Vanguardia:** Arquitectura que impulsa la investigación y creación de nuevas alternativas de diseño.

## 1. Introducción

El programa de Arquitectura de la Universidad de Nariño, a través de la Profundización en Diseño Computacional y Fabricación Digital, brinda un espacio para la investigación y aplicación de nuevas propuestas enfocadas en la arquitectura de vanguardia, más específicamente en el parametricismo y el diseño paramétrico, abordando conceptos teóricos y prácticos que finalmente se ven reflejados en proyectos propios del estudiante. Este tipo de espacios o asignaturas son muy escasos en las facultades de arquitectura a nivel nacional, que por lo general se enfocan en metodologías de diseño convencionales y no exponen un panorama más amplio sobre los avances y nuevas técnicas que han surgido en nuestro medio.

Es por esta razón que se destaca la importancia de la profundización y por medio de este documento y el trabajo desarrollado en la “Implementación de herramientas de diseño paramétrico para la generación de modelos de ocupación y vivienda frente a amenazas ambientales en Nariño” se busca exponer el proceso investigativo y las exploraciones de la aplicación de técnicas que se han llevado a cabo desde la academia y la respuesta que surge desde el diseño paramétrico para dar solución a problemáticas reales y cercanas a nuestro entorno.

## 2. Problema

El parametricismo está destinado a ser el estilo arquitectónico sucesor al posmodernismo y el movimiento moderno, la teorización y los aportes tecnológicos en los cuales se fundamenta, le dan la validez que lo encaminan a ser el nuevo “mainstream” dentro de nuestro entorno profesional, además de que es el estilo que mejor se adapta a las necesidades y el estilo de vida de la sociedad Posfordista, es decir la sociedad en la cual vivimos actualmente. Sin embargo, en países como el nuestro parece no tener aún la exposición suficiente ni el interés por profundizar sobre temas de innovación arquitectónica desde la academia, situación opuesta a lo que está ocurriendo en varias universidades alrededor del mundo a través de diferentes grupos de investigación. Esta problemática puede surgir por dudas como los costos que implica o la adaptabilidad al entorno, desconociendo que en realidad el parametricismo brinda soluciones más eficientes, económicas, adaptativas y personalizables que la arquitectura convencional que se sigue construyendo hoy en día.

La carencia de espacios académicos que incentiven a los estudiantes a aprender nuevas alternativas de diseño que salgan de lo habitual, desemboca en problemáticas reales aún mayores que afectan a las personas que habitan los espacios que se construyen mediante técnicas tradicionales. Es por este motivo que, por medio de este documento se busca dar a conocer cómo el parametricismo es capaz de generar soluciones óptimas a problemas reales y cercanos a nuestro entorno, aplicando conceptos y técnicas propias del diseño paramétrico.

Si nos acercamos más hacia nuestro entorno, una de las mayores problemáticas que ha conllevado a graves afectaciones como pérdidas humanas y materiales son las constantes inundaciones, deslizamientos y actividades sísmicas que se presentan en zonas puntuales del departamento de Nariño. En el municipio de Barbacoas, por ejemplo, más de 1500 familias se ven constantemente afectadas debido a la creciente del río Telembí. Algo similar ocurre en el municipio de Tumaco, donde constantemente se deben evacuar por lo menos 4.800 habitantes residentes cerca a las zonas costeras y las riberas de los ríos, quienes se ven expuestos a los daños que conllevan las inundaciones al ingresar tanto a viviendas de las zonas urbanas como rurales, esto sin contar el riesgo permanente de tsunamis y terremotos. Así como estos casos, existen distintas zonas con riesgos por amenazas naturales tales como inundaciones, sismos, tsunamis y deslizamientos en otras poblaciones del Departamento.

También es importante considerar que por lo general las tecnologías empleadas en las edificaciones de los municipios afectados no corresponden a las necesidades especiales del sitio. Las dimensiones y materiales que conforman estas unidades residenciales son muy precarias, y no han sido pensadas para enfrentar variaciones considerables en aspectos ambientales. Tampoco cuentan con modelos y diseños arquitectónicos y constructivos que les orienten en la construcción y mejoramiento de sus espacios de vida familiar y colectiva.

Esta incapacidad de plantear y ejecutar un modelo de ocupaciones que trabaje en función del entorno y de los riesgos que este mismo representa, es básicamente porque los elementos que inciden en una decisión tienen variaciones temporales que no han sido consideradas en la mayoría de los casos, y las tecnologías y elementos estructurales no son proporcionales a los niveles de riesgo.

Con esta investigación se pretende exponer la aplicación de una parte de las técnicas que el diseño paramétrico tiene para ofrecer y su aplicabilidad frente a diversas amenazas en cualquier tipo de contexto, además de servir como un insumo para futuras investigaciones que ayuden a enriquecer el conocimiento sobre esta área dentro de la disciplina de la arquitectura.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General**

Aplicar un algoritmo que resuelva modelos de ocupaciones en función de los niveles de riesgo ambientales del campo y que determine las características tecnológicas de viviendas adaptativas según las características climáticas propias de los diferentes sitios de trabajo.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

**3.2.1** Adquirir las competencias necesarias sobre el parametricismo y el diseño paramétrico para dar solución al problema planteado.

**3.2.2** Determinar que variables en temas de amenazas naturales afectan en mayor medida las características de las viviendas resultantes.

**3.2.3** Aplicar el proceso metodológico de manera exitosa de acuerdo a las variables consideradas.

**3.2.4** Evidenciar la incidencia de las variables en la adaptabilidad bioclimática de las unidades residenciales.

#### 4. Justificación

Esta investigación permitirá conocer y establecer un panorama amplio del resultado de la exploración sobre el parametricismo y las técnicas del diseño paramétrico, bajo las exigencias de la disminución de riesgo de amenazas naturales y el incremento de las condiciones de habitabilidad aplicables a cualquier sitio que lo requiera; considerando como variables de gran importancia: Incremento de nivel de agua, incidencia solar, elevaciones, pendientes, zonas de protección y mayor frecuencia en precipitaciones, para desarrollar un modelo de diseño generativo aplicable a cualquier entorno.

Se busca demostrar la optimización que brinda el diseño paramétrico en todos los ámbitos que componen a un proyecto arquitectónico tanto en tiempos, materiales, adaptabilidad, entre otros, gracias a su capacidad de trabajar con parámetros flexibles que permiten manipular sus valores y generar nuevas respuestas de acuerdo a las condiciones requeridas, lo que se traduce en un proyecto adaptativo a cualquier tipo de condiciones contextuales que responde de manera eficiente a todo tipo de condicionantes que se integren al código.

Es necesario resaltar la importancia de este documento para la academia, ya que puede ser utilizado como referente para futuros ejercicios que quieran basar su investigación en técnicas de diseño de vanguardia, teniendo como fin principal ampliar el conocimiento dentro de esta área y brindar conocimientos acerca de nuevos e innovadores procesos que enriquezcan la formación académica que recibimos a lo largo de nuestra carrera como arquitectos de la Universidad de Nariño.

## **5. Marco Teórico**

### **5.1 Asignatura de trabajo de grado opción profundización.**

El espacio académico de la profundización de diseño computacional y fabricación digital, nos permite contemplar y explorar de manera investigativa el movimiento de vanguardia que expone Patrik Schumacher, y el diseño paramétrico. Es una oportunidad para que el programa de arquitectura de la Universidad de Nariño aborde estos temas y explore metodologías que están generando un panorama de innovación conceptual y tecnológico para la concepción y producción de arquitectura dentro del ejercicio de la disciplina de la arquitectura en la actualidad.

### **5.2 Marco Histórico**

Para entender la necesidad de implementar el diseño paramétrico y el diseño computacional a través de la profundización de diseño computacional y fabricación digital del programa de arquitectura de la Universidad de Nariño en la que se pretende hacer una exploración amplia en campos teóricos y prácticos para llegar al objetivo de presentar soluciones arquitectónicas a través de un proceso de diseño paramétrico, que propone incrementar los niveles de eficiencia y adaptabilidad de la arquitectura y los productos arquitectónicos, es indispensable abordar y comprender el contexto actual e histórico de múltiples aspectos como modelos económicos, sociales, políticos, tecnológicos y de producción que tuvieron una incidencia importante en la concepción temporal de la arquitectura.

#### **5.2.1 Arquitectura y temporalidad.**

La arquitectura es una disciplina que se ocupa de diseñar y construir espacios habitables para la sociedad. La arquitectura no solo se enfoca en la funcionalidad del espacio construido, sino también en su estética y su relación con el entorno que lo rodea. En este sentido, la temporalidad es un aspecto clave de la arquitectura, ya que los edificios y espacios construidos tienen una vida útil limitada y están sujetos a los cambios que experimenta el entorno en el que se ubican.

La temporalidad en la arquitectura se puede entender desde diferentes perspectivas. Por un lado, está la temporalidad del proceso de construcción, que abarca desde la concepción de la idea hasta la finalización del proyecto. Este proceso puede durar varios años y está sujeto a múltiples factores, como la disponibilidad de materiales, el presupuesto y la mano de obra disponible.

Además, durante este proceso pueden surgir imprevistos que afecten la planificación inicial, como problemas en la cimentación o la necesidad de modificar el diseño original para adaptarse a nuevas necesidades.

Por otro lado, está la temporalidad de la vida útil del edificio o espacio construido. La duración de esta vida útil depende de múltiples factores, como la calidad de los materiales utilizados, el mantenimiento realizado a lo largo de los años y los cambios en las necesidades de los usuarios. Además, la vida útil de un edificio también está sujeta a los cambios que experimenta el entorno en el que se ubica, como la urbanización de la zona o el deterioro ambiental.

Otro aspecto importante de la temporalidad en la arquitectura es la relación entre los edificios construidos en diferentes épocas y su integración en el entorno urbano. La arquitectura es una consecuencia del entorno social e histórico en todos sus sistemas y refleja las condiciones y formas de vida y pensamiento en cada uno de los periodos de la humanidad. Los edificios construidos en diferentes momentos históricos tienen estilos arquitectónicos y funcionalidades diferentes y su integración en un mismo entorno urbano puede ser compleja. En este sentido, la arquitectura contemporánea ha evolucionado hacia un enfoque más integrador, que busca la adaptación de los nuevos edificios a las características del entorno existente.

### **5.2.2 Fordismo.**

Desde 1930 hasta la década de 1970 la arquitectura adoptó las premisas de los medios de producción y fabricación, y la eficiencia de los mismos, que son el alma del fordismo. La arquitectura evoluciona y se nutre de lo que pasa a su alrededor, en este caso de un sistema de producción en cadena, en el que resalta la estandarización, y la producción en masa que pretendía responder a las inmensas demandas de productos para la vida cotidiana. Estos procesos de estandarización fueron escalando diferentes disciplinas y profesiones como en el caso de la arquitectura, obteniendo como resultado diferentes estilos subsidiarios, pero principalmente un gran estilo que fue capaz de reflejar y abordar las necesidades de la sociedad fordista, el estilo moderno (Ver Figura 1).

**Figura 1.**  
*Producción Fordista.*



*Fuente:* Tomado de <https://registrodemarca.arenamarcas.com.br/educacao/fordismo-contexto-origem-e-ascensao/>

### **5.2.2.1 Estilo Moderno.**

La arquitectura como disciplina responde a lo que pasa en su entorno adoptando los núcleos del sistema fordista y las premisas de la revolución industrial, como una clara respuesta de la disciplina a las condiciones externas de la época. En este estilo arquitectónico en particular se ve reflejado de manera muy evidente la influencia del fordismo en la repetición y estandarización de los elementos constructivos y constitutivos de las edificaciones que no planteaban ninguna diferenciación importante a pesar de las diferencias de usos y de las posibilidades de ofrecer respuestas más apropiadas a cada una de las necesidades y requerimientos particulares.

Además de los problemas anteriormente mencionados con respecto a la arquitectura moderna y su componente socio-cultural, la sociedad actual posee problemáticas provenientes del modelo fordista debido a su productividad en masa acelerada y desmedida, que con el paso del tiempo produjo complejas situaciones a nivel mundial.

La vivienda de igual manera se adaptó a las premisas dictadas por el fordismo, y fueron la producción en masa, la estandarización y repetición sus características principales. Empezaron a aparecer conjuntos de vivienda en las periferias de las grandes ciudades, y todas con una característica en común, la cual era cumplir con los estándares y dimensiones mínimas para lograr brindar funcionalidad. Esta tendencia buscaba dar una única solución para la vida de la clase media, poniendo a disposición un único estándar de vivienda a nivel global (Ver Figura 2).

**Figura 2.**

*Le Corbusier - Villa Savoye.*



*Fuente:* Tomado de <http://juaser11.blogs.upv.es/files/2013/05/Ville-Savoie.jpg>

Este tipo de estrategias propuestas por el pensamiento fordista se vieron reflejadas a diferentes escalas y en prácticamente todos los campos de la vida misma. Desde la estandarización en los productos de consumo diario, con la regulación de precios para productos de la canasta familiar, pasando por los automóviles, la vivienda y las ciudades en general.

Así como la casa, la ciudad también se planteó como una máquina para vivir, la cual debía estar planificada desde arriba y zonificada de acuerdo a la función y no de acuerdo a las necesidades sociales. Es así como surgen grandes ciudades planificadas que en la actualidad son completamente disfuncionales debido a la manera en la cual fueron diseñadas (Ver Figura 3).

**Figura 3.**

*Le Corbusier - Ville Radieuse.*

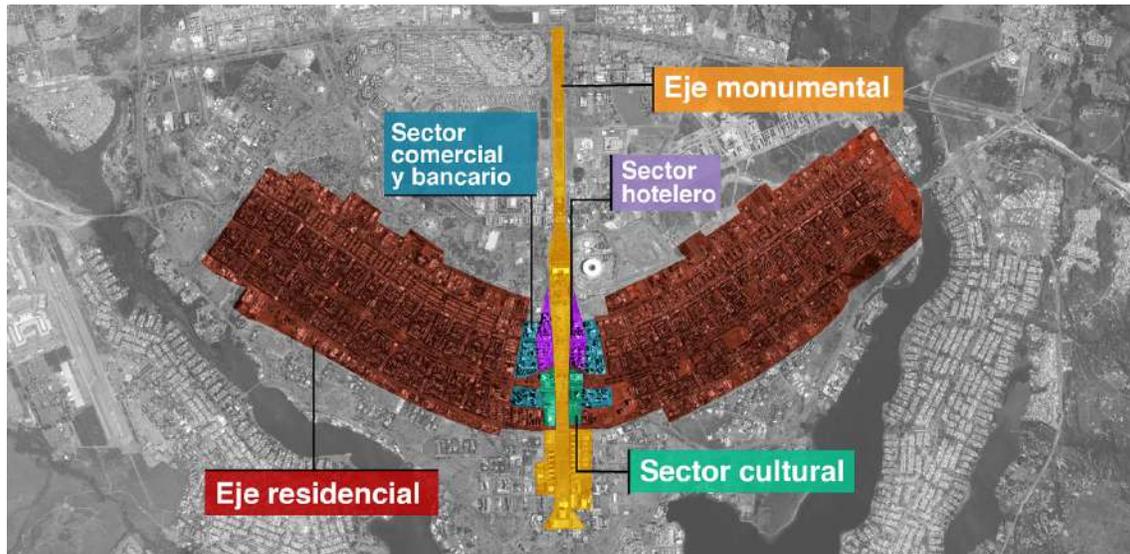


*Fuente:* Tomado de <https://www.archdaily.mx/mx/770281/clasicos-de-arquitectura-ville-radieuse-le-corbusier>.

El estilo moderno pensó a la arquitectura como una máquina, la ciudad se componía por edificaciones aporricadas de hormigón armado, materiales y formas rígidas y pesadas, uso de geometrías simples y en general una estética industrial donde destacó el uso del vidrio, el acero, el concreto y el estuco. Se planteó hacer casas al igual que se hacen coches, con una habilidad de poderse multiplicar y fabricarse al igual que los vehículos, las casas se pensaron como máquinas de vivir.

Las ciudades eran planificadas sin proporción, se impuso un estilo de diseño de arriba hacia abajo en donde era el arquitecto el ente superior que planeaba y ordenaba la ciudad bajo su criterio. Ciudades ideales como Chandigarh o Brasilia no funcionan debido a su desproporción y distancia entre edificios las cuales generan vacíos que nadie quiere habitar. Se construyeron como ciudades del mañana pero en cuestión de pocos años empezaron a caerse a pedazos, pues simplemente son ciudades socialmente muertas que nadie quiere habitar. Las ciudades utópicas que nunca se llegaron a construir en donde solo las cajas de cristal y el muro cortina tenían cabida, no eran pensadas para las personas, no surgían de sus interacciones, sino que se convirtieron en una visión antigua de lo que sería un erróneo futuro (Ver Figura 4).

**Figura 4.**  
*Zonificación de Brasilia.*



*Fuente:* Tomado de <https://www.bbc.com/mundo/recursos/idt-2da124ce-4604-4f03-b270-e123e406c7f4>

### 5.2.3 Posfordismo.

Tras la caída del movimiento moderno, y consecuente a los cambios sociales y económicos de la época, aparece el posfordismo en la década de 1970, el cual es un modelo que se basa en implementar la innovación, creación, investigación, marketing y financiación de los sistemas de producción. Mediante este sistema se propone una evolución en el modo de trabajo y en el uso eficiente de los recursos, siendo más flexible y adaptado a las necesidades de las personas, dejando de lado la producción en masa, la repetición y estandarización que se había llevado a cabo hasta ese momento (Ver Cuadro 1).

**Cuadro 1.***Fordismo vs Posfordismo.*

<b>CRITERIOS DE COMPARACIÓN</b>	<b>FORDISMO</b>	<b>POSFORDISMO</b>
<b>Origen</b>	Principios del siglo XX. Auge de las industrias mecánicas en países centrales.	A partir de la crisis de 1973. Los países centrales buscan ser menos dependientes del petróleo.
<b>País donde comienza a desarrollarse</b>	Estados Unidos	EEUU, Japón, UE
<b>Insumo básico</b>	Petróleo y derivados.	Ciencia y Tecnología.
<b>Objetivos</b>	Producir más en menos tiempo.	Innovación.
<b>Organización del trabajo</b>	Cada obrero se especializa en una tarea en particular.	Mano de obra polifuncional.
<b>Organización de la producción</b>	Producción en serie.	Producción flexibilizada.
<b>Ramas ind. que prevalecen</b>	Metalmecánica, automotriz.	Tecnología, información.
<b>Patrones de localización geográfica</b>	Grandes ciudades y entornos semiurbanos.	Fragmentación de la producción. Distintas etapas ubicadas en distintas áreas.
<b>Características de los bienes producidos</b>	Diseño estándar. Se hace énfasis en la durabilidad.	Gran variedad de diseño y diversos productos en menor cantidad.
<b>Tipo de demanda</b>	Acumulación en stock que no pasaba de moda.	"Just in time": Se produce solo lo necesario para abastecer un mercado competitivo.
<b>Rol del estado asociado</b>	Estado benefactor.	Estado neoliberal.

*Fuente:* Elaboración propia a partir de <https://www.studocu.com/>

### **5.2.3.1 Subestilos transitorios de vanguardia.**

El movimiento moderno entró en crisis a finales de la década de 1950. El declive de la arquitectura moderna se manifiesta debido al deterioro físico, la obsolescencia para los usos a los que se destinaba y la ruina de su significado cultural y social.

El suceso que marcó la muerte del modernismo y por ende el nacimiento de la posmodernidad fue la demolición del complejo Pruitt – Igoe de San Luis. Tras la caída del movimiento moderno empiezan a surgir diversos estilos subsidiarios que trataban de encontrar una solución a la crisis que había conllevado el pensamiento fordista (Ver Figura 5).

**Figura 5.***Demolición del complejo Pruitt - Igoe de San Luis.**Fuente:* Tomado de <https://www.archdaily.co/co/895079/clasicos-de-arquitectura-pruitt-igoe-minoru-yamasaki>

### 5.2.3.1.1 Funcionalismo.

La corriente arquitectónica funcionalista se basa en la premisa de que la apariencia de un edificio debe ser únicamente una manifestación de su utilidad o propósito. Debido a que surgió como uno de los primeros subestilos después de la decadencia del movimiento moderno, sus fundamentos eran poco distintivos o perceptibles en comparación con los de su predecesor, lo que llevó a que se confundiera con la arquitectura moderna (Ver Figura 6).

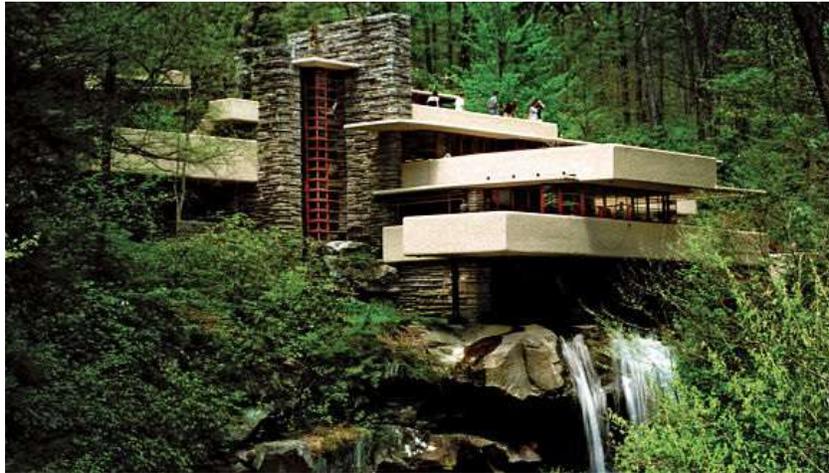
**Figura 6.***Arne Jacobsen - Bellavista Klampenborg.**Fuente:* Tomado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Bellavista\\_-\\_Klampenborg.\\_Arne\\_Jacobsen.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Bellavista_-_Klampenborg._Arne_Jacobsen.jpg)

### 5.2.3.1.2 Organicismo.

El enfoque del organicismo arquitectónico es fomentar la convivencia pacífica entre el entorno humano y el mundo natural, sin alterar su sitio de emplazamiento. A través del diseño, se intenta comprender y fusionarse con el entorno, para que, tanto los edificios como los muebles y el paisaje, formen parte de una composición cohesiva y coordinada. (Ver Figura 7).

**Figura 7.**

*Frank Lloyd Wright - Casa de la Cascada.*



*Fuente:* Tomado de <http://elpostureodediogenes.weebly.com/uploads/2/7/2/8/27286541/154235370.jpg>

### 5.2.3.1.3 Brutalismo.

El brutalismo se enfoca en exhibir los materiales de construcción en su estado natural. Se caracteriza por construcciones minimalistas que ponen al descubierto los elementos estructurales y los materiales de construcción en lugar de utilizar un diseño decorativo (Ver Figura 8).

**Figura 8.**

*Biblioteca Geisel.*



*Fuente:* Tomado de <https://archeyes.com/geisel-library-william-pereira-associates/>

#### 5.2.3.1.4 Metabolismo.

El metabolismo se caracteriza por la idea de que la arquitectura debe ser flexible y adaptable, capaz de crecer y cambiar con el tiempo y las necesidades de sus usuarios. La metáfora biológica del metabolismo se utiliza para describir la forma en que los edificios pueden ser diseñados como organismos vivos, capaces de crecer, cambiar y adaptarse a su entorno. Los edificios metabolistas a menudo presentan una estructura modular, lo que permite que se puedan agregar y quitar elementos fácilmente. Además, se utilizan tecnologías avanzadas y materiales innovadores para crear edificios que sean más eficientes energéticamente y respetuosos con el medio ambiente (Ver Figura 9).

**Figura 9.**  
*Nakagin Capsule Tower.*



*Fuente:* Tomado de <https://gluon.tokyo/en/projects/3d-digital-archive-nakagin-capsule-tower>

#### 5.2.3.1.5 Posmodernismo.

La arquitectura posmoderna se caracteriza por su rechazo a las ideas y valores del modernismo y su enfoque en la diversidad y la inclusión de múltiples estilos y referencias históricas en el diseño arquitectónico. Los edificios posmodernos a menudo presentan elementos ornamentales y decorativos, colores brillantes y contrastantes, y una mezcla de estilos arquitectónicos de diferentes épocas y culturas (Ver Figura 10).

**Figura 10.***Arata Isozaki - Team Disney Building.*

*Fuente:* Tomado de <https://www.archdaily.co/co/912610/quien-es-arata-isozaki-20-cosas-que-debes-saber-sobre-el-premio-pritzker-2019>

### 5.2.3.1.6 High Tech.

La corriente arquitectónica del high-tech surge como respuesta a la monotonía y estandarización propuestas por el movimiento moderno, buscando una imagen tecnológica más fuerte. La necesidad de construir edificios económicos llevó a terminaciones de baja calidad, lo que resultó en barrios residenciales donde se daba la disgregación social, la violencia y la delincuencia. Como respuesta a esta imagen negativa del progreso, surge el high-tech como una nueva estética que destaca la fascinación por la innovación tecnológica constante (Ver Figura 11).

**Figura 11.***Richard Rogers - Edificio Lloyd's.*

*Fuente:* Tomado de <http://moleskinearquitectonico.blogspot.com/2008/10/richard-rogers-edificio-lloyd-en.html>

### 5.2.3.1.7 Deconstructivismo.

El deconstructivismo se destaca por su enfoque en la fragmentación, el proceso de diseño no lineal y el uso de formas no rectilíneas para manipular la superficie y distorsionar los principios fundamentales de la arquitectura, como la estructura y el envoltorio de los edificios. Los edificios deconstructivistas tienen una apariencia visual impredecible y un caos controlado que los diferencia de la racionalidad ordenada del movimiento moderno (Ver Figura 12).

#### Figura 12.

*Frank Gehry - Museo Guggenheim de Bilbao, España.*



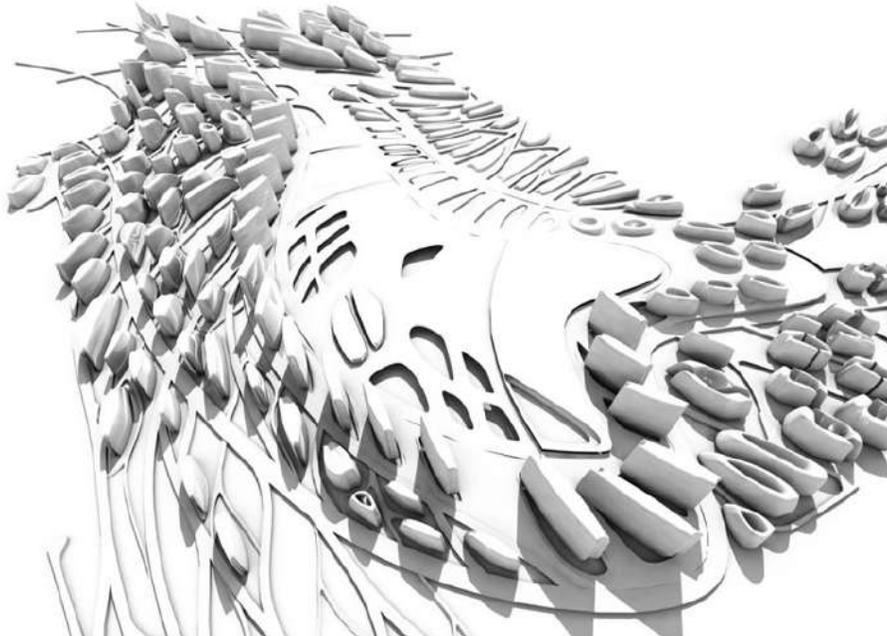
*Fuente:* Tomado de <https://cms.guggenheim-bilbao.eus/uploads/2019/05/el-edificio-guggenheim-bilbao-1.jpg>

### 5.2.4 Parametricismo.

La sociedad actual es el resultado de todo este largo proceso de problemáticas que han encontrado soluciones temporales pero también de nuevas y más complejas situaciones que van surgiendo con el paso del tiempo. Con un mundo totalmente globalizado e interconectado entre sí, se pueden considerar problemas a gran escala y que afectan al mundo en general situaciones como el constante cambio climático, la sobreexplotación de recursos naturales o la desigualdad social. Por este motivo es que se requiere de soluciones que no se planteen de forma lineal, repetitiva y sistematizada, sino que por el contrario, se requiere de un modelo autorreferencial que sea capaz de emerger a través de situaciones particulares y que a su vez sea aplicable a cualquier lugar del mundo (Ver Figura 13).

**Figura 13.**

*Estética del parametricismo.*



*Fuente:* Tomado de <https://arquine.com/hegemonia-parametricismo-patrik-schumacher/>.

Dentro de este marco y como reflejo de la complejidad que conlleva la nueva sociedad posfordista, surge el parametricismo como el gran estilo dentro de la arquitectura contemporánea de vanguardia, promovido por Patrik Schumacher como el sucesor de la arquitectura moderna y posmoderna. El parametricismo se ha convertido en el estilo arquitectónico principal para la práctica de la arquitectura vanguardista en la actualidad. Se distingue por su complejidad ordenada y la sensación de fluidez que se asemeja a los sistemas naturales. Su composición se basa en sistemas abiertos que siempre están incompletos, pero que se relacionan entre sí. A medida que se aumenta la densidad de estas relaciones, los componentes pueden asociarse en múltiples sistemas, lo que da lugar a una gran variedad y adaptabilidad. La correlación de sistemas inicialmente independientes resulta en la formación de un nuevo y más complejo sistema envolvente. Estéticamente, el parametricismo es reconocido por su apariencia innovadora y dinámica que resalta sobre el resto de prácticas en la arquitectura contemporánea. (Ver Figura 14).

**Figura 14.**  
*Centro Heydar Aliyev en Bakú, Azerbaiyán.*

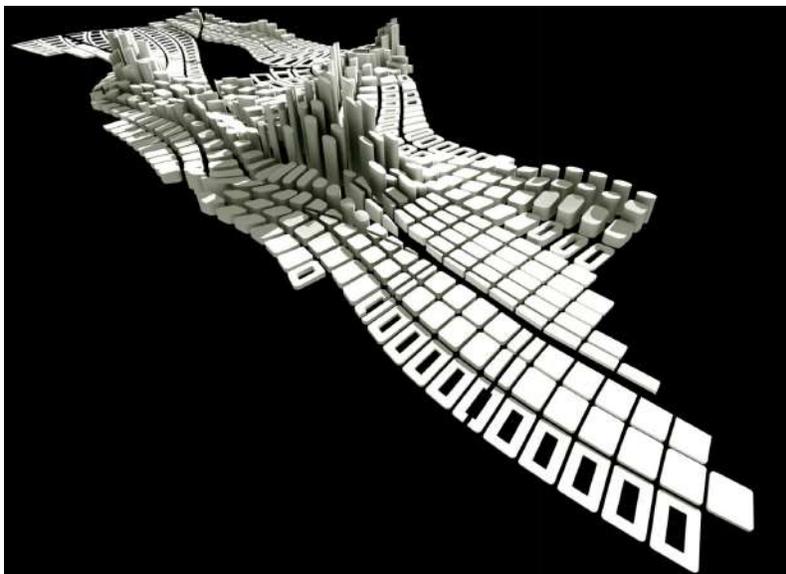


*Fuente:* Tomado de <https://arquitecturaviva.com/obras/centro-heydar-aliyev>

#### **5.2.4.1 Parametricismo como nuevo estilo global.**

En la actualidad, la arquitectura y el urbanismo se están adaptando a las demandas socioeconómicas de la era posfordista. El parametricismo se ha convertido en la tendencia dominante para la práctica vanguardista y se aplica en todas las escalas, desde la arquitectura o el diseño de interiores hasta el diseño urbano, siendo capaz de construir nuevas lógicas de campo que operan a través de la correlación mutuamente acentuada de múltiples sistemas urbanos, esto incluye la modulación del tejido urbano, los sistemas de calles y los espacios abiertos (Ver Figura 15).

**Figura 15.**  
*Urbanismo Paramétrico.*



*Fuente:* Tomado de <http://www.planum.net/planum-magazine/themes-online/parametric-urbanism-a-new-frontier>

El parametricismo implica un conjunto de reglas metodológicas que son aplicables en diferentes escalas. Dentro de estas reglas, se pueden identificar unas heurísticas negativas que nos indican qué caminos de investigación evitar para no caer en patrones inconsistentes. Por otro lado, también existen heurísticas positivas que nos proporcionan los principios rectores y técnicas apropiadas para avanzar de manera eficiente en una dirección específica.

#### **5.2.4.2 Heurísticas negativas (tabúes)**

Es importante evitar primitivos geométricos rígidos como los cuadrados, triángulos y círculos. Esto se debe a que estos elementos suelen generar patrones simples y repetitivos que no son adecuados para crear diseños complejos y sofisticados. En cambio, el parametricismo busca utilizar formas más complejas y orgánicas que permitan una mayor variedad de configuraciones y transformaciones.

Otra heurística negativa es la simple repetición de elementos, pues si se utiliza un mismo elemento de manera repetitiva, el diseño resultante puede ser monótono y aburrido. Por lo tanto, es importante explorar diferentes variaciones de los elementos y encontrar formas de combinarlos de manera interesante y creativa.

Finalmente, la yuxtaposición de elementos o sistemas no relacionados. Si se combinan elementos o sistemas que no tienen una conexión clara o lógica entre sí, el diseño resultante puede ser incoherente y confuso. Por lo tanto, es importante pensar cuidadosamente en cómo se relacionan entre sí los diferentes elementos y sistemas del diseño para crear una composición coherente y equilibrada.

#### **5.2.4.3 Heurísticas positivas (dogmas)**

La primera de ellas es considerar todas las formas paraméricamente maleables. Esto significa que se debe pensar en todas las posibles variaciones y transformaciones que se pueden aplicar a una forma dada mediante la modificación de sus parámetros, en lugar de pensar en la forma como algo estático e inmutable. De esta manera, se pueden explorar una gran variedad de opciones de diseño y encontrar soluciones más innovadoras y creativas.

La segunda heurística positiva es la diferenciación continua (a ritmos variables). Esto implica que se deben crear formas y estructuras que varíen gradualmente en lugar de tener transiciones abruptas y drásticas. Esto puede hacer que el diseño sea más armonioso y suave, ya que los cambios se producen de manera más natural y orgánica.

La tercera heurística positiva es flexionar y correlacionar sistemáticamente. Esto significa que se deben aplicar transformaciones de forma sistemática y coherente para crear formas complejas y sofisticadas. De esta manera, se pueden crear estructuras y formas que se ajusten de manera más precisa a las necesidades específicas del diseño, ya que cada transformación se realiza de manera cuidadosa y planificada (Patrik Schumacher, 2008).

#### **5.2.4.4 Principios del modernismo vs parametricismo.**

**5.2.4.4.1 Principios del modernismo:** A pesar de tener mayores grados de libertad que sus estilos predecesores, a su vez tiene un menor nivel de orden. El modernismo dejó de lado las restricciones de simetría y proporción y ganó la libertad de la abstracción radical, pero mantuvo la ortogonalidad y su norma de evitar el adorno. Una arquitectura sin curvas, únicamente líneas rectas y retículas que trabajó con los principios ordenadores de separación, especialización y repetición ilimitada.

**5.2.4.4.2 Principios del parametricismo:** Pronunciado aumento de la libertad y mucho mayor aumento del orden. El parametricismo deja a un lado el manejo de formas rígidas y ortogonales, pasando a líneas curvas y suaves, y amplía enormemente la capacidad de ordenar de la arquitectura a través de la creación de algoritmos o códigos que emergen de la interacción de parámetros, funcionando bajo los principios de correlación y diferenciación.

#### **5.2.4.5 Subestilos del Parametricismo.**

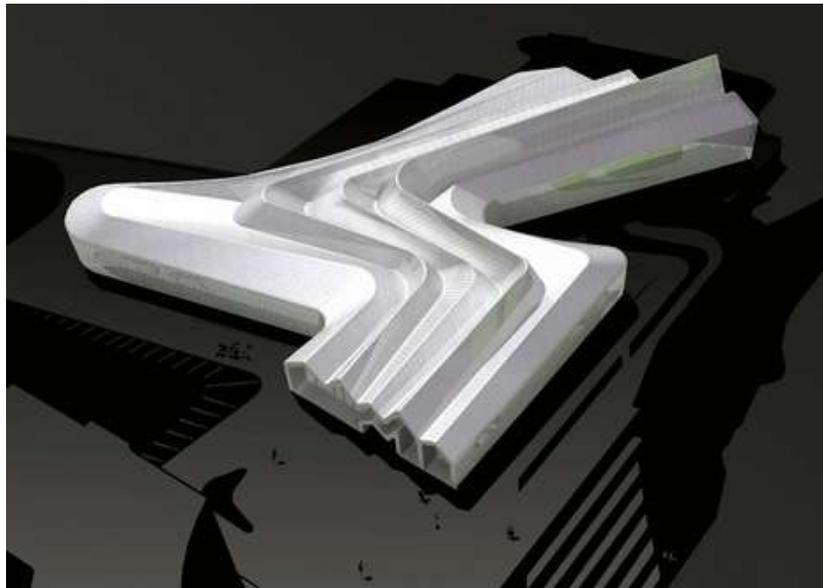
El parametricismo se considera un estilo de época, ya que ha surgido en un momento particular de la historia del diseño en el que la tecnología y las herramientas digitales han permitido nuevas formas de explorar y crear formas complejas. Sin embargo, dentro del parametricismo, existen diferentes subestilos que proponen diferentes enfoques de diseño.

#### 5.2.4.5.1 Foldism (Plegamiento).

Se caracteriza por el uso de una única superficie como elemento moldeador. Esta técnica se utiliza para crear formas complejas que fluyen suavemente y se adaptan de manera orgánica al contexto y las necesidades específicas del proyecto. Al utilizar una sola superficie para crear todo el proyecto, se busca lograr una mayor coherencia y armonía en la forma, lo que puede generar espacios más fluidos y una mayor sensación de continuidad en el diseño. Además, al reducir el número de elementos utilizados en el diseño, se pueden simplificar los procesos constructivos y lograr una mayor eficiencia en la producción (Ver Figura 16).

**Figura 16.**

*Glasgow Museum of Transport Riverside - Zaha Hadid Architects.*



*Fuente:* Tomado de [http://www.bdonline.co.uk/Pictures/web/h/j/g/GLASGOW\\_TRANSPORTAeri\\_E5670.jpg](http://www.bdonline.co.uk/Pictures/web/h/j/g/GLASGOW_TRANSPORTAeri_E5670.jpg)

#### 5.2.4.5.2 Blobism (Blobismo).

Es el segundo estilo subsidiario dentro del parametricismo, el cual se caracteriza por la utilización de agrupaciones de *metaballs* o volúmenes en forma de burbujas que interactúan entre sí para crear edificios y estructuras complejas. Estas formas pueden ser manipuladas paramétricamente para adaptarse a las necesidades específicas del proyecto. Las metaballs se agrupan en patrones específicos y se interconectan para crear estructuras de formas orgánicas y fluidas, que a menudo se asemejan a amebas o células (Ver Figura 17).

**Figura 17.**

*Galaxy SOHO - Zaha Hadid Architects.*



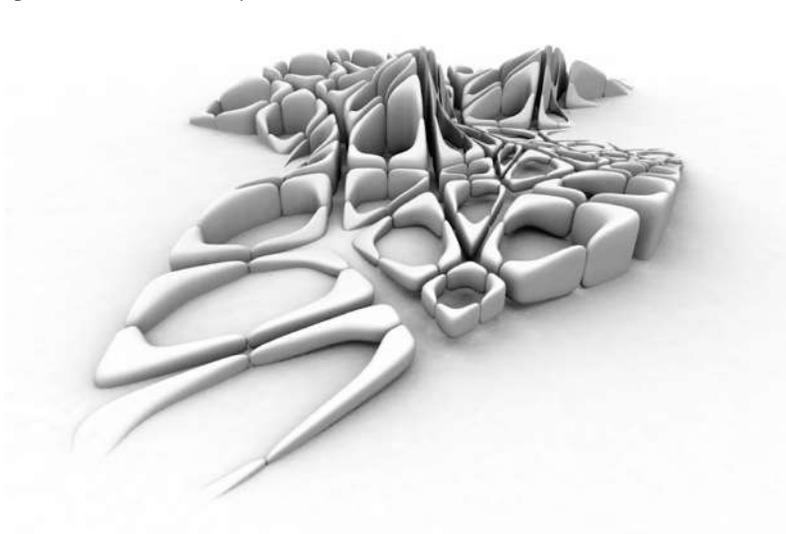
*Fuente:* Tomado de <https://cdn.archilovers.com/projects/861dad0c8baf438189268412185de2f2.jpg>

#### **5.2.4.5.3 Swarmism (Enjambre).**

Este subestilo por lo general es aplicado al diseño urbano, usando un enjambre de elementos en lugar de una superficie plana. De esta manera, todos los elementos funcionan como uno solo con mayor complejidad, lo cual le permite seguir formas continuas y progresivas que reaccionan a los diversos parámetros que intervienen sobre el proyecto (Ver Figura 18).

**Figura 18.**

*Kartal-Pendik Masterplan, Istanbul, Turkey, 2006.*



*Fuente:* Tomado de <http://inhalemag.com/wp-content/uploads/2013/07/zaha3.jpg>

#### 5.2.4.5.4 Tectonism (Tectonismo).

Su proceso de diseño se basa en el form finding, el cual es un procedimiento que busca la forma más óptima de un elemento, teniendo en cuenta variables como la materialidad y los esfuerzos aplicados sobre el objeto. Destaca principalmente la eficiencia y optimización en las lógicas estructurales y de fabricación (Ver Figura 19).

**Figura 19.**  
*CIAB Pavilion.*



*Fuente:* Tomado de <https://www.karamba3d.com/wp-content/uploads/2016/03/CIAB-Exterior2-%C2%A9XiaShi.jpg>

#### 5.2.5 Diseño paramétrico.

El diseño paramétrico es el proceso de diseño basado en un esquema algorítmico que permite expresar parámetros y reglas que definen, codifican y aclaran la relación entre los requerimientos del diseño y el diseño resultante. Las herramientas de diseño paramétrico no pueden justificar por sí mismas el drástico cambio estilístico de la modernidad al parametricismo, pues este emerge de la exploración creativa de sistemas de diseño paramétrico con vistas a articular una creciente complejidad de procesos sociales. Dentro de las herramientas que hacen posible la práctica del diseño paramétrico se encuentran los softwares de diseño como lo son Rhinoceros y su extensión Grasshopper, mediante los cuales se logra dar forma a los diferentes valores y variables que se requieran aplicar sobre un proyecto. Con estas herramientas y con la ayuda de diversos plug-ins es posible el desarrollo de códigos y su posterior visualización para ser aplicados en diferentes áreas de la arquitectura. La ventaja que brinda el diseño paramétrico es que el arquitecto es capaz de manipular los parámetros para de alguna forma guiar el proceso de diseño, por lo tanto pasa de ser un trabajo de la máquina a un trabajo mutuo (Ver Figuras 20 y 21).

**Figura 20.**  
*Logo de Rhinoceros.*



*Fuente:* Tomado de <https://www.pinterest.es/pin/130534089186610498/>

**Figura 21.**  
*Logo de Grasshopper.*



*Fuente:* Tomado de <https://seeklogo.com/vector-logo/291372/grasshopper-3d>

### **5.2.6 Arquitectura en la era de la producción digital.**

Al establecer un claro comparativo entre la era mecánica y la era digital, se hace evidente que al igual que la sociedad cambia, la función social del arte también lo hace. Los nuevos medios transforman los modos de percepción de las personas y generan una innovación de las formas artísticas de comunicación. Las masas adquieren un nuevo significado, el estilo de vida de las personas ha cambiado y se han establecido nuevos ordenamientos de los procesos sociales. Las personas buscan una identidad propia dentro de sus círculos sociales, lo que se traduce en lo que hoy en día conocemos como la diferenciación y personalización.

El orden social requiere orden espacial, capacidad comunicativa, ordenamiento de los procesos sociales y por lo tanto es necesario dar forma a ciertos grupos de personas o usuarios. Para lograr una interrelación de sistemas sociales se deben ampliar los grados de libertad que así mismo permitan generar mejores relaciones. Es posible simular las condiciones en las relaciones sociales a través de herramientas que permiten estudiar y predecir los procesos de interacción, generar estadísticas de densidad ocupacional y ordenar los procesos sociales. Además, para generar mayor intensidad de las relaciones, el diseño paramétrico se enfoca en implementar dos factores: integración interna y adaptación externa.

### **5.2.7 Diseño computacional y fabricación digital.**

El diseño computacional es uno de los grandes protagonistas de la transformación digital en la arquitectura. Las prácticas de diseño computacional se basan en la construcción de redes compuestas de mentes creativas y computadoras. Por otra parte, la fabricación digital consiste en el uso de un sistema integrado y asistido por ordenador compuesto por herramientas de simulación, visualización en 3D, análisis y colaboración con el objetivo de crear definiciones de procesos de producto y de fabricación simultáneamente.

En los procesos de fabricación digital resalta la relación, interacción y complemento entre el humano y el robot. Es necesario empezar a entender a las máquinas, pues son la conexión entre el 3D digital y el espacio real. Es fundamental involucrar la parte social y no olvidar que aunque se trabaje con herramientas digitales, es el humano quien habita los espacios, y esa respuesta social es lo más importante.

Las posibilidades de fabricación que brindan las herramientas digitales serán esenciales para el desarrollo de los prototipos generados a lo largo del desarrollo del proyecto. Las facilidades que brindan los procesos de fabricación digital son esenciales a la hora de otorgar personalización a las viviendas, pues el algoritmo varía los fenotipos de vivienda de acuerdo a diversas variables que afectan al objeto como tal, de la manera más eficiente posible (Ver Figura 22).

**Figura 22.**

*Alicia Nahmad - La Masonry Domino.*



*Fuente: Tomado de*

*[https://pbs.twimg.com/card\\_img/1561546091421904897/NEn9VIxo?format=jpg&name=medium](https://pbs.twimg.com/card_img/1561546091421904897/NEn9VIxo?format=jpg&name=medium)*

### **5.2.8 Informatización y computación.**

La mayoría de los arquitectos actualmente limitan el uso del computador para digitalizar procedimientos existentes preconcebidos en su mente. Los arquitectos usan la computadora como un tablero de dibujo virtual, que facilita editar, copiar y aumentar la precisión de los dibujos. Este modo de trabajo se ha denominado "informatización".

La computación según Ahlquist y Menges (2013) es explicada como el procesamiento de información e interacciones entre elementos que constituyen un entorno específico, proporcionando un marco para negociar e influir en las interrelaciones de conjuntos de datos de información con la capacidad de generar orden, forma y estructuras complejas.

El término "computación" significa el uso de la computadora para procesar información a través de un modelo que puede expresarse como un algoritmo. La computación permite la exploración de nuevas ideas, aumenta el intelecto del diseñador y su capacidad para resolver problemas complejos. La computación también tiene el potencial de brindar inspiración e ir más allá del intelecto del diseñador a través de la generación de resultados inesperados. Por ejemplo, en el Centro de Entretenimiento Khan Shatyr diseñado por la firma Foster + Partners, el equipo de diseño utilizó un algoritmo de búsqueda de formas o Form-Finding para generar rápidamente opciones de diseño para la estructura de la red de cables. El algoritmo formaba parte del modelo paramétrico que se utilizó para desarrollar y definir la forma del edificio (Ver Figura 23).

**Figura 23.**

*Foster + Partners - Centro de Entretenimiento Khan Shatyr.*



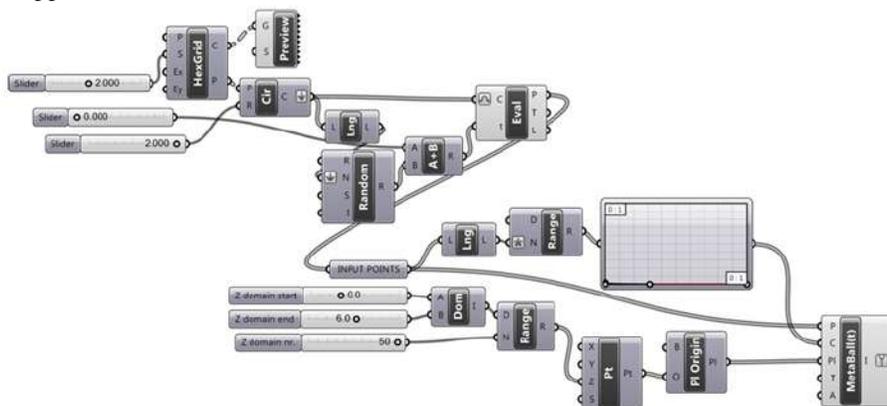
*Fuente:* Tomado de <https://www.burohappold.com/projects/khan-shatyr-entertainment-centre/>

Si un arquitecto es capaz de crear un programa informático para resolver un problema de diseño, pueden explorarse más opciones mediante cambios en el programa, que se pueden considerar como bocetos realizados a través de algoritmos. Un algoritmo es un conjunto específico de instrucciones que la computadora puede entender, siempre y cuando estén escritas en un lenguaje de programación adecuado, es decir, en un código.

El pensamiento algorítmico significa asumir un papel interpretativo para comprender los resultados del código generado, saber cómo modificar el código para explorar nuevas opciones y especular sobre futuros diseños potenciales. Estamos pasando de una era en la que los arquitectos usan software a una en la que crean software (Ver Figura 24).

**Figura 24.**

*Código de grasshopper.*



*Fuente:* Tomado de <https://www.designcoding.net/metaballs-in-3d/>

### 5.2.9 Computación en la práctica arquitectónica.

Los diseñadores computacionales construyen modelos 3D y crean herramientas de diseño, pero su experiencia va más allá de estas tareas. Generan y exploran espacios y conceptos arquitectónicos a través de la escritura y modificación de algoritmos que se relacionan con la colocación, configuración y relaciones entre elementos. Fundamentalmente, la fabricación de estas herramientas personalizadas tiene lugar dentro del proceso de diseño y se convierte en parte integral del diseño mismo. Para que las técnicas computacionales sean útiles, deben ser flexibles y tener la capacidad de adaptarse al cambio (Ver Figura 25).

**Figura 25.**

*Aedas - Lè Architecture.*



*Fuente:* Tomado de <https://www.archdaily.co/co/902830/le-architecture-aedas>

### 5.2.10 Rendimiento informático y simulación.

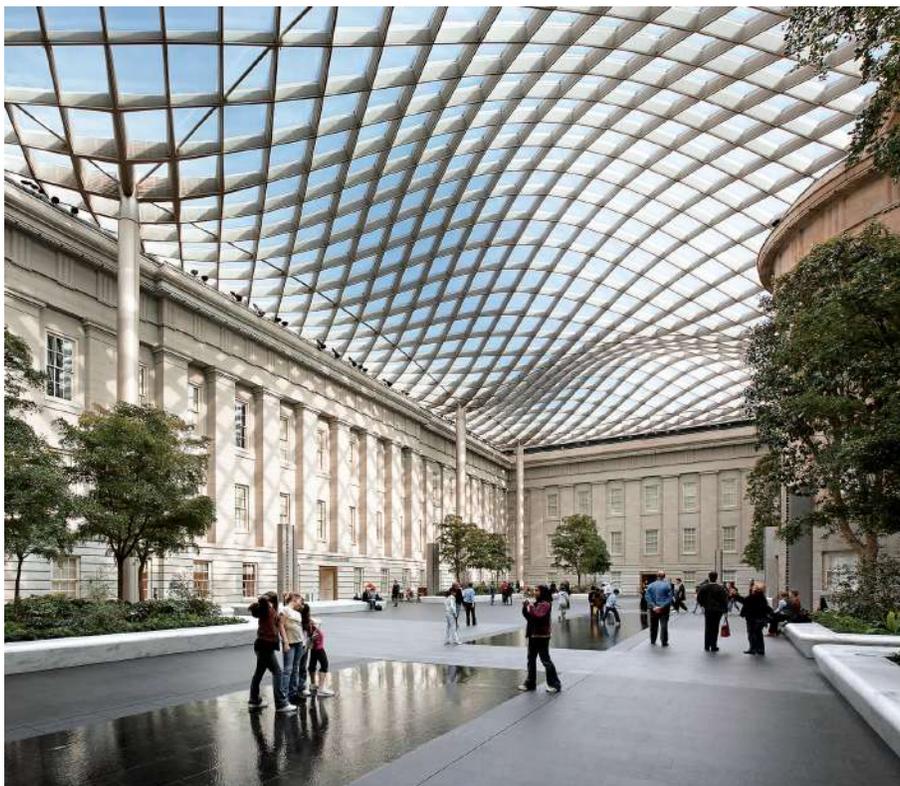
Los arquitectos están experimentando cada vez más con la computación para simular el desempeño de los edificios, para incorporar análisis de desempeño y conocimientos sobre materiales, tectónica y parámetros de maquinaria de producción en sus diseños.

Estas nuevas herramientas digitales personalizadas permiten la retroalimentación del rendimiento en varias etapas de un proyecto arquitectónico, creando nuevas oportunidades de diseño. Usando estas herramientas, el desempeño estructural, material o ambiental puede convertirse en un parámetro fundamental en la creación de formas arquitectónicas. El desarrollo de herramientas de simulación computacional puede crear diseños más receptivos, lo que permite a los arquitectos explorar nuevas opciones de diseño y analizar decisiones arquitectónicas durante el proceso de diseño.

A lo largo de la historia, el trabajo del arquitecto ha estado ligado al uso del dibujo como herramienta de diseño. Actualmente, los arquitectos que trabajan con computadoras, pero simplemente como un medio de representación, siguen teniendo al dibujo como prioridad, solo que en este caso de manera digital. Sin embargo, con sus crecientes capacidades de simulación, la computadora les permite a los arquitectos predecir, modelar y simular el encuentro entre la arquitectura y el público utilizando métodos más precisos y sofisticados (Ver Figura 26).

**Figura 26.**

*Foster + Partners - Smithsonian Institution.*



*Fuente:* Tomado de [https://arquitecturaviva.com/assets/uploads/obras/39954/av\\_109166.jpeg?h=d84221a7](https://arquitecturaviva.com/assets/uploads/obras/39954/av_109166.jpeg?h=d84221a7)

### 5.2.11 Fabricación y construcción computacional.

A diferencia del modernismo, donde el esfuerzo de diseño a menudo se centró en la perfección de un solo detalle, el enfoque computacional actualmente tiende a ser el desarrollo de familias paramétricas de componentes y en el control de datos requeridos. Aquí, lo relevante es la relación entre las partes y la gestión de este cambio en respuesta a los requisitos locales de desempeño.

A medida que se desarrollen nuevas herramientas de diseño para vincular el entorno de diseño virtual con el entorno físico, los diseñadores de arquitectura tendrán cada vez más la capacidad de explorar sistemas y entornos de construcción. Esto podría llevar a un futuro donde el modelo digital de un arquitecto podría seguir siendo relevante durante la ocupación del edificio, donde la retroalimentación entre los usuarios, el edificio y el entorno se actualiza en el modelo digital y se refleja en los cambios en el edificio y su desempeño.

El diseño computacional vinculado a la fabricación computacionalmente impulsada requiere una nueva interpretación del proceso de diseño y construcción. Esta invención de nuevas técnicas y tecnologías ha provocado, y seguirá provocando, cambios en la definición y los límites de la arquitectura. Estas herramientas y técnicas computacionales afectarán aún más significativamente los procesos de diseño y entrega, la definición de la disciplina de la arquitectura y la conexión del trabajo del arquitecto con la sociedad (Ver Figura 27).

**Figura 27.**

*Sustainability Pavilion - Grimshaw.*



*Fuente:* Tomado de <https://identity.ae/>

### **5.2.12 La computación como una forma de arte integrado.**

Los diseñadores computacionales son más que simples creadores de modelos 3D complejos o desarrolladores de herramientas digitales. Sus roles y habilidades evolucionan con la tecnología y las necesidades del proyecto y la práctica en particular. Crean nuevos entornos en los que explorar diseños y simular el rendimiento, tanto físico como experiencial.

A través de la computación, el entorno de diseño arquitectónico digital tiene la capacidad de construir modelos complejos de edificios y proporcionar información sobre el rendimiento de estos modelos. Las herramientas computacionales se pueden usar para aumentar la eficiencia y permitir una mejor comunicación, así como para generar conceptos algorítmicos. Actualmente, la arquitectura está experimentando un cambio del dibujo al algoritmo como método para capturar y comunicar diseños.

Esta forma computacional de trabajar aumenta el intelecto del diseñador y nos permite capturar no solo la complejidad de cómo construir un proyecto, sino también la multitud de parámetros que son fundamentales en la formación de un edificio. Cuando los arquitectos tengan una comprensión suficiente de los conceptos algorítmicos, cuando ya no se necesite discutir lo digital como algo diferente, entonces la computación puede convertirse en un verdadero método de diseño para la arquitectura.

En este proyecto la estructura espacial del aeropuerto está cubierta por ambos lados por un revestimiento perforado que consta de 60.000 elementos de fachada diferentes. Un modelo de datos paramétrico controló el tamaño y la pendiente de las aberturas, que se adaptan para cumplir con los requisitos de luz natural, ganancia solar y ángulos de visión, así como con las intenciones estéticas del arquitecto (Ver Figura 28).

**Figura 28.**

*Terminal 3 del Aeropuerto Internacional de Bao'an, Shenzhen, China.*



*Fuente:* Tomado de

<https://www.archdaily.co/co/02-334059/aeropuerto-internacional-de-shenzhen-bao-an-studio-fuksas>

### **5.2.13 Computación de materiales.**

El computador es más que una herramienta, es fundamental la interacción, coexistencia y relación entre hombre y máquina. El arquitecto es el que propone y justifica el diseño, mientras que los robots automatizan los sistemas de construcción y los vuelven más eficientes. Debe existir una correlación entre diseño, construcción, edificación, material, ingeniería y construcción, a través de procesos, métodos y sistemas denominados co-diseño (Ver Figura 29).

**Figura 29.**

*Achim Menges - Pabellón robótico para V&A.*



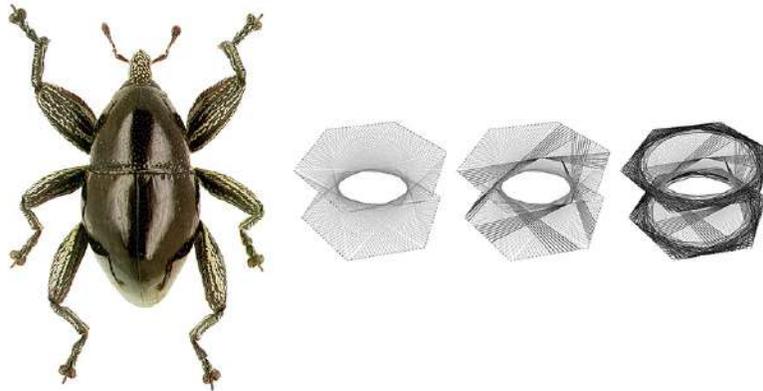
*Fuente:* Tomado de <https://www.archdaily.co/co/782286/achim-menges-crearan-pabellon-robotico-para-v-and-a>

Es imprescindible el uso de formas complejas como las que propone la naturaleza y no formas simples como la mayoría de edificios que se construyen hoy en día. La naturaleza busca la mayor eficiencia y ahorro de material posible, además de brindar eficiencia estructural y estructuras totalmente estables. Así mismo, se debe indagar en la biología para proponer principios de diseño, adoptar características tales como la reacción y cambios de forma en respuesta a factores externos como la incidencia solar y a la humedad, y priorizar el uso de materiales locales.

La naturaleza brinda formas y estructuras optimizadas, por ejemplo el caso de los escarabajos, los cuales tienen toda su estructura hecha del mismo material, pero algunas partes son más rígidas que otras debido a la cantidad de fibras y la dirección en la que éstas se encuentran dirigidas (Ver Figura 30).

**Figura 30.**

*Estructura de los escarabajos replicada en fibras de carbono.*



*Fuente:* Tomado de

<https://www.azuremagazine.com/article/architecture-education-digital-fabrication-university-stuttgart/>

Para llevar a cabo el desarrollo de este tipo de propuestas se plantean dos posibilidades las cuales son: Construir espacios paramétricos con materiales locales y tradicionales como la madera, o generar propuestas con nuevas técnicas y materiales como la fibra de carbono. El edificio se fabrica en un taller y simplemente se ensambla en el sitio como un rompecabezas tridimensional, siendo piezas, elementos o módulos individuales que se ensamblan en el sitio. Los edificios además, van a manejar altos niveles de integración entre materialidad, respuesta al contexto, estructura y especialidad, auto rendimiento, piel y estructura en uno solo, y el mayor aprovechamiento de recursos tales como la iluminación natural (Ver Figura 31).

**Figura 31.**

*Robots sincronizados de filamentos de alas sin núcleo.*



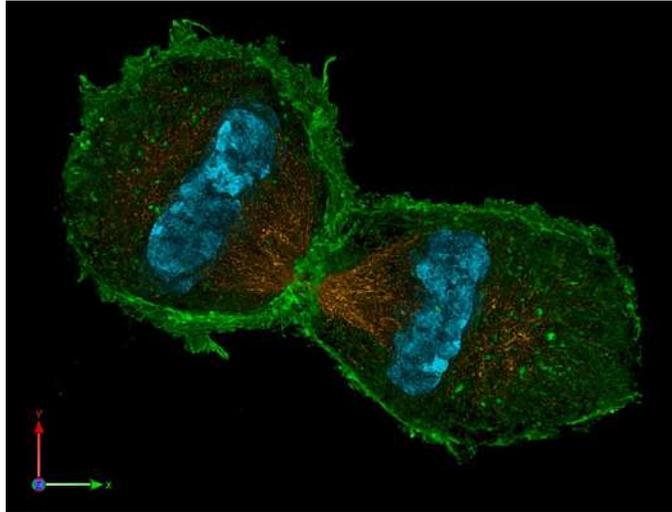
*Fuente:* Tomado de <http://www.achimnges.net/?p=5713>

### **5.3 Marco Conceptual**

En este punto y después de desarrollar un amplio panorama histórico sobre las respuestas que ha brindado la arquitectura sobre su contexto temporal, y teniendo claro el porqué el parametricismo es el nuevo gran estilo llamado a responder a la sociedad posfordista, también es necesario abordar en los conceptos y teorías que dan cabida y razón de ser a la aplicación de este estilo y la implementación de sus técnicas de diseño como lo es el diseño paramétrico.

#### **5.3.1 Autopoiesis de la Arquitectura.**

Propuesta por Patrik Schumacher, arquitecto y teórico principal de Zaha Hadid Architects, quien es considerado el padre de este nuevo estilo, la autopoiesis de la arquitectura es el principal soporte teórico en el que se apoya el parametricismo. Esta teoría se refiere a la capacidad de un edificio o conjunto de edificios para mantenerse y renovarse a sí mismos, es decir, para auto-generarse y auto-organizarse sin depender de factores externos. Esta noción se deriva de la teoría biológica de la autopoiesis propuesta por los biólogos chilenos Humberto Maturana y Francisco Varela, la cual describe la capacidad de los seres vivos para mantener su integridad y estructura mediante procesos internos y sin la necesidad de intervenciones externas (Ver Figura 32).

**Figura 32.***Proceso de mitosis en una célula.*

*Fuente:* Tomado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Autopoiesis>.

En el ámbito de la arquitectura, la autopoiesis implica la creación de edificios que se adaptan y cambian a lo largo del tiempo, de manera autónoma, en respuesta a las necesidades de sus usuarios y a las condiciones del entorno. La idea de la autopoiesis de la arquitectura se ha utilizado para promover una arquitectura más sostenible y adaptable a largo plazo, que pueda evolucionar y mantenerse a lo largo del tiempo sin perder su identidad.

La autopoiesis se proyecta como una teoría unificada que propone una auto-construcción discursiva global de la arquitectura como un proceso histórico continuo que requiere nuevos esfuerzos teóricos en cada etapa de su evolución. La teoría de la autopoiesis arquitectónica explica a la arquitectura como un subsistema distinto de la sociedad, entendida como un sistema distinto de comunicaciones. Se enfoca en las comunicaciones arquitectónicas y cómo estas dependen y reproducen estructuras de comunicación como distinciones clave, conceptos, códigos, valores, métodos y medios. La teoría de la autopoiesis no se concibe como una teoría científica sobre la arquitectura, escrita desde el exterior. Más bien, es una intervención teórica desde dentro de la propia arquitectura. Es un intento de sistematización de la arquitectura, integrada coherentemente dentro de la teoría de los sistemas sociales de Luhmann.

### **5.3.2 Sistemas Sociales de Luhmann.**

Los sistemas sociales de Niklas Luhmann (1992) son una teoría que estudia los sistemas sociales como sistemas de comunicación. Esta teoría plantea que los sistemas emergen a través de actos de distinción dentro de un entorno y son sistemas autopoieticos, es decir, que producen todas sus unidades (elementos y estructuras) dentro de su propia red recursiva de reproducción. Algunos de los sistemas sociales identificados por Luhmann incluyen el sistema político, el sistema legal, el sistema económico, el sistema de la ciencia, el sistema educativo, el sistema médico, el sistema de los medios de comunicación, el sistema de la religión y el sistema del arte. La arquitectura y las otras disciplinas del diseño también son consideradas sistemas de función autopoieticos dentro de esta teoría. En resumen, los sistemas sociales de Luhmann son un marco teórico para entender cómo los sistemas de comunicación reproducen todas sus estructuras de comunicación específicas y necesarias dentro de su propio proceso autorreferencialmente cerrado.

### **5.3.3 Sistemas Top Down y Bottom Up.**

Los sistemas top down, también conocidos como sistemas de arriba hacia abajo, son una forma de organización en la que una sola entidad, generalmente una persona, tiene un control centralizado y toma las decisiones importantes que afectan al resto del sistema. Este individuo o grupo de individuos tienen la autoridad para dictar políticas, procedimientos y objetivos para el resto.

Aunque estos sistemas pueden ser eficientes y eficaces para tomar decisiones rápidas y precisas, también pueden presentar desventajas. Una de las principales críticas a los sistemas top down es que pueden limitar la creatividad y la iniciativa de los miembros individuales del sistema. Además, los sistemas top down pueden fomentar la burocracia, la rigidez y la falta de adaptabilidad a cambios en el entorno.

En contraste, los sistemas bottom up, o de abajo hacia arriba, son sistemas más descentralizados en los cuales las decisiones surgen de las interacciones entre múltiples individuos, que a su vez, dan paso a sistemas más complejos. Estos sistemas fomentan la creatividad, la innovación y la responsabilidad individual.

### 5.3.4 Autoorganización.

La autoorganización se refiere a un proceso por el cual surge algún tipo de orden o coordinación global a partir de las interacciones locales entre los componentes de un sistema que inicialmente se encuentra en un estado de desorden. Esta característica es esencial en los sistemas emergentes, ya que permite que estos sistemas coordinen y sincronicen sus procesos de manera autónoma, sin necesidad de que un agente interno dirija estas actividades o una entidad externa las asuma (Ver Figuras 33 y 34).

**Figura 33.**

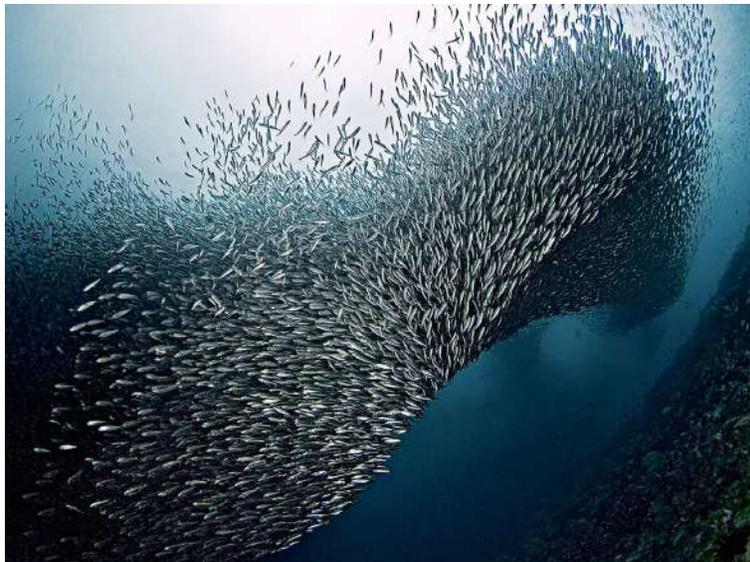
*Bandada de aves.*



*Fuente:* Tomado de <https://www.investigacionyciencia.es/images/52036/imageFacebookThumbnail.jpg>

**Figura 34.**

*Bandada de peces.*



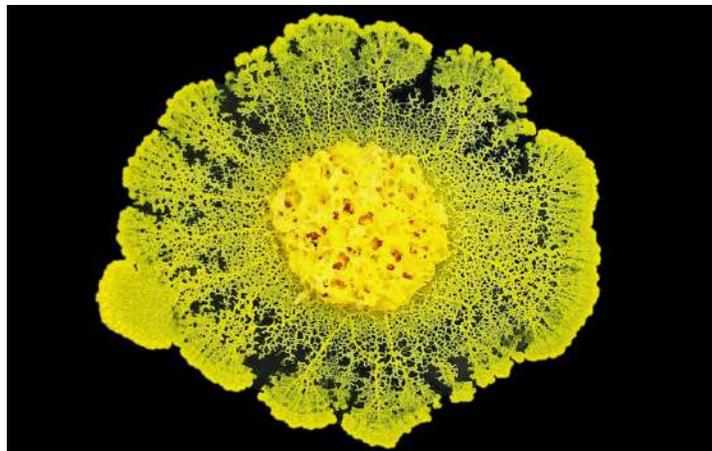
*Fuente:* Tomado de <https://www.mundoacuicola.cl/new/wp-content/uploads/2018/02/34390-copia.jpg>

### 5.3.5 Emergencia.

El fenómeno de la emergencia se refiere a un sistema mediante el cual la relación e interacción entre elementos simples dan paso a sistemas mucho más complejos. Los sistemas emergentes se caracterizan por su capacidad de adaptación a diversos parámetros, y son capaces de resolver problemas espontáneamente sin la necesidad de recurrir a una inteligencia mayor, es decir de tipo centralizado o jerarquizado (descendente), sino de forma ascendente, desde la base, a partir de masas de elementos relativamente no inteligentes. El comportamiento separado e individual, de cada uno de los agentes, al aumentar la escala, comienza a producir un comportamiento colectivo propio de un nivel de organización superior, a pesar de la aparente carencia de organización en forma de leyes o instrucciones provenientes de una autoridad superior.

El moho de fango es un ejemplo clásico de comportamiento emergente. Inicialmente, sus partículas se distribuyen aleatoriamente y a medida que crecen, comienzan a interactuar entre sí y a producir compuestos químicos que atraen o repelen a otras. Estas interacciones dan lugar a patrones complejos en la distribución, que pueden formar anillos, ramificaciones, espirales y otros patrones. El comportamiento emergente del moho de fango es resultado de la combinación de factores ambientales y la interacción entre sus partículas. No hay un plan preconcebido para la formación de los patrones, ni existe una coordinación centralizada que determine su forma final. En cambio, los patrones emergen de la interacción local de partículas, en función de las condiciones ambientales y las propiedades individuales de cada una (Ver Figura 35).

**Figura 35.**  
*Moho de fango.*



*Fuente:* Tomado de <https://ecoosfera.com/natura/moho-limo-inteligencia-comportamiento-ciencia/>

Los sistemas emergentes se encuentran presentes en todo lo que conocemos y en todas las escalas, desde la interrelación entre átomos para formar células, órganos, individuos, sociedades, etc. Estas relaciones inicialmente básicas, pero que cada vez se van volviendo más y más complejas tienen una gran similitud a lo que se conoce como fractales en la naturaleza, en donde siguen apareciendo elementos constitutivos y relaciones entre sí sin importar la escala. Cada uno de los elementos que componen a los sistemas emergentes cumple con su función específica y se relaciona o se comunica con los otros.

### 5.3.6 Parametricismo y estructuras fractales en la arquitectura vernácula.

Los fractales son patrones matemáticos que se repiten a diferentes escalas y que son comunes en la naturaleza. Este tipo de patrones se pueden observar en estructuras como las ramas de los árboles, los patrones en las conchas de caracoles y los copos de nieve. En regiones como África, la idea de agruparse en aldeas se vio claramente reflejada en su arquitectura vernácula que hacía uso de los fractales presentes en la naturaleza como método de organización. Es decir que estaban conformadas por estructuras básicas de vivienda iniciales que al agruparse formaban un elemento mucho mayor de similares características (Ver Figuras 36 y 37).

#### **Figura 36.**

*Fractales en la naturaleza.*

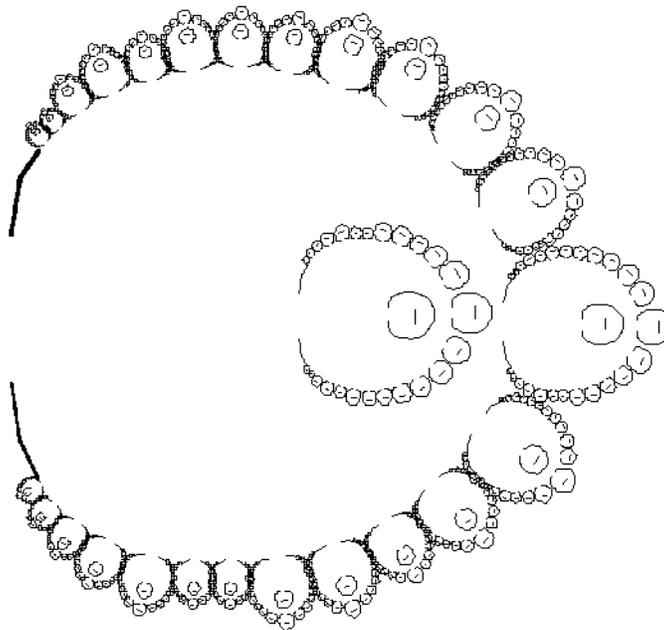


*Fuente:* Tomado de <http://davidballesteros-divulgacion.blogspot.com/2014/03/la-naturaleza-y-su-simetria-fractal.html>

**Figura 37.***Pueblo de Bai-la, Zambia.*

*Fuente:* Tomado de <https://usoarquitectura.com/arquitectura-africana-la-diversidad-de-la-cultura-africana-en-los-edificios/>

En este tipo de agrupaciones se aplica una de las características primordiales del parametricismo: que sean las múltiples interacciones entre sistemas pequeños aquellas que den origen a un sistema mayor y más complejo. La disposición de las viviendas da paso a agrupaciones mucho más complejas, que además, repiten sus características formales a diferentes escalas (Ver Figura 38).

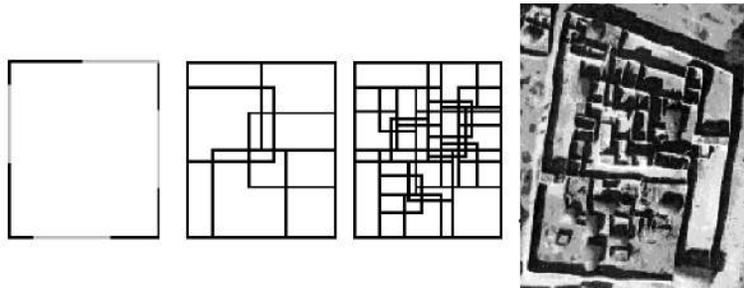
**Figura 38.***Representación en planta del Pueblo Bai-la.*

*Fuente:* Tomado de <https://ojovemarquiteto.files.wordpress.com/2010/05/2-3-3.gif>

El pueblo de Logone Birni en Camerún, maneja una organización de los edificios partiendo de una repetición de fractales rectangulares idénticos que se repite una y otra vez, pero en diferentes tamaños, orientaciones y a diferentes escalas. En Logone Birni, la arquitectura fractal no solo es una cuestión estética, sino también una forma de adaptación al clima y al entorno. Los edificios están diseñados para proporcionar sombra y ventilación natural en un clima cálido y seco, mientras que su disposición en el terreno ayuda a conservar la biodiversidad local (Ver Figura 39).

**Figura 39.**

*Logone Birni, Camerún.*



*Fuente:* Tomado de [https://images.adsttc.com/media/images/5511/6993/e58e/ceb2/7000/03e1/large\\_jpg/figura1.jpg?1427204489](https://images.adsttc.com/media/images/5511/6993/e58e/ceb2/7000/03e1/large_jpg/figura1.jpg?1427204489)

Por su parte, las comunidades Musgum en Camerún, se organizan en cúpulas de tierra comprimida, para lograr el mayor aprovechamiento del material disponible en el lugar. Cada una de las cúpulas posee una función diferente determinada por las necesidades específicas de cada familia, siendo un claro ejemplo de arquitectura sostenible y personalizable (Ver Figura 40).

**Figura 40.**

*Viviendas Musgum, Camerún.*

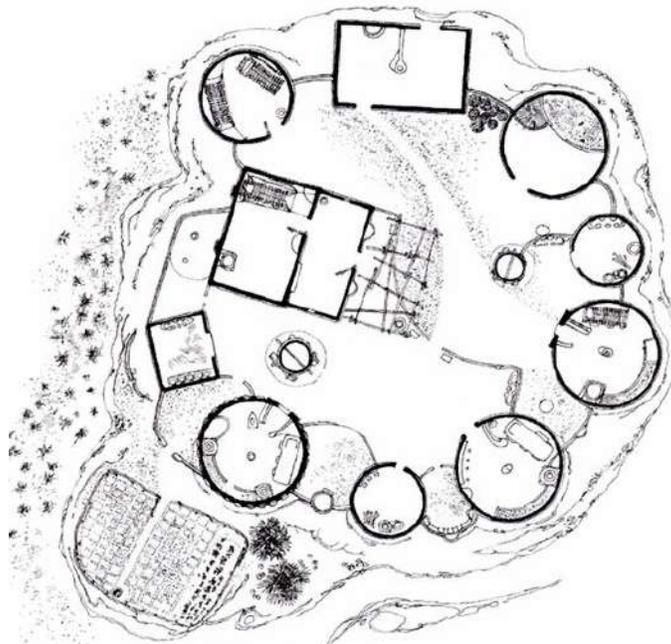


*Fuente:* Tomado de <https://www.archdaily.co/co/02-320922/arquitectura-vernacula-viviendas-musgum-en-camerun>

Tradicionalmente, las construcciones se agrupan en un círculo que puede estar compuesto hasta por quince cúpulas y el muro que las envuelve indica que todas ellas pertenecen a una misma familia. No todas las casas tienen el mismo tamaño, ya que esto depende totalmente de su función. El espacio entre ellas también tiene una finalidad definida: una zona para el ganado, una zona de juegos infantiles y una zona destinada a los consejos de familia (Ver Figuras 41 y 42).

**Figura 41.**

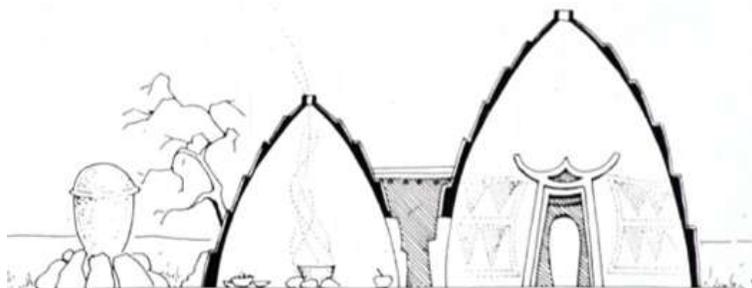
*Vista en planta de las viviendas Musgum, Camerún.*



*Fuente:* Tomado de <https://i.pining.com/originals/bb/6a/df/bb6adf22aedef3d9be1c787605752f16.gif>

**Figura 42.**

*Vista en Corte de las viviendas Musgum, Camerún.*



*Fuente:* Tomado de <https://www.archdaily.co/co/02-320922/arquitectura-vernacula-viviendas-musgum-en-camerun>

En Europa también existen casos de arquitectura vernácula tales como los *Trulli Pugliese*, en Italia. Este conjunto unido, cuyos volúmenes han surgido de manera orgánica se llama trulla, y en sus espacios se desarrolla la vida familiar. Suelen estar constituidos por un trullo principal al que se accede directamente desde la calle, y que se destacan con la cúpula más alta de la vivienda, siempre distinguida con un símbolo pintado en cal. A ésta se le adosan los trulli menores que albergan usos como el dormir, calentarse y cocinar (Ver Figuras 43 y 44).

**Figura 43.**

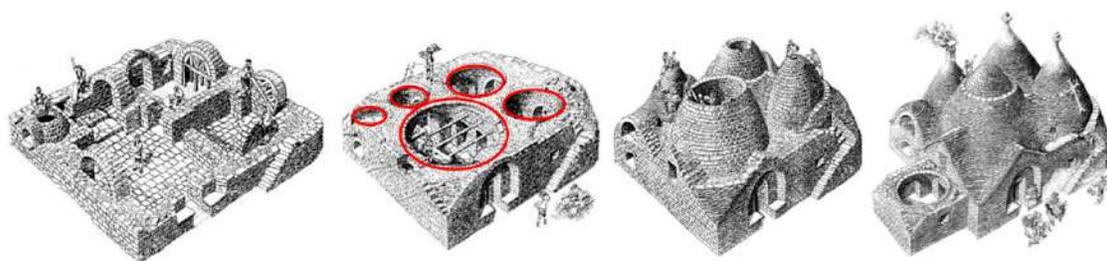
*Viviendas Trulli Pugliese, en Italia.*



*Fuente:* Tomado de <https://www.aedesars.com/data/files/imatges/1257-Trulli.jpg>

**Figura 44.**

*Esquema de las viviendas.*



*Fuente:* Elaboración propia a partir de: <https://www.archdaily.co/co/02-270071/arquitectura-popular-los-trulli-pugliese>

### 5.3.7 Vivienda de Emergencia.

La vivienda de emergencia tiene como objetivo proporcionar una solución temporal y a corto plazo al problema de habitabilidad de una o varias personas que se ven afectadas por un evento catastrófico que inhabilita su hogar. Si bien la finalidad de una vivienda de emergencia es brindar refugio temporal, en muchas ocasiones, debido a la incapacidad de construir una vivienda de mejor calidad, termina siendo una solución permanente (Ver Figura 45).

**Figura 45.**

*Viviendas de emergencia en madera para damnificados por sismos.*



*Fuente:* Tomado de <https://www.forestalmaderero.com/wp-content/uploads/2017/09/casa-emergente.jpg>

De este modo, es necesario que este tipo de viviendas cuenten con estructuras modulares de fácil montaje y traslado, que permitan resguardar las actividades cotidianas básicas como comer y dormir, además de velar por la privacidad de sus moradores. Tampoco requieren del uso de mano de obra especializada, pues deberán contar con un mecanismo de construcción rápido, que pueda ser levantado por voluntarios en un par de días. Además de ser capaces de resistir los distintos climas estacionales de un año (Ver Figura 46).

**Figura 46.***Refugios plegables de bambú en China.**Fuente: Tomado de <https://www.studioseed.net/>*

En la actualidad, gracias a la incorporación de herramientas digitales, la construcción de viviendas mediante impresión 3D permite experimentar con una gran cantidad de opciones volumétricas y paramétricas, ya que se cuenta con una mayor flexibilidad en el diseño y se eliminan las limitaciones impuestas por las rigideces estructurales tradicionales. Además, la impresión 3D de viviendas ofrece una serie de ventajas adicionales, como la posibilidad de reducir los costos y los tiempos de construcción, así como la creación de viviendas más resistentes y duraderas. Esto es especialmente importante en situaciones de emergencia, donde se requiere la construcción rápida de viviendas para dar respuesta a las necesidades de las personas afectadas (Ver Figura 47).

**Figura 47.***Vivienda impresa en Italia a cargo de Mario Cucinella Architects.**Fuente: Tomado de <https://faircompanies.com/articles/de-construir-casas-a-imprimirlas-primeras-versiones-viables/>*

### 5.3.8 Domos Geodésicos.

Los domos o cúpulas geodésicas, ideadas por Richard Buckminster Fuller, son estructuras esféricas o semiesféricas que se componen de caras triangulares o poligonales, originalmente diseñadas para servir como viviendas económicas. Su eficiencia se basa en varios factores: por un lado, su diseño permite distribuir la tensión de la estructura en toda su superficie, en lugar de en pocos puntos de apoyo, y por otro lado, requieren una cantidad reducida de materiales para su construcción, a pesar de encerrar grandes volúmenes de espacio en una superficie menor (Ver Figura 48).

**Figura 48.**

*Vivienda geodésica en madera.*



*Fuente:* Tomado de

<https://bucket.mlcdn.com/a/2229/2229610/images/422709447ede088a3170d92156471c68a6ddda8a.jpeg>

No es extraño que la geometría fuera el lenguaje dispuesto por el arquitecto para manifestar funcionalidad y conciencia ecológica, así como para establecer paralelismos entre los procesos sociales y naturales. A través de esta geometría, Fuller encontró la posibilidad de articular ciudades, viviendas y caminos que pudieran servir de manera equilibrada a sus usuarios y habitantes. Además, la construcción de estas estructuras no tiene por qué ser costosa y su mantenimiento como vivienda tampoco, debido a la eficiente gestión de la energía que ofrece. De hecho, el domo geodésico mantiene una temperatura estable en su interior y su forma cóncava permite la circulación libre del aire, lo que contribuye a su eficiencia energética (Ver Figura 49).

**Figura 49.**

*Vivienda geodésica con estructura en acero.*



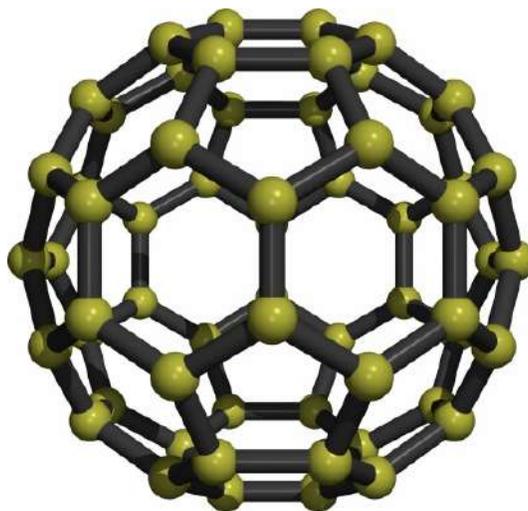
*Fuente:* Tomado de

<https://bucket.micdn.com/a/2229/2229610/images/422709447ede088a3170d92156471c68a6ddda8a.jpeg>

La conciencia ecológica de Fuller contribuyó a la eficiencia y sostenibilidad en la arquitectura, mientras que al mismo tiempo, se desperdiciaban materiales nuevos en la construcción de edificios poco eficientes. Su profunda conexión con la naturaleza y sus elementos y estructuras fue tan significativa que se nombró una molécula de carbono en su honor, conocida como fullereno o buckminsterfullereno, la cual tiene una estructura similar a la cúpula geodésica y puede adoptar formas geométricas que se asemejan a una esfera, un elipsoide o un anillo (Ver figura 50).

**Figura 50.**

*Estructura de un Fullereno.*



*Fuente:* Tomado de <http://belenperezcmc.files.wordpress.com/2012/06/fullereno1.jpg>

### 5.3.9 Arquitectura Biomimética.

La arquitectura biomimética se inspira en la naturaleza para crear edificios más sostenibles y más saludables para las personas explorando soluciones en la naturaleza a través de la comprensión de las normas que las rigen, sin replicar puramente sus formas. Este enfoque multidisciplinario busca seguir una serie de principios en lugar de centrarse en códigos estilísticos.

Algunos ejemplos se involucran más fuertemente en los procesos naturales para generar sistemas funcionales a modo de “edificios vivos”, mientras que otros proyectos toman ciertos elementos formales para conformar una estructura o un concepto constructivo que también se traduce en beneficios según sus requerimientos específicos. En este caso, se aplicaron atractores de incidencia sobre láminas de madera, las cuales se abren en los puntos donde haya mayor humedad (Ver Figura 51).

**Figura 51.**

*Hygroscope - Centro pompidou.*



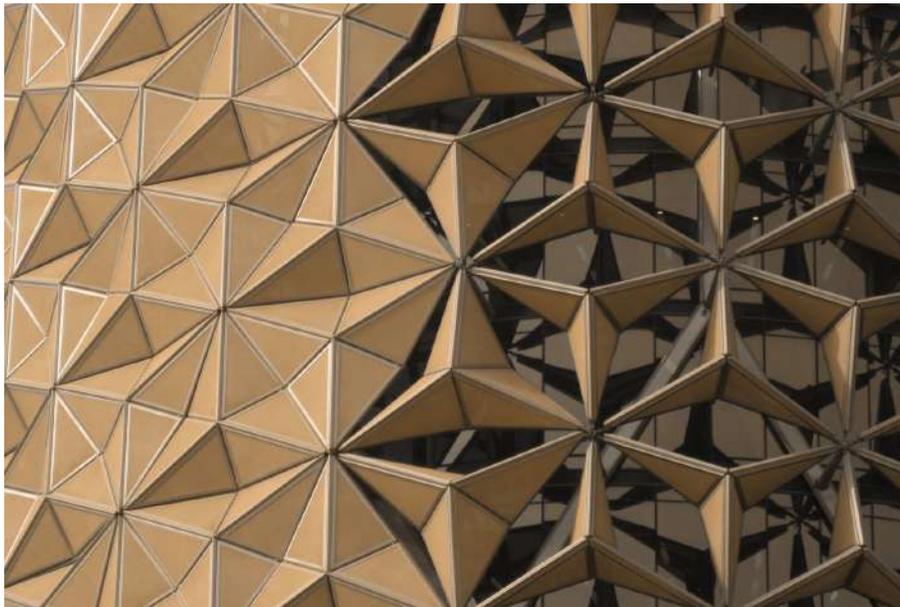
*Fuente:* Tomado de <https://rethinkinglab.wordpress.com/2012/09/16/hygroscope-morfologia-metereosensitiva/>

### 5.3.10 Arquitectura dirigida por eventos.

La arquitectura dirigida por eventos es un patrón de diseño basado en la producción, detección y reacción ante eventos que tienen lugar a tiempo. Una arquitectura que es capaz de reaccionar inmediatamente a diferentes tipos de estimulantes necesita de una sociedad y un entorno dinámico y adaptativo. Es por esta razón que la implementación tecnológica es indispensable, de esta manera la arquitectura dejará de ser estática y empezará a ser capaz de responder en tiempo real. En contraste está la arquitectura convencional, la cual podría llegar a responder a ciertas acciones, pero no de manera autónoma, sino a través de sistemas tradicionales donde los componentes se encuentran limitados por mecanismos de control centralizados (Ver Figura 52).

**Figura 52.**

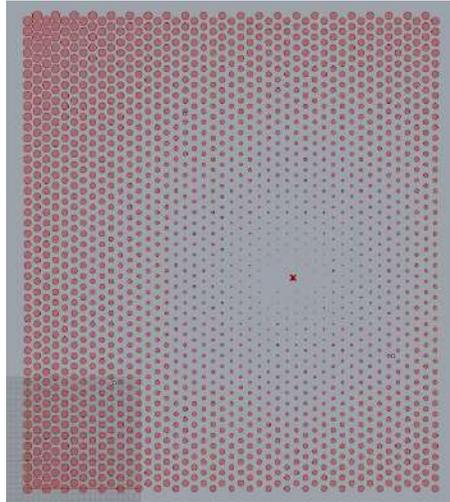
*Fachada de las torres Al Bahar en Abu Dhabi.*



*Fuente:* Tomado de <https://alubuild.com/en/architecture-kinetic-facades/>

### 5.3.11 Atractores.

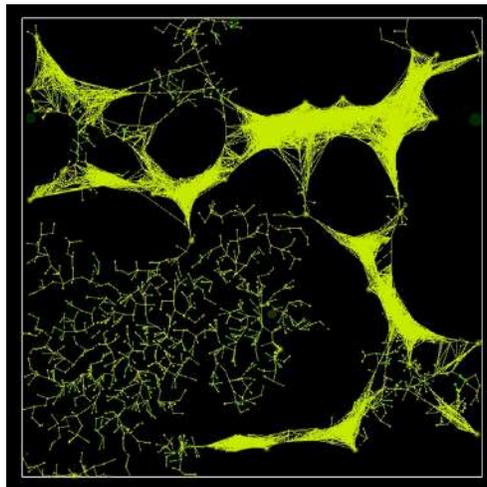
Un atractor es un conjunto de valores numéricos hacia los cuales un sistema tiende a evolucionar, dada una gran variedad de condiciones iniciales en el sistema. Sobre un terreno el concepto de atractores puede funcionar para acercarse o alejarse progresivamente de ciertos elementos a los que se considere amenazas o puntos de referencia (Ver Figura 53).

**Figura 53.***Punto Atractor en Grasshopper.*

*Fuente:* Tomado de <https://www.grasshopper3d.com/forum/topics/attractor-points-9>

### **5.3.12 Modelo Basado en Agentes.**

Un modelo basado en agentes es un tipo de modelo computacional que permite la simulación de acciones e interacciones de individuos autónomos dentro de un entorno, para poder determinar qué efectos producen en el conjunto del sistema. Los modelos simulan las operaciones simultáneas de entidades múltiples (agentes) en un intento de recrear y predecir las acciones de fenómenos complejos. Es un proceso de emergencia desde el nivel más elemental: micro, al más elevado: macro (Ver Figura 54).

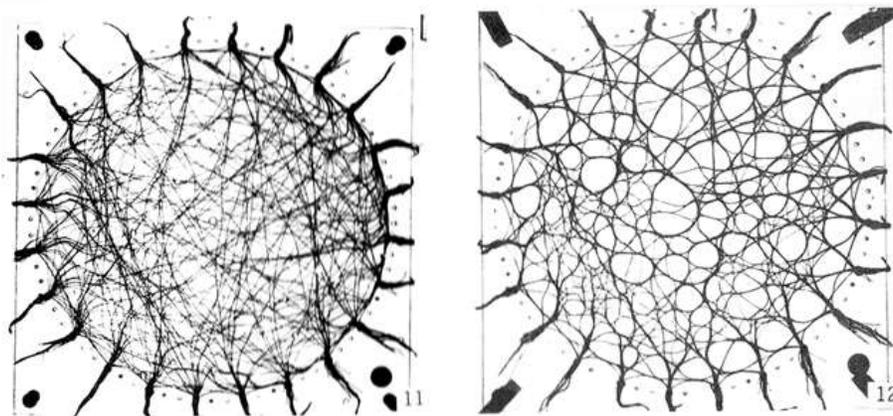
**Figura 54.***Modelo basado en agentes.*

*Fuente:* Tomado de <https://www.youtube.com/watch?v=5Zxws6Ub5-U&list=LL&index=8>

### 5.3.13 Hilos Húmedos.

Los Caminos de Hilos Húmedos es una técnica de diseño desarrollada por el arquitecto e ingeniero alemán Frei Otto para crear modelos de caminos y senderos curvos. Consiste en estirar hilos de algodón o nylon sobre una superficie cubierta de arena húmeda para crear una membrana tensa y curvada que representa la superficie del camino. Los hilos se ajustan y reajustan hasta lograr la forma deseada, y luego se espolvorea arena fina sobre la membrana para endurecerla y crear una superficie sólida. La técnica ha sido utilizada en proyectos de paisajismo y diseño urbano para crear senderos sinuosos y orgánicos (Ver Figura 55).

**Figura 55.**  
*Hilos Húmedos.*

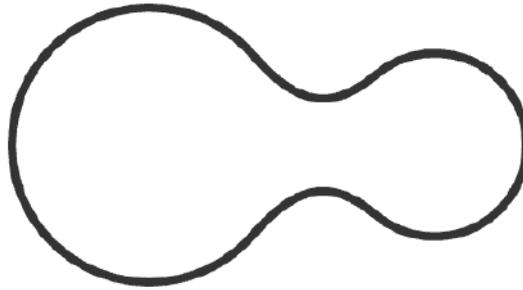


Fuente: Tomado de <https://www.grasshopper3d.com/m/blogpost?id=2985220%3ABlogPost%3A1689773>.

### 5.3.14 Metaballs.

Los metaballs son una técnica de diseño paramétrico que se utiliza para crear superficies orgánicas suaves y fluidas mediante la manipulación de una serie de objetos de geometría básica. En lugar de construir una superficie poligonal o de malla, los metaballs utilizan una serie de objetos esféricos, elipsoides u otras formas básicas para definir una superficie continua y suave. Estos objetos se denominan "*metaballs*" porque se comportan como partículas cargadas que interactúan entre sí, generando una superficie común donde se cruzan. La forma y posición de los metaballs se pueden ajustar mediante parámetros de control, como su tamaño, posición, densidad, y la fuerza de atracción o repulsión entre ellos (Ver Figura 56).

**Figura 56.**  
*Metaballs.*

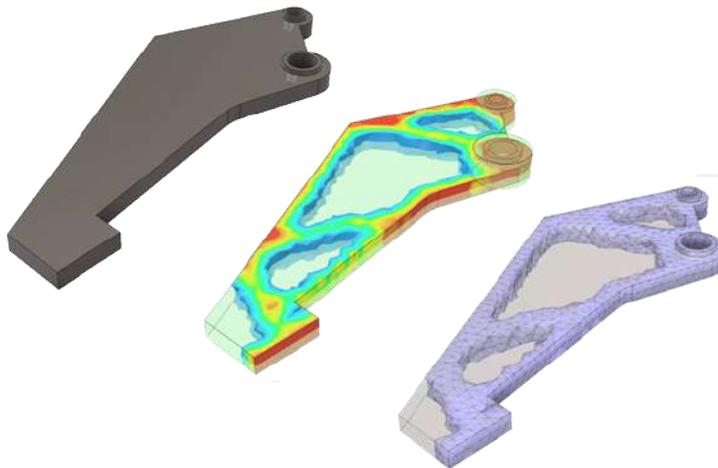


*Fuente:* Tomado de <https://medium.com/@tbarrasso/advanced-meta-metaballs-864bbf0a945c>.

### 5.3.15 Optimización Estructural.

La optimización estructural es el proceso para encontrar la mejor estructura que cumpla con todos los requerimientos multidisciplinarios impuestos por la funcionalidad y condiciones de manufactura. Dentro del diseño paramétrico, este proceso se puede llevar a cabo por medio del *Form-Finding* o el descubrimiento de la forma, el cual busca encontrar una forma óptima de una estructura hasta que se encuentre o se aproxime a un estado de equilibrio estático con el mayor ahorro de material posible. Es similar al proceso de optimización topológica pero a mayor escala, el cual tiene las mismas premisas y como principal objetivo el aligeramiento estructural manteniendo las funcionalidades mecánicas del componente objetivo (Ver Figura 57).

**Figura 57.**  
*Proceso de Optimización Topológica.*

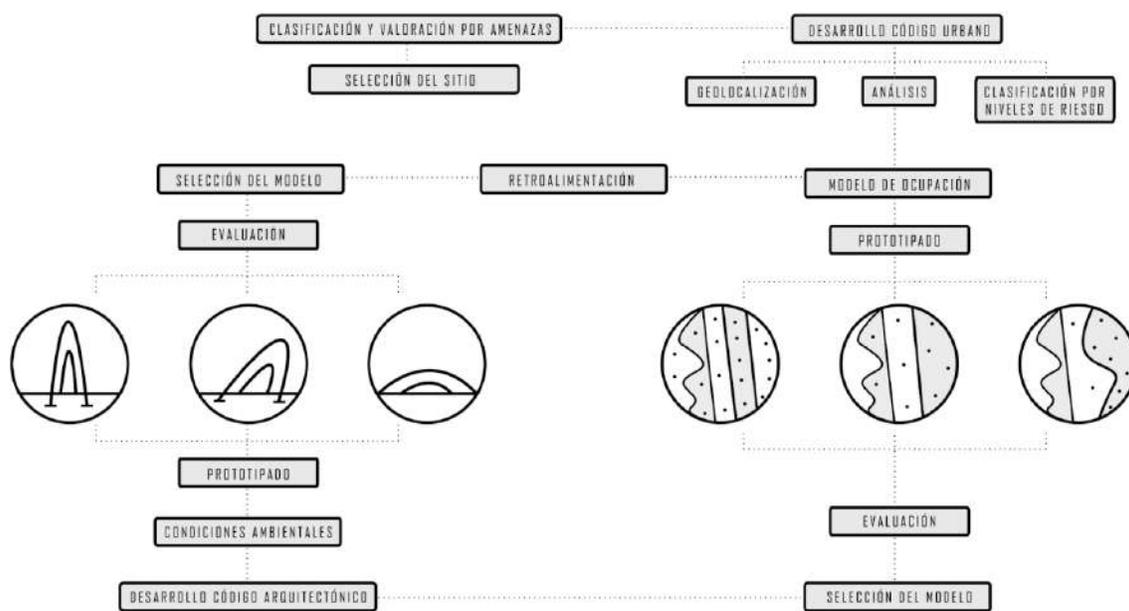


*Fuente:* Tomado de <http://ingenio-triana.blogspot.com/2018/01/la-optimizacion-topologica-el-diseno.html>

## 6. Metodología

El proceso metodológico aplicado en el desarrollo del proyecto mantiene una estructura basada en las premisas de los sistemas *bottom up*, es decir que el proyecto no es producto de un proceso lineal donde se tomaron decisiones directamente sobre su forma, sino que surge de diferentes interacciones con el entorno mediante un proceso descentralizado e iterativo que puede ser aplicable a cualquier sitio (Ver Figura 58).

**Figura 58.**  
*Metodología de Trabajo.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

### 6.1 Diseñar un proceso de selección de campo de trabajo.

#### 6.1.1 Determinar los criterios de selección.

6.1.1.1 Obtener o producir información cartográfica de los campos de trabajo seleccionados.

6.1.1.2 Identificar variables climáticas de los campos de trabajo seleccionados.

6.1.1.3 Crear una tabla de selección de campos de trabajo en función de las principales amenazas naturales como inundaciones, sismos y deslizamientos en el departamento de Nariño.

**6.2** Aplicar un algoritmo que permita parametrizar las variables de amenazas naturales y realice un modelo de ocupación según una zonificación de niveles de riesgo en función de la proximidad al epicentro o fuente de la amenaza, y determine posiciones y densidad de ocupación según el nivel de riesgo.

6.2.1 Evaluar los diferentes resultados y elegir el modelo de ocupación más óptimo.

**6.3** Aplicar el algoritmo a partir de este modelo de ocupaciones, en el cual se determinen aspectos tecnológicos y estructurales para las viviendas de acuerdo con los niveles de riesgo determinados anteriormente.

6.3.1 Parametrizar las respuestas morfológicas a cada una de las amenazas que inciden en los campos de trabajo.

6.3.2 Incluir las variables climáticas y de actividades propias de cada campo de trabajo.

6.3.3 Evaluar los fenotipos resultantes con diferentes asignaciones cuantitativas de los parámetros de las amenazas ambientales propias de cada campo.

6.3.4 Definir mejores respuestas, de acuerdo con los criterios principales como: adaptabilidad, eficiencia, congenialidad, personalización, entre otras.

6.3.5 Desarrollar soluciones y procesos constructivos de las respuestas finales a cada una de las zonas y niveles de riesgo.

6.3.6 Realizar análisis comparativo de las propuestas y determinar si el producto mejoraría las opciones tecnológicas existentes en cada una de sus zonas.

## 7. Desarrollo.

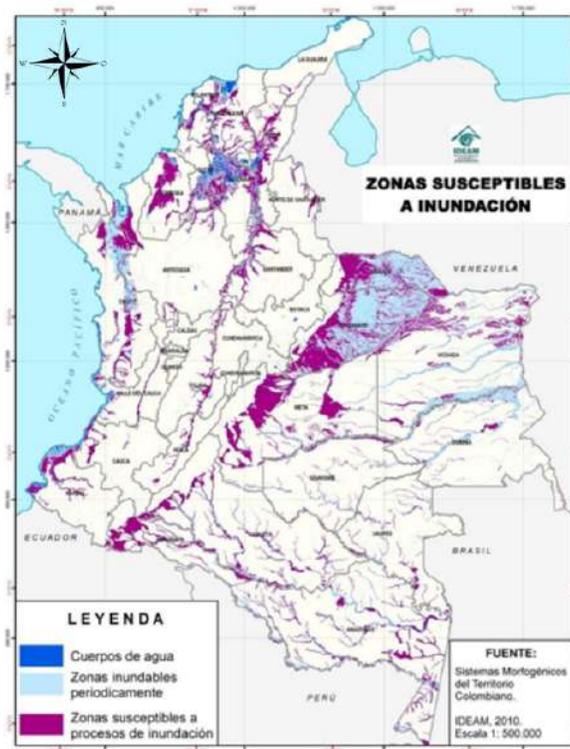
El proyecto pretende llegar a ser un modelo aplicable en cualquier sitio, el cual adopte las diferentes variables del lugar y sea capaz de adaptarse y brindar la solución más óptima para mitigar los riesgos ambientales presentes, independientemente de su ubicación. Para evidenciar su adaptabilidad, los códigos tanto a escala macro como a escala micro serán aplicados sobre tres sitios de trabajo, los cuales serán elegidos en función de su susceptibilidad frente a amenazas naturales y su diferenciación en cuanto a variables climáticas.

### 7.1 Clasificación y Valoración por Amenazas.

Inicialmente se hace una recopilación de datos e información cartográfica referente a los riesgos que se tendrán en cuenta para la selección de los sitios de trabajo. Empezando por las zonas susceptibles a inundaciones, riesgo que se incrementa en las zonas costeras del departamento y en las riberas de los principales ríos (Ver Figura 59).

**Figura 59.**

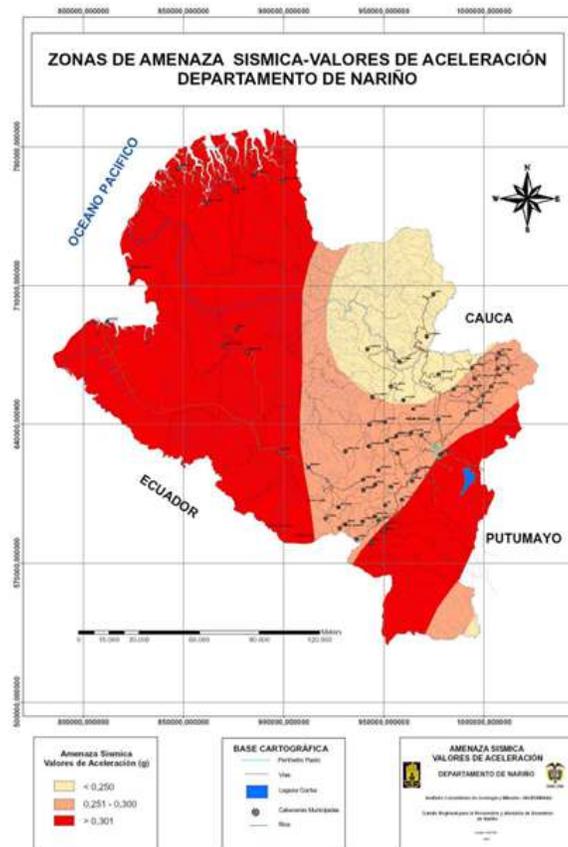
*Zonas susceptibles a inundación.*



*Fuente:* Tomado de IDEAM.

El departamento de Nariño en general es propenso a la actividad sísmica debido a su ubicación geográfica. El riesgo sísmico se ve acentuado por la presencia de varios volcanes activos en la zona, lo que aumenta la posibilidad de erupciones y desprendimientos de tierra. Es importante tener en cuenta que el riesgo sísmico no es homogéneo en todo el departamento de Nariño. De hecho, según los estudios realizados, la mayor parte del territorio presenta zonas de amenaza sísmica moderada, mientras que algunas áreas, especialmente las ubicadas cerca de los volcanes, presentan un riesgo mayor (Ver Figura 60).

**Figura 60.**  
*Zonas de amenaza sísmica.*



*Fuente:* Tomado de Servicio Geológico Colombiano SGC.

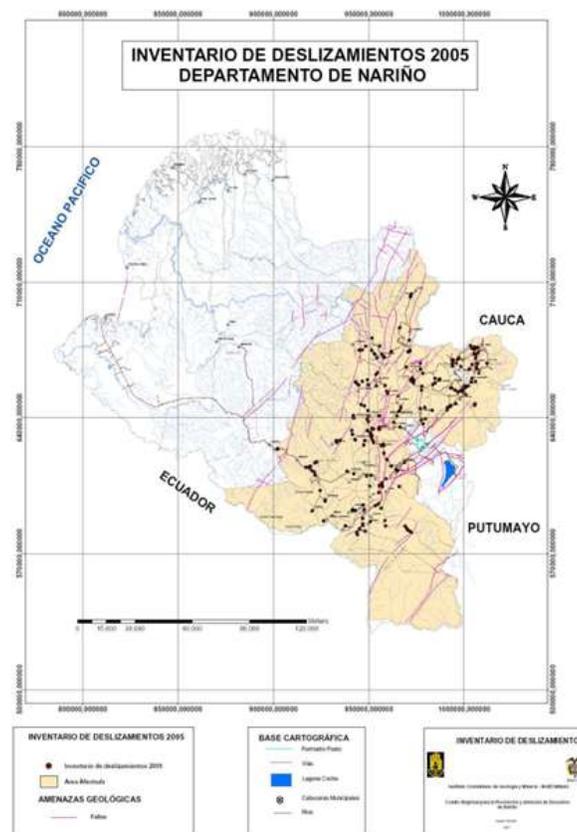
El inventario de deslizamientos en Nariño se agrupa básicamente en la zona occidental del departamento. Esta zona es particularmente vulnerable debido a su topografía, que incluye laderas escarpadas y suelos poco estables. Además, la presencia de ríos y la intensa actividad agrícola y ganadera pueden contribuir a la erosión del suelo y aumentar el riesgo de deslizamientos.

Es importante tener en cuenta que, aunque los deslizamientos se concentran en la zona occidental de Nariño, esto no significa que otras áreas estén exentas de riesgo. De hecho, es posible que se produzcan deslizamientos en otras partes del departamento debido a factores como la intensidad de las lluvias, la actividad sísmica o la construcción de infraestructuras en zonas inestables.

Para prevenir los deslizamientos y reducir su impacto en la población, es importante realizar estudios de riesgo y monitorear las zonas identificadas como vulnerables. Además, se pueden implementar medidas preventivas como la construcción de terrazas, muros de contención y la reforestación de las laderas (Ver Figura 61).

**Figura 61.**

*Zonas susceptibles a deslizamientos.*



*Fuente:* Tomado de Servicio Geológico Colombiano SGC.

Se lleva a cabo una comparación entre las zonas con mayor riesgo de amenazas naturales dentro del departamento de Nariño para posteriormente poder diferenciar el tipo de amenaza y elegir las más afectadas para aplicar el código en dichas zonas (Ver Cuadro 2).

**Cuadro 2.***Matriz de Amenazas Naturales.*

MATRIZ DE AMENAZAS NATURALES										
Variable	Tumaco	Barbacoas	Pasto	San Pablo	El Tambo	San Bernardo	La Cruz	Cumbal	La Florida	Nariño
Inundación	ALTA	ALTA	MEDIA	-	-	ALTA	-	-	-	-
Sismo	>0,301g	>0,301g	>0,301g	0,251 - 0,300g	<0,250g	0,251 - 0,300g				
Deslizamiento	-	ALTA	MEDIA	ALTA	ALTA	-	-	-	-	-

*Fuente:* Elaboración Propia.

De acuerdo a la mayor incidencia de riesgos sobre los sitios evaluados, se eligen 3 zonas totalmente diferentes la una de la otra para que sea más evidente la aplicabilidad del algoritmo en cualquier sitio y frente a diferentes tipos de amenazas naturales. Nuevamente se recopilan datos e información cartográfica pero esta vez sobre las condiciones ambientales de los sitios de trabajo (Ver Cuadro 3).

**Cuadro 3.***Matriz Ambiental de Campos de Trabajo.*

MATRIZ AMBIENTAL DE CAMPOS DE TRABAJO			
Variable	Tumaco	Barbacoas	Pasto
Clasificación Climática	Cálido Semi Húmedo	Cálido Super Húmedo	Muy frío Super Húmedo
Temperatura Media Anual	24-26 °C	22-24 °C	8-12 °C
Precipitación Media Anual	2.500-3.000 mm	5.000-7.000 mm	1.000-1.500 mm
Índice Ultravioleta	6-7	7-8	9-10
Velocidad del Viento	4-5 m/s	2-3 m/s	7-8 m/s
Distribución Brillo Solar	3-4 h/día	2-3 h/día	4-5 h/día
No. Días con Lluvia Total Anual	150-200	300-350	200-250
Humedad Relativa Anual	85-90%	90-95%	80-85%
Radiación Solar	3.5-4.0 KWh/m2/día	2.5-3.0 KWh/m2/día	4.0-4.5 KWh/m2/día

*Fuente:* Elaboración propia a partir de IDEAM.

**7.2 Aplicación de la metodología.****7.2.1 Geolocalización.**

El primer sitio de trabajo es en el municipio de Barbacoas, Nariño, sobre el río Telembí. La metodología se aplica sobre una porción de terreno aledaña aún sin habitar para que la implantación no se vea condicionada por factores distintos al riesgo y las condiciones topográficas del sitio (Ver Figuras 62 y 63).

**Figura 62.**

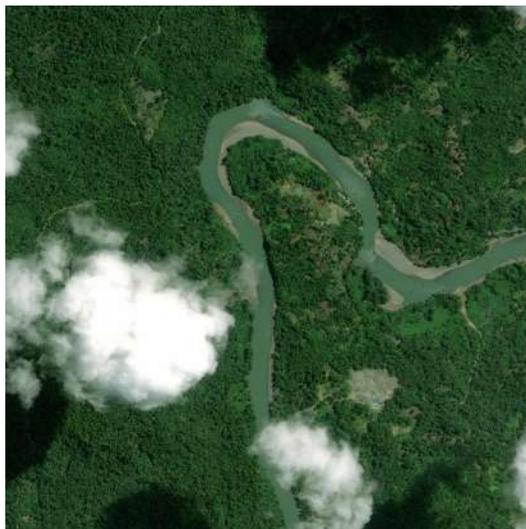
*Localización de Barbacoas en Nariño, Colombia.*



*Fuente:* Tomado de [https://en.wikipedia.org/wiki/Barbacoas,\\_Nari%C3%B1o](https://en.wikipedia.org/wiki/Barbacoas,_Nari%C3%B1o)

**Figura 63.**

*Sitio de trabajo en Barbacoas.*



*Fuente:* Tomado de Google Earth.

El segundo sitio de trabajo para la implementación del código es el municipio de Pasto, Nariño, sobre el río Pasto en el sector de Briceño. De igual manera se desarrolla el proyecto en una zona que aún no está intervenida para poder trabajar únicamente frente a las condiciones naturales del sitio (Ver Figuras 64 y 65).

**Figura 64.**

*Localización de Pasto en Nariño, Colombia.*



*Fuente:* Tomado de

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia\\_-\\_Nari%C3%B1o\\_-\\_San\\_Juan\\_de\\_Pasto.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Nari%C3%B1o_-_San_Juan_de_Pasto.svg)

**Figura 65.**

*Sitio de trabajo en Pasto.*



*Fuente:* Tomado de Google Earth.

El tercer sitio de trabajo para la implementación del código es el municipio de Tumaco, Nariño, sobre las riberas que desembocan en el océano pacífico muy cercano a los manglares. Igualmente el proyecto se lleva a cabo sobre una zona sin intervenir y con muchas áreas de protección a su alrededor para hacer más evidente la respuesta a las condiciones de riesgo y climáticas del sitio (Ver Figuras 66 y 67).

**Figura 66.**

*Localización de Tumaco en Nariño, Colombia.*



*Fuente:* Tomado de [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia\\_-\\_Nari%C3%B1o\\_-\\_Tumaco.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Nari%C3%B1o_-_Tumaco.svg)

**Figura 67.**

*Sitio de trabajo en Tumaco.*



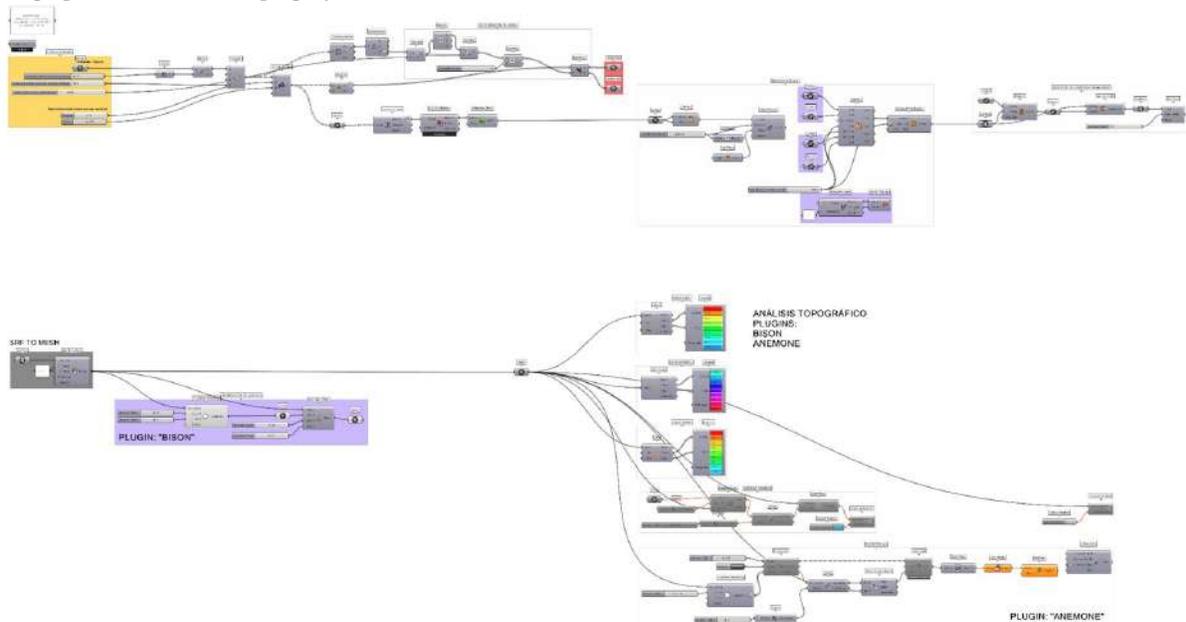
*Fuente:* Tomado de Google Earth.

## 7.2.2 Análisis Topográfico.

Inicialmente se aplica un código para analizar las diferentes características de los terrenos que podrían condicionar la posterior implantación de las viviendas. A partir de estos datos se podrán clasificar las áreas óptimas y aquellas que deben ser descartadas por sus condiciones adversas. Los parámetros a analizar sobre el terreno en esta primera parte son las pendientes, concavidades, elevaciones, visuales y escorrentías (Ver Figura 68).

**Figura 68.**

*Código para el análisis topográfico.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

### 7.2.2.1 Análisis de Pendientes.

Se elabora un análisis de pendientes con el plugin *Bison*, el cual ofrece diferentes herramientas para el análisis topográfico. El análisis de pendientes permite identificar las áreas que son adecuadas para el asentamiento de viviendas y aquellas que deben ser evitadas debido a su inclinación. Al analizar las pendientes, se consideran diversos factores que afectan la estabilidad de las viviendas, como la resistencia del suelo, la exposición a fenómenos naturales como inundaciones o deslizamientos, y la capacidad de drenaje del terreno. Al identificar las áreas restringidas, se pueden tomar medidas para reducir los riesgos asociados con la construcción de viviendas en los terrenos inestables (Ver Figura 69).

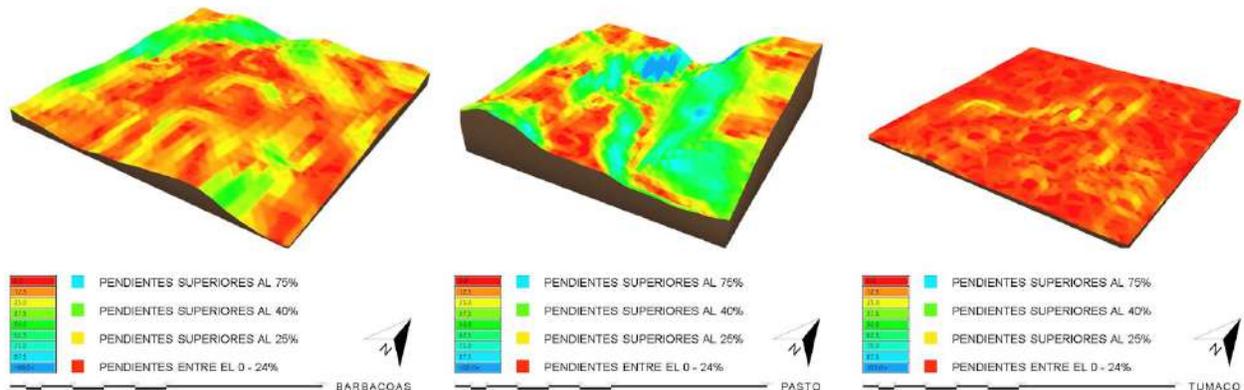
**Figura 69.**  
*Logo del plugin Bison.*



*Fuente:* Tomado de <https://www.food4rhino.com/en/app/bison>

Por otro lado, el análisis de pendientes también permite identificar las áreas óptimas de implantación. Estas áreas suelen ser aquellas que presentan pendientes moderadas, buena resistencia del suelo y un drenaje adecuado. Al identificar estas áreas, se pueden maximizar los recursos disponibles para la construcción de viviendas, asegurando su sostenibilidad y su capacidad para proporcionar un entorno seguro y habitable para sus residentes (Ver Figura 70).

**Figura 70.**  
*Análisis de pendientes.*

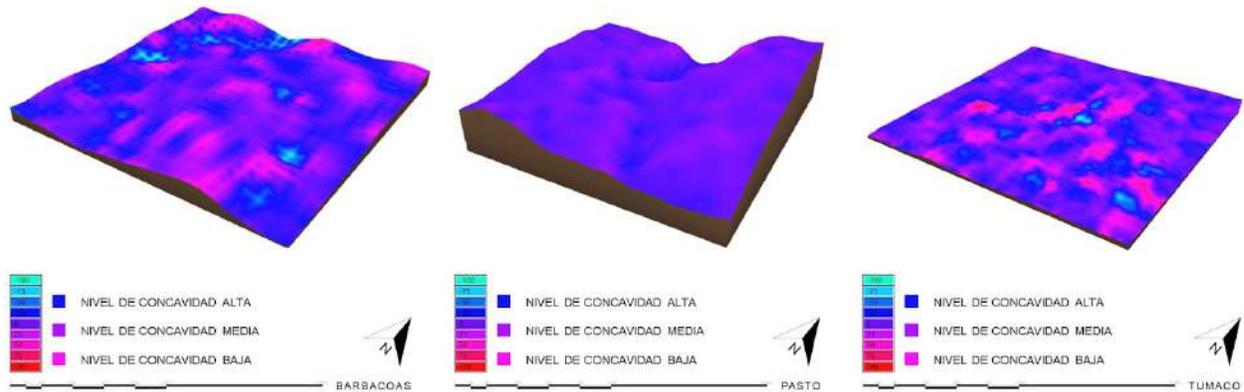


*Fuente:* Elaboración Propia.

### 7.2.2.2 Análisis de Concavidades.

Se elabora un análisis de concavidades con Bison para identificar las depresiones o áreas hundidas en la superficie del terreno. Su evaluación es esencial para comprender el comportamiento hidrológico del terreno, ya que estas áreas son propensas a la acumulación de agua. De esta forma también es posible descartar aquellas áreas que sean susceptibles de inundaciones (Ver Figura 71).

**Figura 71.**  
*Análisis de concavidades.*

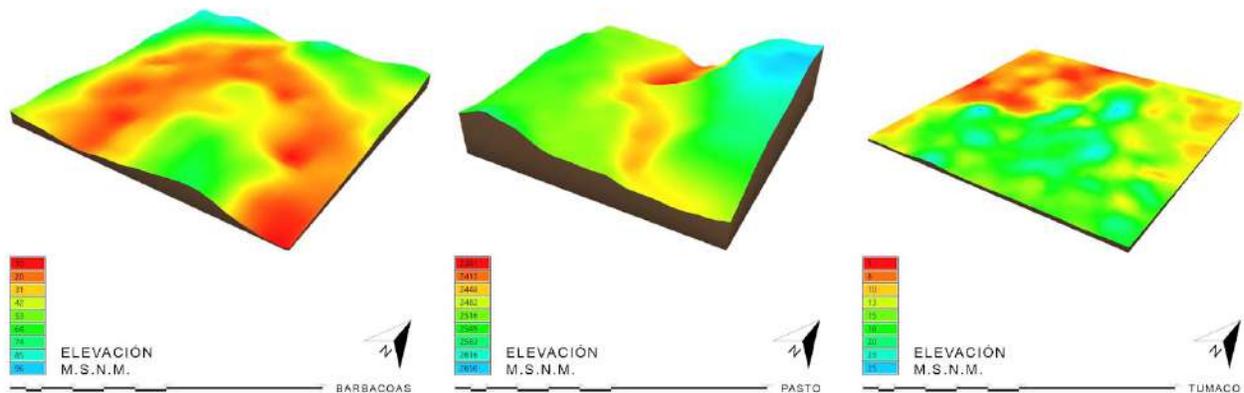


*Fuente:* Elaboración Propia.

### 7.2.2.3 Análisis de Elevaciones.

Se elabora un análisis de elevaciones con Bison para identificar las altitudes y variaciones de altura del terreno, lo que permite evaluar la accesibilidad y la seguridad de las áreas de asentamiento. El análisis de elevaciones también permite identificar las áreas restringidas para la construcción de viviendas debido a la inclinación del terreno y a la presencia de acantilados o pendientes peligrosas. Además, este análisis es esencial para la identificación de zonas de riesgo de inundaciones, ya que se pueden identificar las áreas bajas del terreno y evaluar el potencial de inundación. Y por último es indispensable para poder determinar zonas con mayor altura referente al riesgo, siendo éstas las áreas que serán densificadas más adelante (Ver Figura 72).

**Figura 72.**  
*Análisis de elevaciones.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

#### 7.2.2.4 Análisis de Visuales.

Se elabora un análisis de visuales con Bison que permite evaluar las perspectivas y los puntos de vista que se tienen desde diferentes puntos del terreno, lo que resulta esencial para determinar las áreas de implantación más óptimas en cuanto al factor visual sobre el terreno. Al realizar el análisis de visuales, se pueden identificar los puntos de vista más significativos del paisaje y evaluar cómo se vería el proyecto desde cada uno de estos puntos. Así, es posible determinar si el proyecto se integra adecuadamente en el paisaje, si se mantiene una armonía visual con su entorno y si se respetan las características del paisaje circundante (Ver Figura 73).

**Figura 73.**  
*Análisis de visuales.*

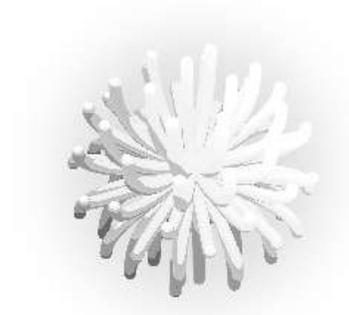


*Fuente:* Elaboración Propia.

#### 7.2.2.5 Análisis de Escorrentías.

Se elabora un análisis de escorrentías con el plugin Anemone, el cual permite crear iteraciones y bucles, además de la automatización de procesos complejos y la creación de patrones y secuencias iterativas que serían muy difíciles de crear de forma manual. Entre las funcionalidades que ofrece Anemone se encuentran el control de flujos, la creación de algoritmos recursivos y la generación de secuencias iterativas, lo que permite trabajar con un alto grado de precisión y control (Ver Figura 74).

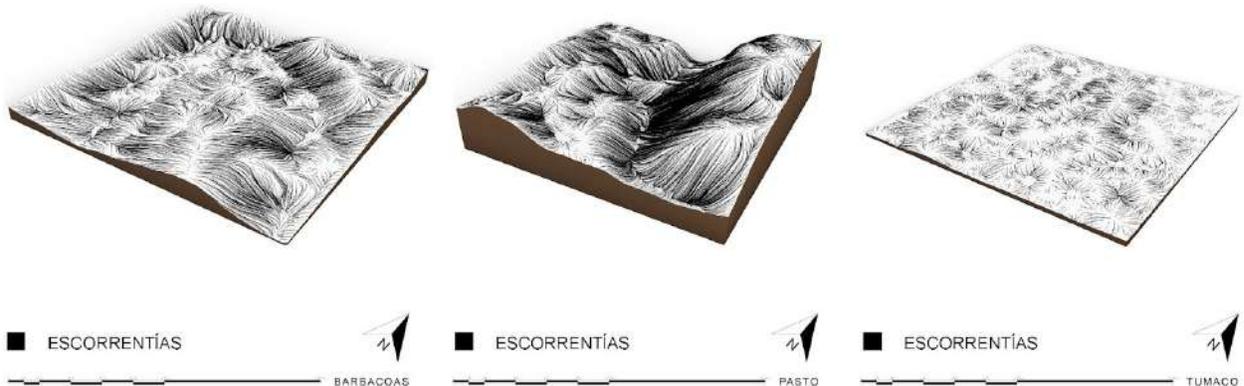
**Figura 74.**  
*Logo del plugin Anemone.*



*Fuente:* Tomado de <https://www.food4rhino.com/en/app/anemone>

El análisis de escorrentías es fundamental para la generación de los modelos de ocupación, especialmente en áreas con fuertes lluvias y terrenos montañosos. Este tipo de análisis permite identificar y descartar las zonas con mayores probabilidades de deslizamientos debido a las lluvias, lo que resulta esencial para garantizar la seguridad y la sostenibilidad de los asentamientos. Al realizar el análisis de escorrentías, se evalúa cómo fluye el agua de lluvia en el terreno, se identifican los puntos de acumulación de agua y se determinan las áreas donde existe un alto riesgo de deslizamientos y erosión del suelo (Ver Figura 75).

**Figura 75.**  
*Análisis de escorrentías.*



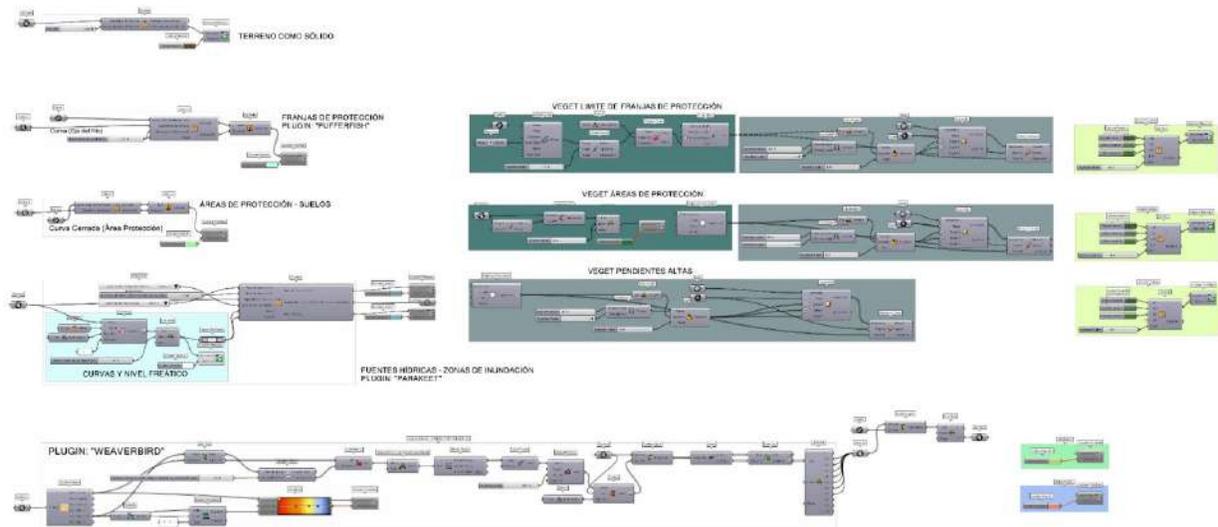
*Fuente:* Elaboración Propia.

### 7.2.3 Análisis de Amenazas.

En la segunda parte del código, los parámetros a analizar sobre el terreno son las zonas de protección, zonas de inundación, franjas de vegetación y finalmente la selección de las áreas óptimas de implantación, en las cuales se van a disponer las viviendas para su posterior proceso de autoorganización en función de las amenazas (Ver Figura 76).

**Figura 76.**

*Código para el análisis de amenazas.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

#### 7.2.3.1 Franjas de Protección.

Las franjas de protección son una herramienta clave para mitigar el riesgo en las áreas cercanas a los ríos. En este caso, se seleccionan las áreas para a partir del componente *pufferfish* añadir geometrías sobre la superficie de los terrenos para posteriormente ser delimitadas (Ver Figura 77).

**Figura 77.**

*Logo del plugin Pufferfish.*



*Fuente:* Tomado de <https://www.food4rhino.com/en/app/pufferfish>

Se implementan franjas de protección de 30 metros sobre las curvas del riesgo que ayudarán a prevenir desastres naturales como inundaciones y deslizamientos de tierra. Esta franja de protección actúa como una barrera natural que reduce la velocidad del agua y previene la erosión del suelo en las áreas cercanas al río (Ver Figura 78).

**Figura 78.**

*Franjas de protección.*

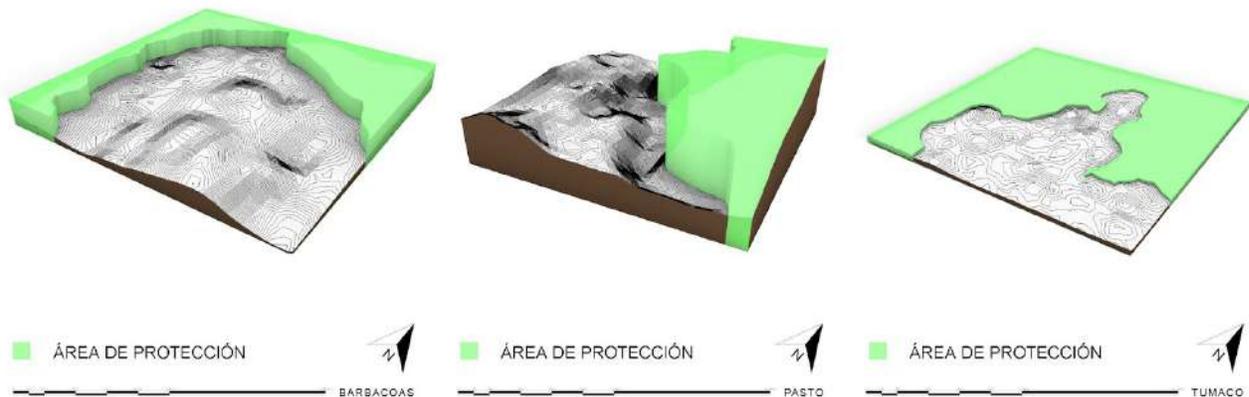


*Fuente:* Elaboración Propia.

### 7.2.3.2 Áreas de Protección.

Se identifican las áreas de protección sobre los terrenos para proteger y conservar los recursos naturales, la biodiversidad y la estabilidad del suelo. Una vez identificadas, se pueden tomar medidas adecuadas para evitar la degradación de la zona. En este caso, las áreas de protección identificadas se descartaron como zonas de implantación, lo que significa que no se construirá ninguna estructura en estas zonas para proteger los recursos naturales allí presentes. En lugar de eso, se implementará mayor vegetación para conservar y mejorar la calidad del suelo y la biodiversidad de la zona. Es importante tener en cuenta que la implementación de vegetación en estas áreas de protección debe ser adecuada para la zona específica y no debe ser invasiva. Es decir, se debe plantar vegetación nativa y adaptada a las condiciones del suelo y del clima de la zona para evitar la introducción de especies que pueden dañar el ecosistema local (Ver Figura 79).

**Figura 79.**  
*Áreas de protección.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

### 7.2.3.3 Franjas de Vegetación.

Se establecen franjas de vegetación paralelas al límite de riesgo, sobre las áreas de protección y las zonas con mayor pendiente. La implementación de franjas de vegetación ayuda a mitigar los riesgos de deslizamientos, erosión y otras amenazas naturales. En este sentido, al establecer estas franjas de vegetación paralelas al límite de riesgo, se busca generar una barrera natural que actúe como un amortiguador frente a posibles eventos adversos. De esta manera, se logra proteger y conservar el suelo, disminuir la velocidad del agua en caso de lluvias intensas y evitar la erosión de la tierra.

Es importante mencionar que la selección adecuada de las especies de plantas que se utilizan en estas franjas de vegetación es fundamental para su éxito. Se deben elegir plantas con sistemas radiculares profundos y resistentes que sean capaces de retener el suelo y prevenir su erosión. Además, es recomendable que estas especies sean autóctonas de la zona, ya que son más resistentes y adaptadas al clima y al suelo local (Ver Figura 80).

**Figura 80.**  
*Franjas de vegetación.*

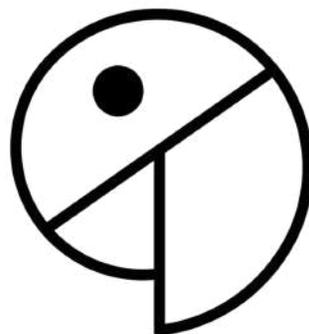


*Fuente:* Elaboración Propia.

#### 7.2.3.4 Zonas de Inundación.

Se elabora un análisis para poder identificar y descartar las zonas con mayores probabilidades de inundaciones en caso de una creciente del río. Con el plugin *Parakeet* se logra predecir la respuesta del río ante diferentes escenarios de creciente. Estos modelos consideran factores como la cantidad de agua que entra en la cuenca, la velocidad del flujo del agua y la capacidad de los cauces para retener el agua, y así se pueden identificar las zonas con mayores probabilidades de inundaciones (Ver Figuras 81 y 82).

**Figura 81.**  
*Logo del plugin Parakeet.*



*Fuente:* Tomado de <https://www.food4rhino.com/en/app/parakeet>

**Figura 82.**  
*Zonas de inundación.*

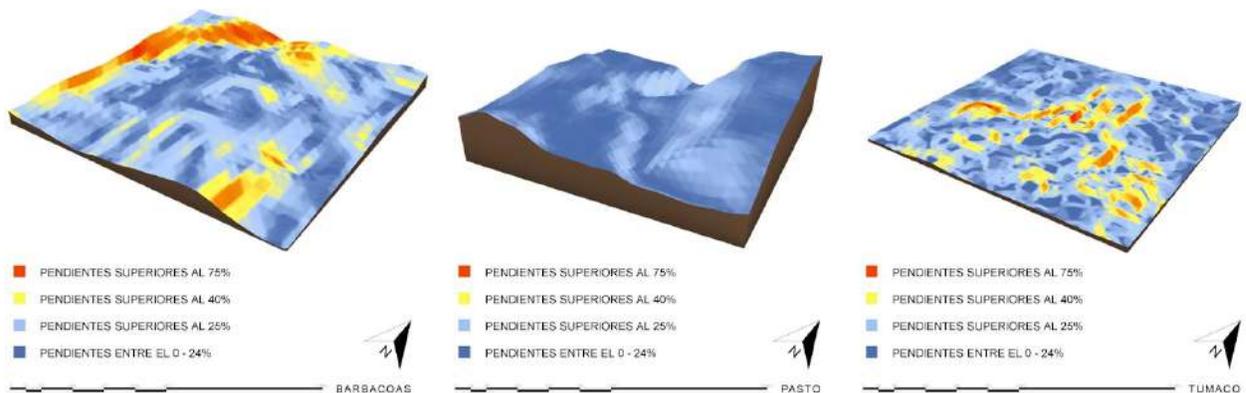


*Fuente:* Elaboración Propia.

### 7.2.3.5 Selección de Terrenos por Pendientes.

Se elabora un análisis para poder identificar y descartar las zonas con pendientes mayores al 25% en las cuales no se llevará a cabo ningún tipo de implantación. El análisis de pendientes es un proceso fundamental para identificar las zonas no aptas para ser habitadas debido a su elevada inclinación. Las zonas con pendientes mayores al 25% son consideradas de alto riesgo y pueden presentar una serie de desafíos para la construcción de infraestructuras y la implementación de las viviendas (Ver Figura 83).

**Figura 83.**  
*Selección por pendientes.*

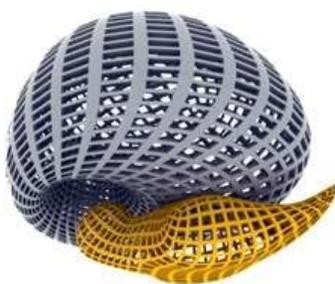


*Fuente:* Elaboración Propia.

### 7.2.3.6 Selección de Áreas de Implantación.

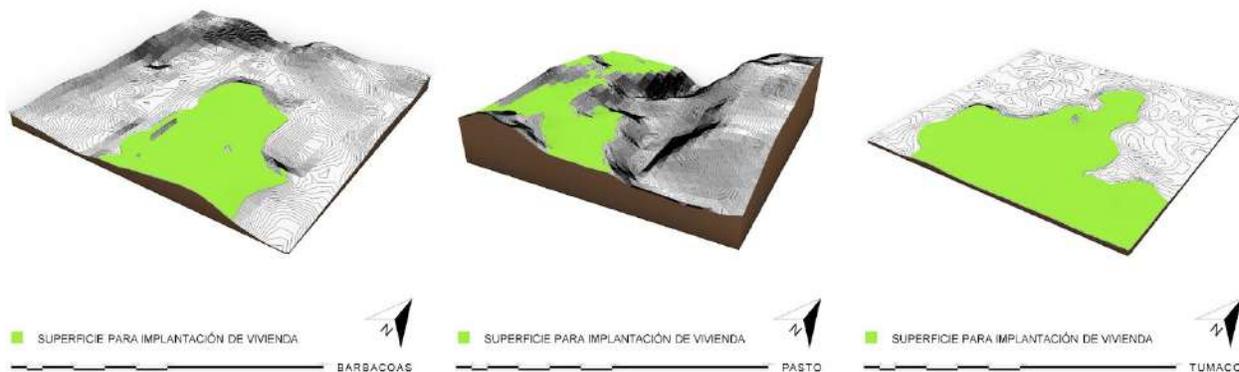
Con la ayuda del plugin weaverbird, y posterior a todo el proceso de análisis tanto topográfico como de riesgos, se procede a seleccionar las áreas óptimas para la implantación del modelo de ocupación. Los resultados de esta selección se pueden visualizar sobre el modelo del terreno, el cual muestra las áreas seleccionadas en función de los criterios de selección definidos previamente (Ver Figuras 84 y 85).

**Figura 84.**  
*Logo del plugin Weaverbird.*



*Fuente:* Tomado de <https://www.giuliopiacentino.com/weaverbird/>

**Figura 85.**  
*Áreas de implantación.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

### 7.2.4 Modelos de Ocupación.

Los modelos de ocupación representan una visión espacial de cómo se puede utilizar y ocupar el territorio de manera óptima, considerando factores ambientales, sociales, económicos y culturales. Estos modelos se construyen a partir de una evaluación de las oportunidades y problemas del terreno, tomando en cuenta la relación entre los diferentes factores que influyen en la gestión del espacio (Ver Figura 86).

**Figura 86.**

*Ocupación Urbana en Barbacoas, Nariño.*

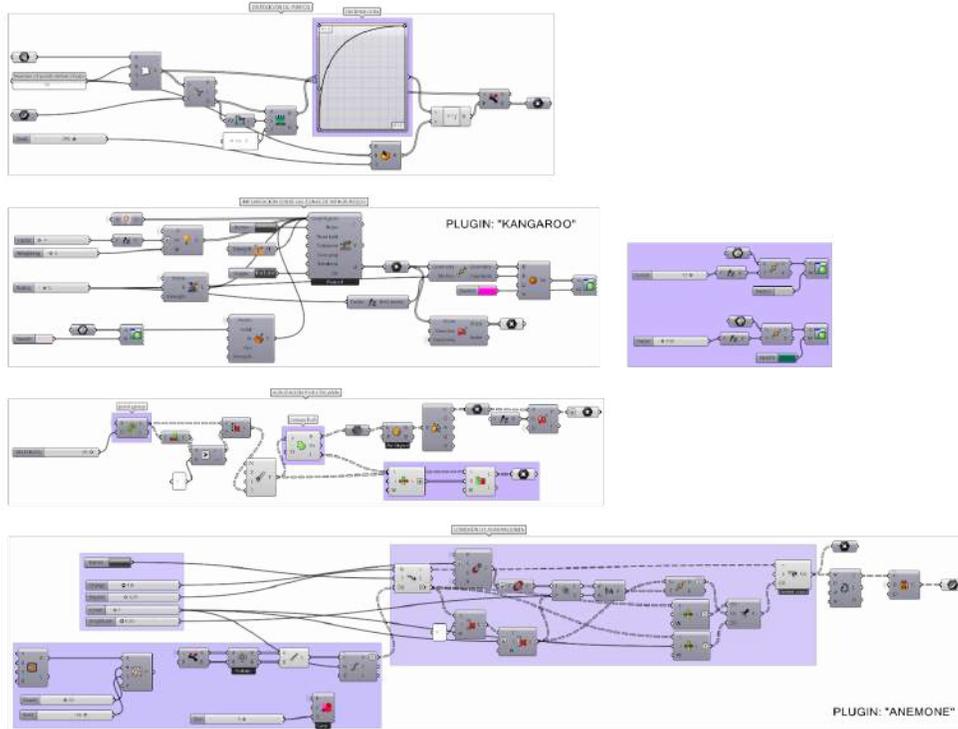


*Fuente:* Tomado de <https://noticias.canall.com.co/nacional/inundacion-afecta-ochobarrios-barbacoas-narino/>

Después de haber realizado el análisis de variables naturales sobre el terreno y la posterior selección de las áreas óptimas para la implantación de viviendas, se pasa al código urbano, donde se generan simulaciones para obtener diversos fenotipos de modelos de ocupación.

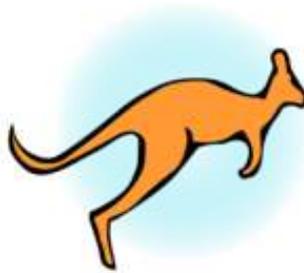
La primera parte del código a escala macro se realiza mediante simulaciones de modelos basados en agentes. Con la ayuda del plugin *Kangaroo* se puede simular un comportamiento de partículas que llegan a ser capaces de autoorganizarse dependiendo del riesgo al cual están sometidas. En este caso se disponen las partículas sobre el área habitable para que posteriormente se concentren en las zonas con mayor elevación, descartando las depresiones y zonas con grandes pendientes propensas a sufrir deslizamientos (Ver Figuras 87 y 88).

**Figura 87.**  
Código escala macro.



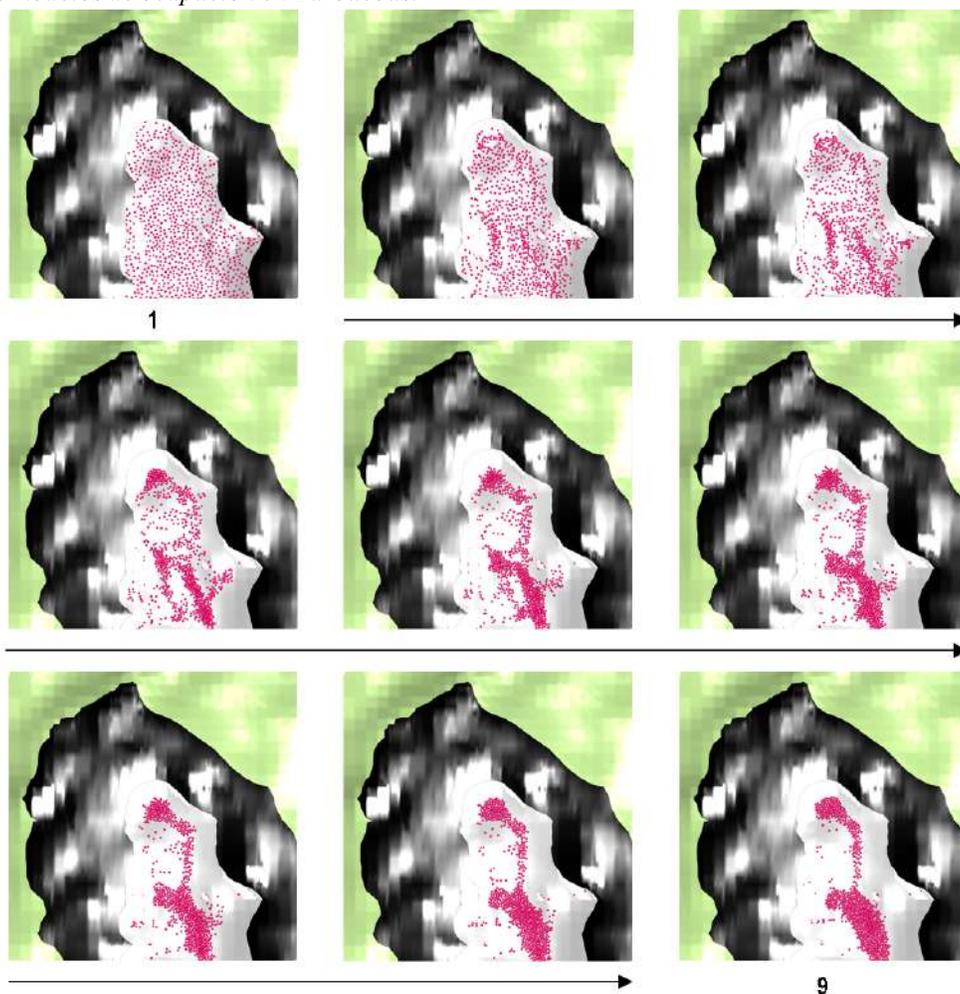
*Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 88.**  
Logo del plugin Kangaroo.



*Fuente:* Tomado de <https://www.grasshopper3d.com/group/kangaroo>

La disposición inicial de las partículas se da en función de la cercanía al riesgo, es decir que entre más cercano al río habrá menor cantidad de partículas iniciales. Esta densificación se irá acomodando progresivamente a lo largo de la simulación, para finalmente obtener como resultado una cierta cantidad de agrupaciones que se van a implantar sobre los puntos más elevados del área habitable (Ver Figura 89).

**Figura 89.***Fenotipos de modelos de ocupación en Barbacoas.*

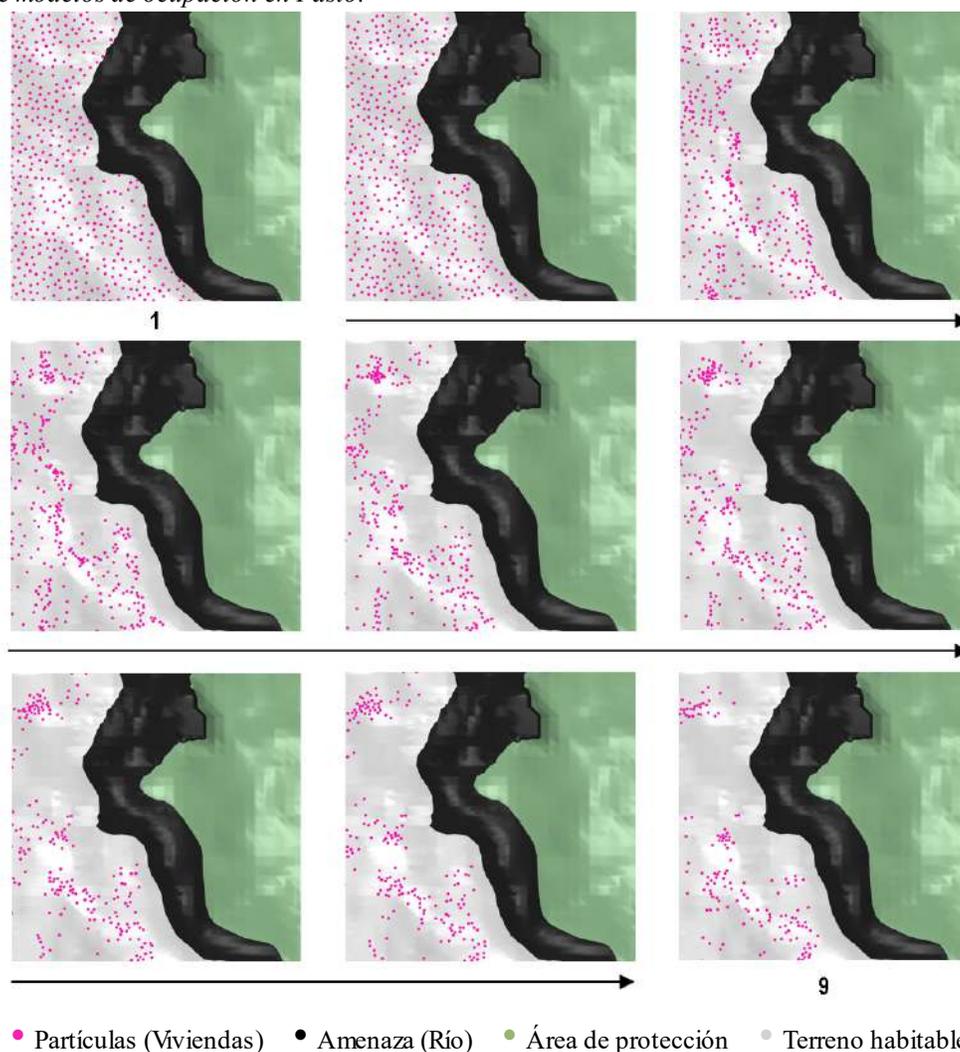
● Partículas (Viviendas) ● Amenaza (Río) ● Área de protección ● Terreno habitable

*Fuente:* Elaboración propia.

A cada una de las partículas observadas en los esquemas se programó con dos principales intenciones, la primera sería empezar su disposición con un distanciamiento a la fuente del riesgo; en este caso la inundación. La siguiente acción que realiza cada una de las partículas es buscar la mayor altitud posible en un tiempo determinado.

La segunda orden dada a cada partícula les permite interactuar específicamente con el terreno y las características topográficas que este posee. Este comportamiento en una cantidad determinada de partículas sobre una superficie topográfica logran descubrir cuáles zonas tienen las mejores condiciones para la implantación (Ver Figura 90).

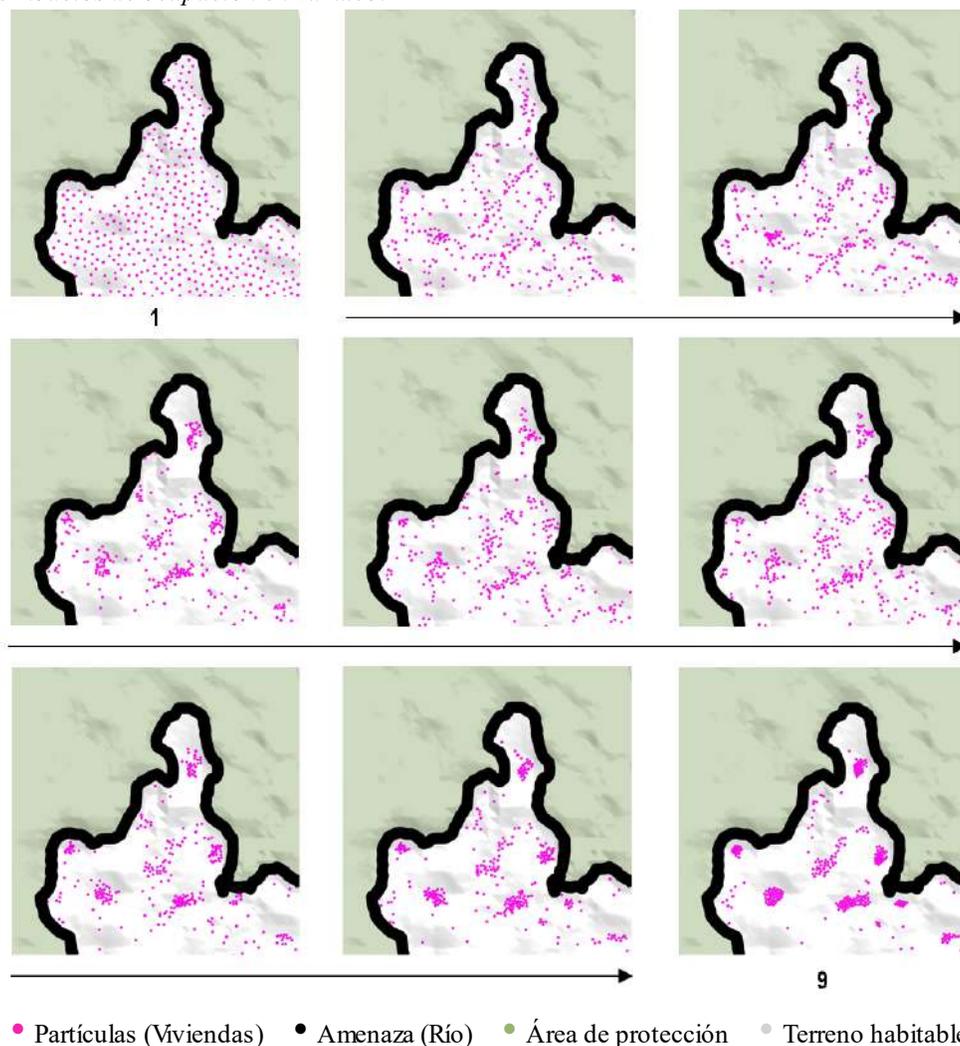
**Figura 90.**  
*Fenotipos de modelos de ocupación en Pasto.*



*Fuente:* Elaboración propia.

Es evidente que la interacción de las partículas en esta línea temporal no entregan una solución en calidad de modelo de ocupaciones en el momento inicial, y tampoco en el momento final. El objetivo de obtener modelos de ocupación eficientes en cada uno de los escenarios evaluados permite determinar modelos de ocupaciones y agrupaciones definitivas que sean respuestas efectivas a las variables de riesgo en función de la topografía sin aglomeraciones o modelos que carezcan de soluciones de continuidad (Ver Figura 91).

**Figura 91.**  
*Fenotipos de modelos de ocupación en Tumaco.*



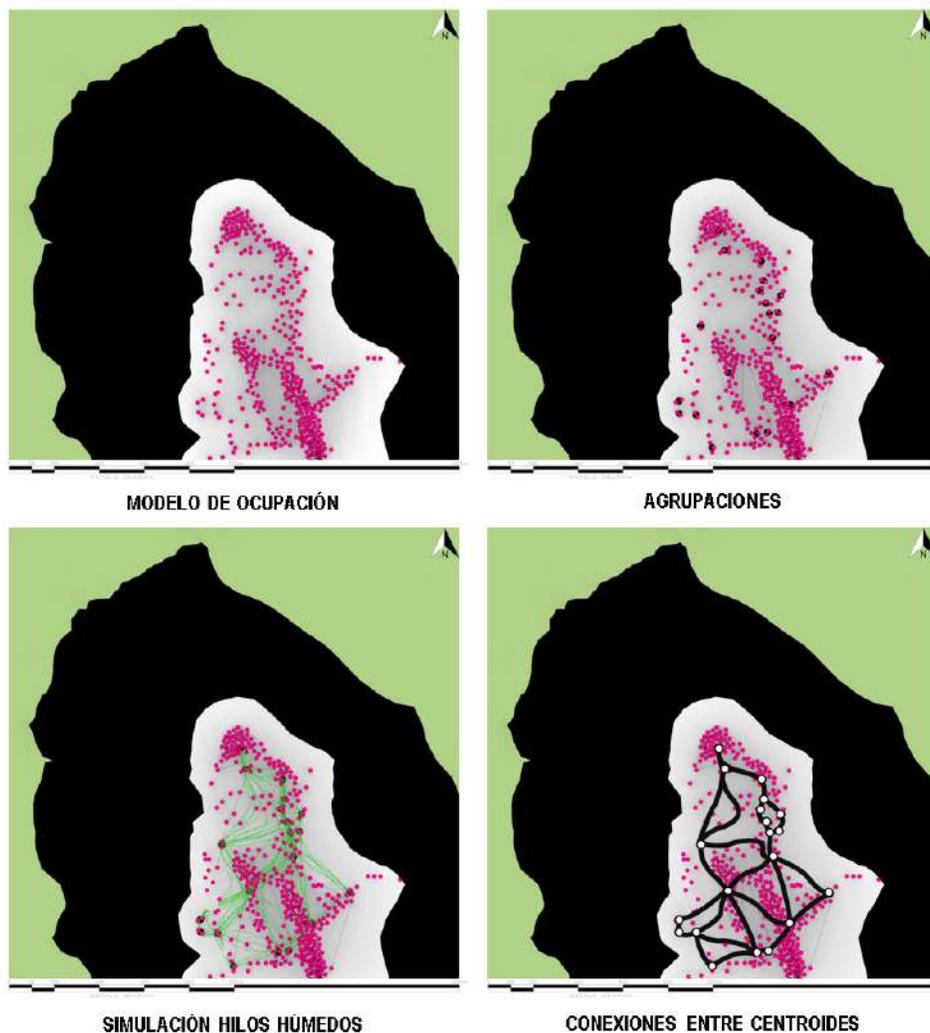
*Fuente:* Elaboración propia.

Se evalúan los diferentes fenotipos resultantes de la simulación y se obtiene un único modelo de ocupación de acuerdo a la densificación y distribución de partículas sobre el terreno. Una vez identificadas las zonas más elevadas para la implantación del modelo de ocupación, las partículas proceden a agruparse en esas zonas de manera autónoma, maximizando el uso del terreno y optimizando la distribución de las viviendas. Dichas agrupaciones también pueden ser manipuladas, ya que se han parametrizado sus valores de tal forma que puedan generarse nuevas respuestas de acuerdo a la distancia entre partículas.

Después de obtener el modelo de ocupación se lleva a cabo una conexión de las agrupaciones de partículas entre sus centroides, mediante simulaciones del plugin *Anemone* para recrear la técnica de caminos de hilos húmedos de Frei Otto. Éste proceso consta de una gran cantidad de iteraciones que a medida que van aumentando, forman un mallado urbano más óptimo sobre el terreno (Ver Figura 92).

**Figura 92.**

*Proceso de agrupación y conexión en Barbacoas.*

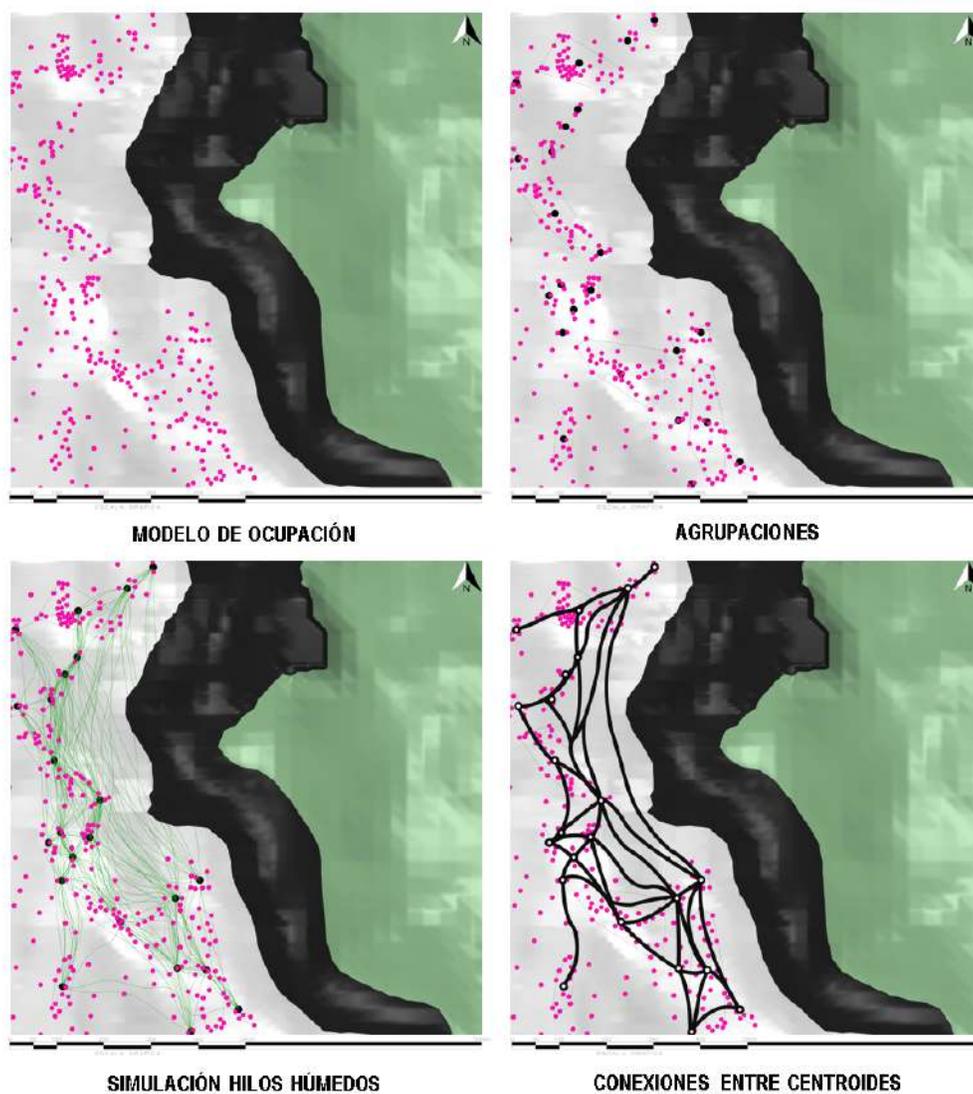


*Fuente:* Elaboración propia.

Las agrupaciones se forman automáticamente al establecer un parámetro de autoselección por cercanía entre partículas. Este proceso también entrega como resultado un centroide en cada una de las agrupaciones resultantes, que más adelante genera grupos y deja elementos sueltos; Esto sigue teniendo como principal directriz la mayor densificación y asociación a menor nivel de riesgo (Ver Figuras 93 y 94).

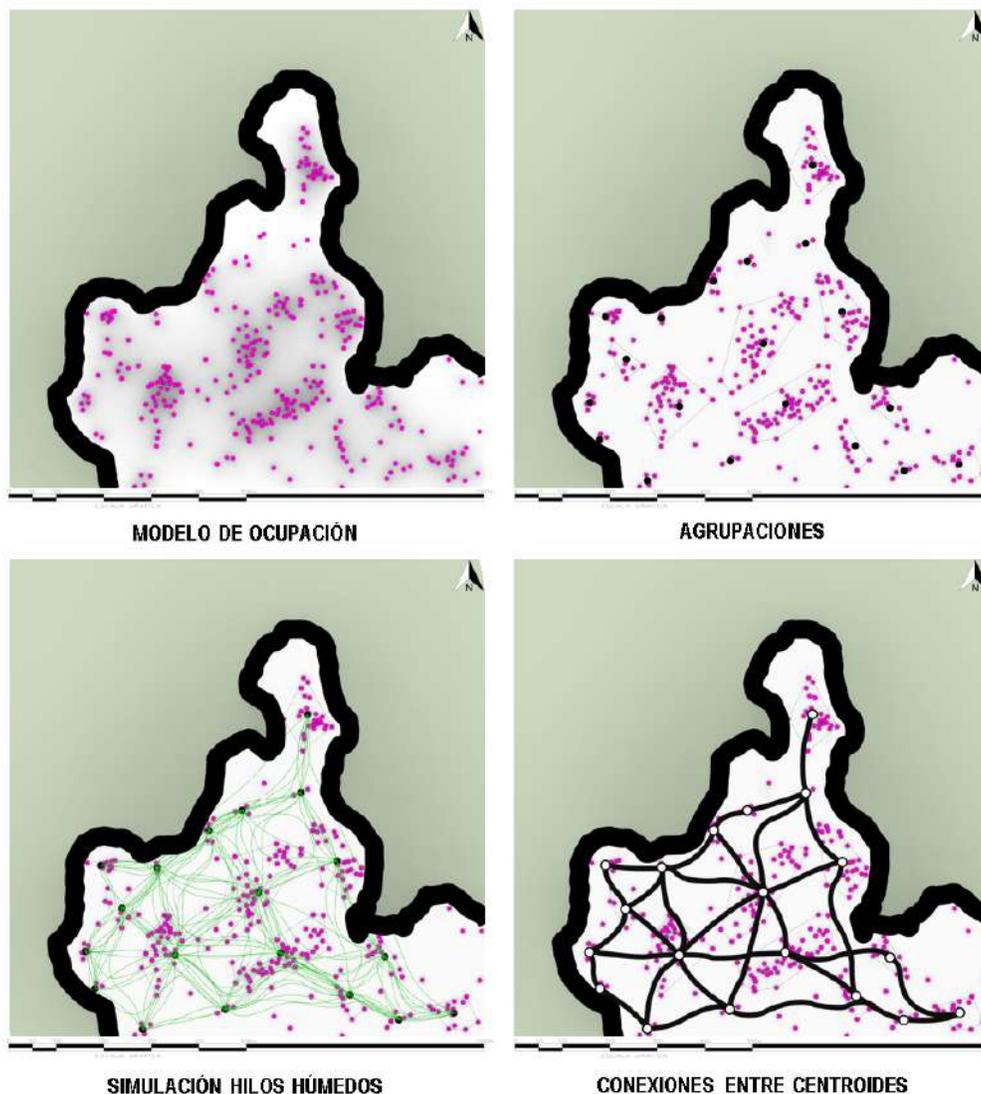
**Figura 93.**

*Proceso de agrupación y conexión en Pasto.*



*Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 94.**  
*Proceso de agrupación y conexión en Tumaco.*

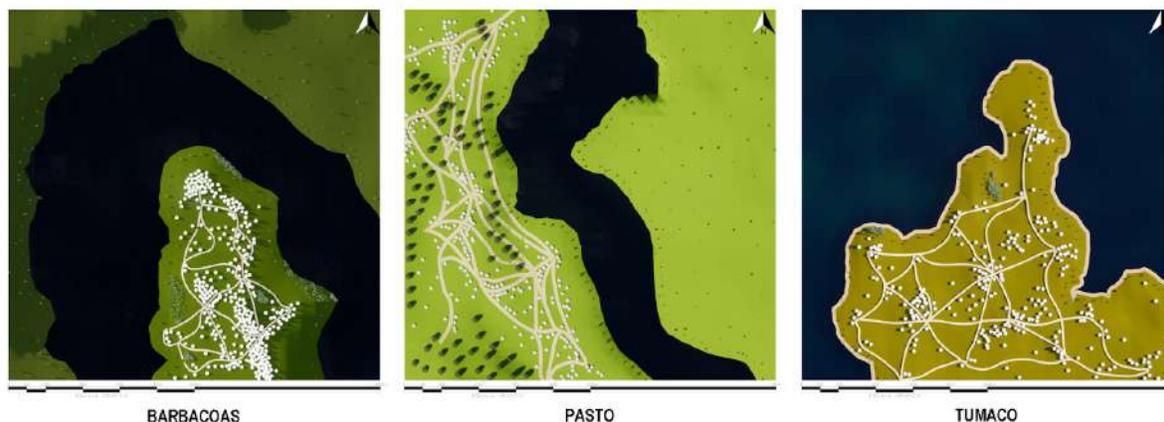


*Fuente:* Elaboración propia.

Finalmente, tras haber realizado las simulaciones y haber obtenido los resultados, los modelos de ocupación responden de manera óptima y permiten que se empiecen a desarrollar las viviendas como tal en los sitios donde fueron implantadas (Ver Figuras 95, 96 y 97).

**Figura 95.**

*Vista en planta de los modelos de ocupación resultantes.*



*Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 96.**

*Perspectivas de los modelos de ocupación resultantes.*



*Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 97.**

*Renders de los modelos de ocupación resultantes.*

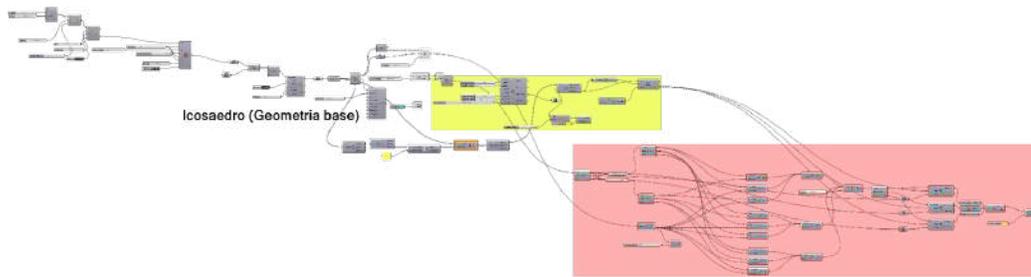


*Fuente:* Elaboración propia.

### 7.2.5 Agrupaciones de viviendas.

La agrupación de las viviendas se desarrolla mediante la técnica de los *metaballs* a partir de la cercanía que tengan las partículas entre sí. De esta manera se da paso a unos tipos de vivienda que pueden variar entre unifamiliares o multifamiliares dependiendo su área y su disposición sobre el terreno (Ver Figura 98).

**Figura 98.**  
*Código Meso - Agrupaciones de Metaballs.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

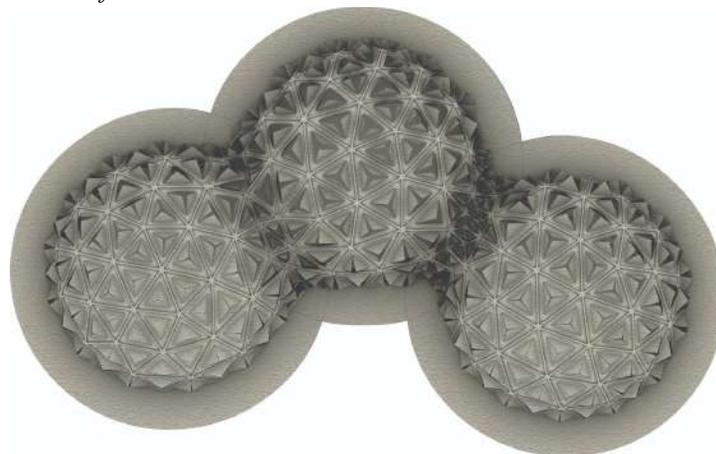
Los valores de distancia están parametrizados y pueden modificarse para crear nuevas y más grandes agrupaciones como se requiera. Las condiciones están dadas para que los *metaballs* puedan adaptar sus características tanto estructurales como formales a medida que se van agregando más partículas para la conformación de agrupaciones (Ver Figuras 99 y 100).

**Figura 99.**  
*Vivienda Multifamiliar.*



*Fuente:* Elaboración propia.

**Figura 100.**  
*Vista en planta de vivienda multifamiliar.*

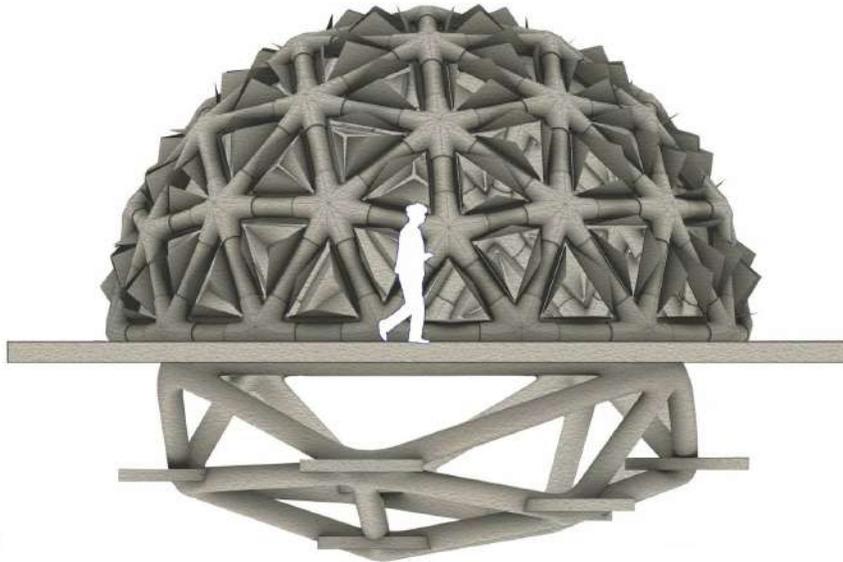


*Fuente:* Elaboración propia.

### 7.2.6 Prototipo de viviendas.

Las unidades de vivienda manejan un sistema constructivo híbrido entre vector activo y un sistema de plegaduras y cáscaras, en el cual se destaca la autosuficiencia y la respuesta inmediata a los estímulos naturales externos a través de la piel de las viviendas, la cual está conformada por paneles capaces de responder en tiempo real a la incidencia solar como a las corrientes de viento que entran y salen de manera autónoma (Ver Figura 101).

**Figura 101.**  
*Prototipo de vivienda.*

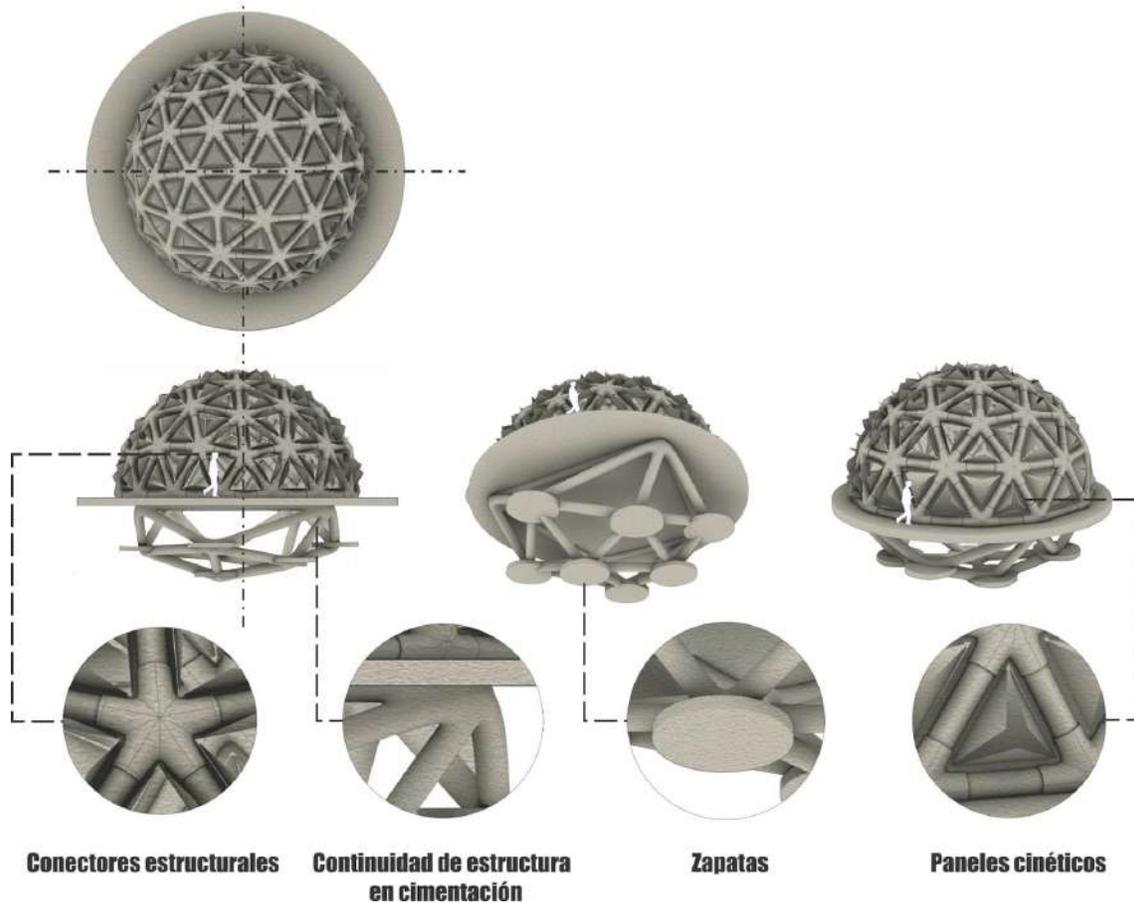


*Fuente:* Elaboración Propia.

#### 7.2.6.1 Componentes de la vivienda.

Todos los elementos que componen las viviendas están parametrizados en sus valores numéricos, es decir que de acuerdo a sus requerimientos específicos, la vivienda es capaz de adaptarse de manera autónoma a las condiciones tanto climáticas como de riesgo del sitio de implantación (Ver Figura 102).

**Figura 102.**  
*Componentes de la vivienda.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

### 7.2.6.1.1 Cimentación

El componente estructural de cimentación se soporta en pilares que son capaces de variar según las características tanto del terreno como de la incidencia de amenazas sobre el sitio de implantación.

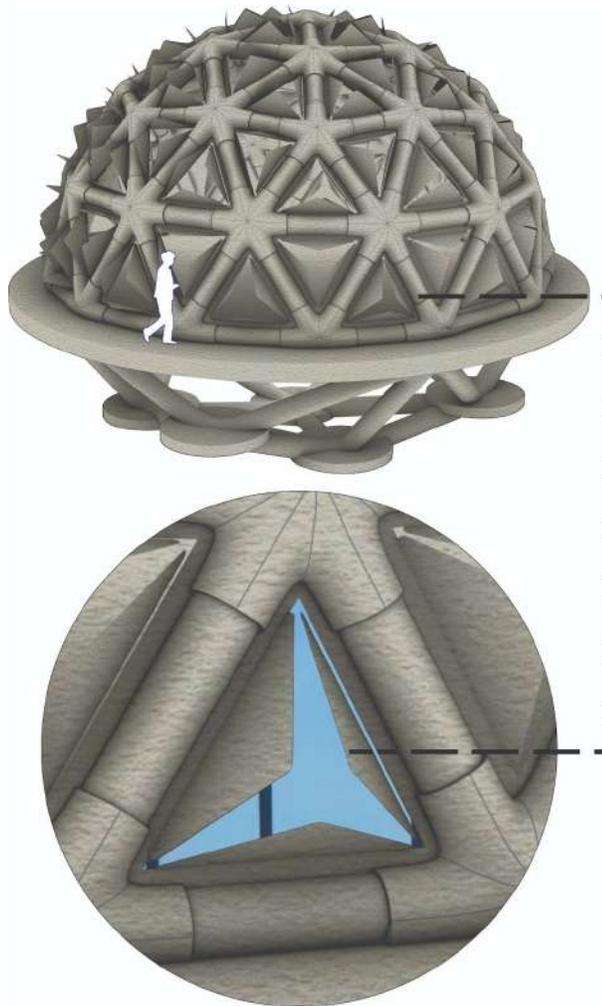
### 7.2.6.1.2 Entrepiso

El componente de losa es una estructura en concreto reforzado, aislado del suelo mediante pilotaje, en función del inminente incremento del nivel del agua. El concreto reforzado ofrece una vida prolongada y ayuda a aislar el material metálico de la humedad ascendente del suelo.

### 7.2.6.1.3 Cerramiento

Cada unidad de vivienda consta de dos principales disposiciones de cerramiento, la primera en el orden interior-exterior es una membrana translúcida y se compone de vidrio de aislamiento térmico. El vidrio de aislamiento térmico permite reducir a la mitad la entrada de energía solar directa en la fachada respecto a un doble o triple acristalamiento y mantiene una temperatura agradable en el interior de una estancia confortable (Ver Figura 103).

**Figura 103.**  
*Detalle de Cerramiento.*

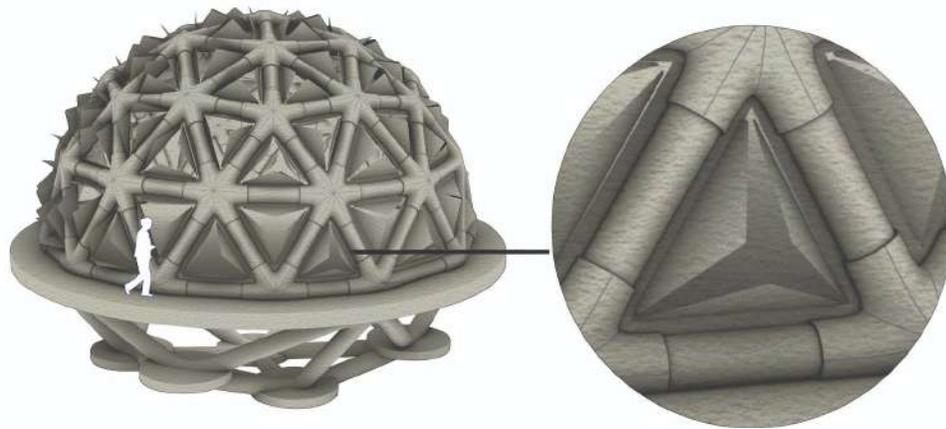


*Fuente:* Elaboración Propia.

#### 7.2.6.1.4 Cubierta

Es la segunda capa sentido interior-exterior y tiene una particularidad tecnológica de transformación en función de la dirección y mayor radiación solar y para el aprovechamiento de los vientos. Los paneles triangulares están compuestos de un material de alta resistencia llamado Panel fenólico; el panel fenólico para fachada es un material de revestimiento ligero, ultra resistente, ecológico y con grandes propiedades físicas, lo que lo convierte en una alternativa perfecta (Ver Figura 104).

**Figura 104.**  
*Prototipo de vivienda.*



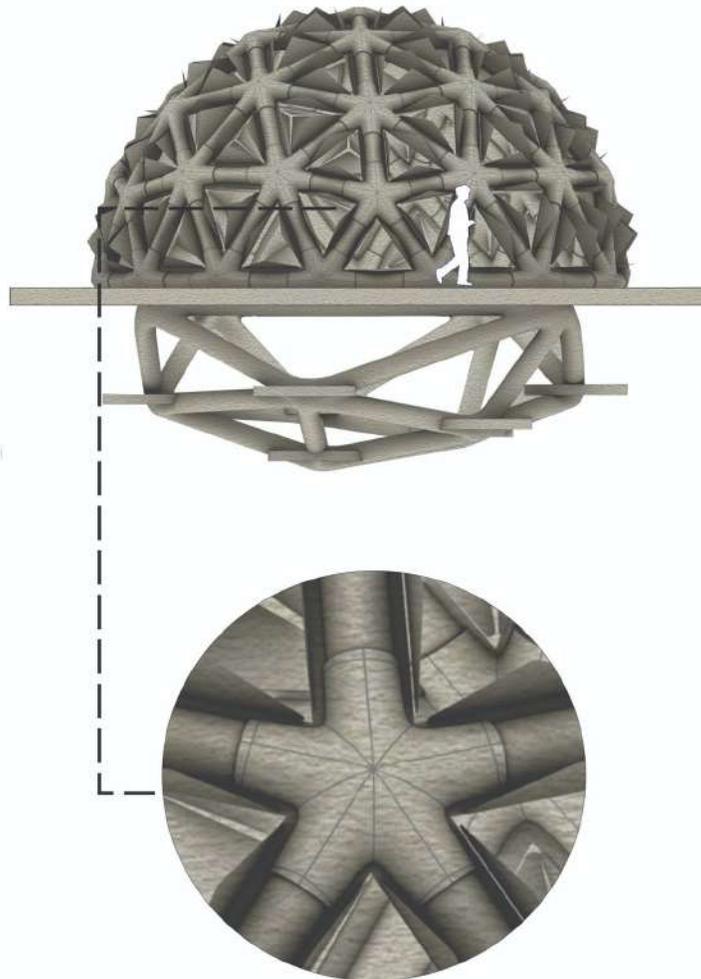
*Fuente:* Elaboración Propia.

#### 7.2.6.2 Materialidad.

Los materiales de cada elemento están pensados en función de la respuesta más óptima frente a las amenazas naturales como a las condiciones climáticas que pueden ser variables. Sin embargo la materialidad de algunos elementos puede variar de acuerdo al tipo de riesgo al que se enfrente la vivienda, brindando también la posibilidad de trabajar con materiales propios del sitio.

La primera piel de la vivienda es en vidrio de aislamiento térmico y la periferia es en aluminio para la instalación de estos paneles en vidrio. El perfil base circular es en aluminio o también puede resolverse con guadua. La subestructura permite la movilidad de los paneles fenólicos de alta resistencia, que mediante su rotación permiten la compensación térmica en horas de alta radiación solar y aprovechan el ingreso de la ventilación. Por último, los conectores o nodos están fabricados en aluminio mediante proceso de fundición y su diámetro lo determina el requerimiento estructural (Ver Figura 105).

**Figura 105.**  
*Detalle estructural de los nodos de conexión.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

### **7.2.6.3 Respuesta Bioclimática.**

A partir de los principios del diseño bioclimático se aplican algunos ítems básicos para evaluar al proyecto arquitectónico bioclimáticamente. El proceso de caracterización climática pretende disminuir la incidencia solar y la radiación solar directa en la vivienda, lograr un constante cambio del aire que logra calentarse al interior de la vivienda para balancear la temperatura, generar corrientes de aire en la zona inmediatamente exterior para reducir la sensación de humedad en la vivienda y aislar del suelo toda la vivienda por el alto porcentaje de humedad ascendente que pudiera incrementar la sensación de calor y deteriorar las estructuras metálicas.

### 7.2.6.3.1 Radiación

La respuesta a la radiación solar es una característica clave de la arquitectura biomimética, que busca imitar los procesos y patrones de la naturaleza para crear soluciones más sostenibles y eficientes en términos energéticos. En el caso de las viviendas, la respuesta a la radiación solar implica diseñar la piel del edificio para reducir la cantidad de radiación solar directa que penetra en el interior de la vivienda, lo que ayuda a controlar la temperatura y reducir el consumo de energía.

En climas cálidos, la respuesta a la radiación solar implica diseñar la piel del edificio para cerrarse a las radiaciones directas del sol y abrirse a las corrientes de viento de manera autónoma. Esto se puede lograr mediante el uso de sistemas de sombreado, como persianas o paneles, que se ajustan automáticamente para proteger la vivienda de la radiación solar directa y permitir la entrada de la luz natural y la ventilación. Además de los sistemas de sombreado, también se pueden utilizar materiales de construcción y acabados que reflejen la radiación solar y reduzcan la absorción de calor, como techos blancos o superficies de pared reflectantes.

Por otro lado, en climas fríos, la respuesta a la radiación solar será inversa e implica diseñar la piel del edificio para capturar la radiación solar directa y aprovecharla para calentar el interior de la vivienda. Esto se puede lograr mediante el uso de sistemas de captación solar y la apertura autónoma de los paneles que absorben la radiación solar y la convierten en calor para su uso en la calefacción del hogar (Ver Figuras 106 y 107).

**Figura 106.**  
*Paneles fenólicos abiertos.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

**Figura 107.**  
*Paneles fenólicos cerrados.*



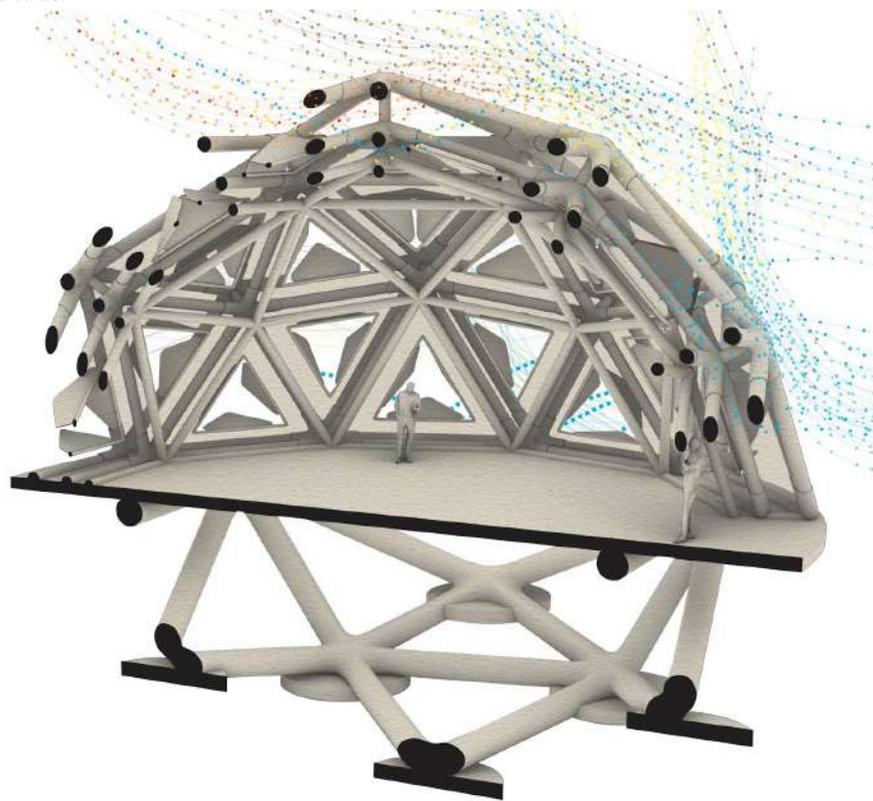
*Fuente:* Elaboración Propia.

### **7.2.6.3.2 Convección**

El fenómeno de convección es un proceso natural que se produce en el aire y que se utiliza a menudo para regular la temperatura y las condiciones térmicas de los edificios. Cuando el aire se calienta, se vuelve menos denso y asciende, creando un área de baja presión. A medida que el aire caliente se eleva, es reemplazado por aire más fresco y denso, lo que crea una corriente de convección.

En el contexto de las viviendas con dos membranas, la respuesta en términos de convección se produce cuando el aire caliente se acumula entre las dos capas de la membrana exterior, creando un área de baja presión. El aire más fresco y denso de la vivienda se mueve hacia el área de baja presión a través de aberturas o ventilación controlada, lo que permite que el aire caliente se escape y que el aire más fresco entre en la vivienda. Este proceso de convección ayuda a regular la temperatura y las condiciones térmicas de la vivienda al nivelar las condiciones térmicas del aire en el interior y exterior de la estructura. Al permitir que el aire caliente se escape y que el aire fresco entre, se puede mantener una temperatura cómoda y constante dentro de la vivienda (Ver Figura 108).

**Figura 108.**  
*Ventilación de las viviendas.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

### **7.2.6.3.3 Conducción**

La alta conductividad térmica de los metales puede ser un problema cuando se construyen edificios con paredes dobles o fachadas ventiladas, la transferencia directa de calor a través de las dos pieles puede generar una pérdida significativa de energía y aumentar los costos de calefacción y refrigeración. Para resolver este problema, se ha desarrollado una técnica de construcción que implica la conexión de las dos pieles únicamente en la losa de concreto, la cual funciona como un disipador para la piel externa y permite que no haya una transferencia de calor directa entre las dos pieles.

### 7.2.7 Análisis Bioclimático.

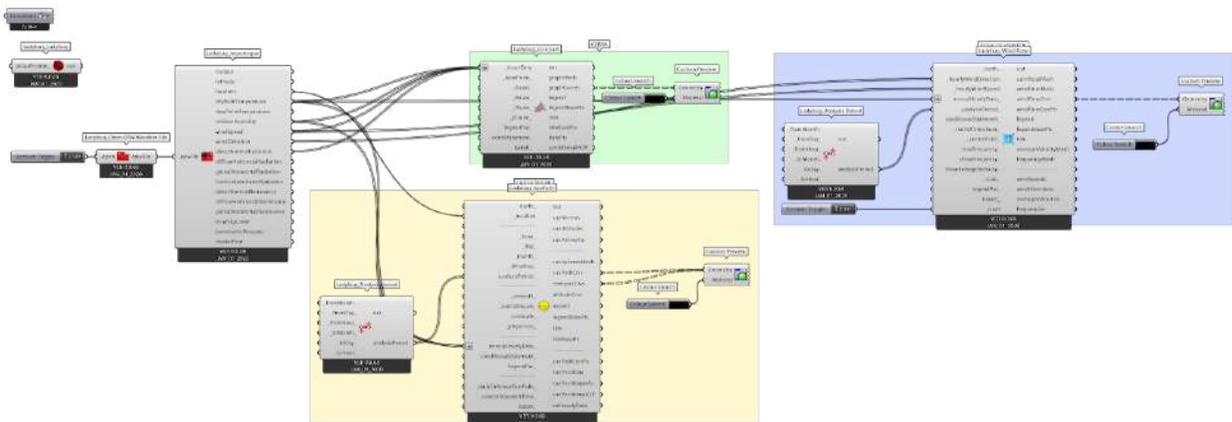
El análisis bioclimático es la técnica adecuada para conseguir la optimización de la respuesta de las viviendas al clima, por lo tanto, se deben revisar las dificultades existentes en los sitios de implantación para así obtener la respuesta más óptima y favorable frente a las condiciones climáticas del lugar. Éstas condiciones a su vez serán aquellas que determinen las características formales y funcionales de las viviendas. Se realizó un código con las herramientas del componente *Ladybug Tools*, mediante las cuales es posible visualizar gráficamente las variaciones y comportamientos de los diferentes factores climáticos del sitio que pueden incidir sobre el proyecto tales como temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar (Ver Figuras 109 y 110).

**Figura 109.**  
*Logo del plugin Ladybug Tools.*



*Fuente:* Tomado de <https://www.ladybug.tools/ladybug.html>

**Figura 110.**  
*Código para el análisis bioclimático.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

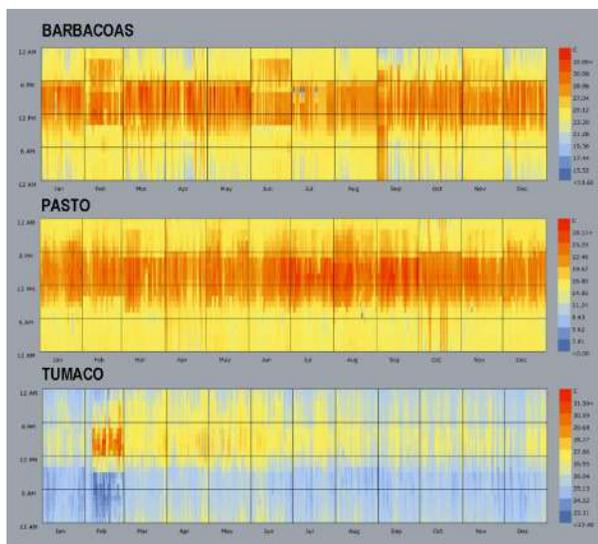
### 7.2.7.1 Temperatura

El código es una herramienta muy útil para entender y monitorear las variaciones en la temperatura de Barbacoas, Pasto y Tumaco. Esta herramienta permite visualizar de manera precisa las fluctuaciones de temperatura en estas regiones a lo largo del día y durante todo el año.

Esta información es especialmente importante, ya que permite tener una respuesta constante y efectiva para que las viviendas sean capaces de adaptarse a las condiciones cambiantes del clima en estas áreas. Al utilizar el código, se pueden detectar patrones y tendencias en las variaciones de temperatura de cada uno de los sitios, de esta forma las unidades de vivienda podrán adaptar sus características para responder de manera favorable frente a cualquier tipo de temperatura (Ver Figura 111).

**Figura 111.**

*Variaciones en la Temperatura.*



*Fuente:* Elaboración propia a partir de *Ladybug Tools*.

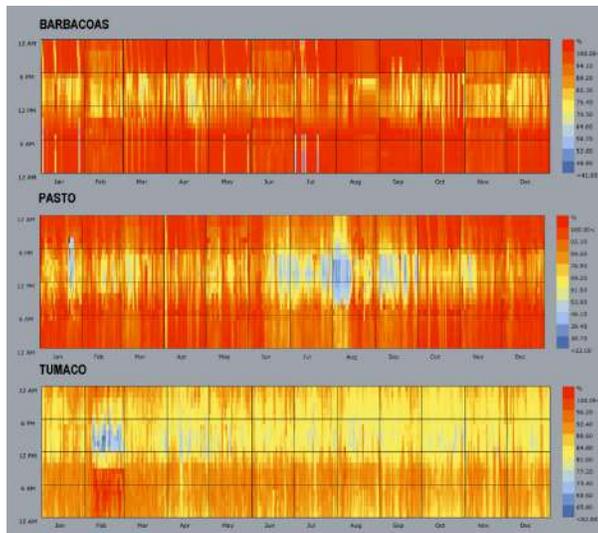
### 7.2.7.2 Humedad Relativa

El código permite visualizar las variaciones exactas en humedad de Barbacoas, Pasto y Tumaco a lo largo del día durante todo el año, teniendo una respuesta de las viviendas frente al cambio de humedad mediante el paso de ventilación en cada uno de los sitios de trabajo, que por lo general siempre presentan altos porcentajes de humedad.

Además, las viviendas presentan un revestimiento especial que le confiere a sus paneles fenólicos una protección especial frente a la humedad (Ver Figura 112).

**Figura 112.**

*Variaciones en la Humedad Relativa.*

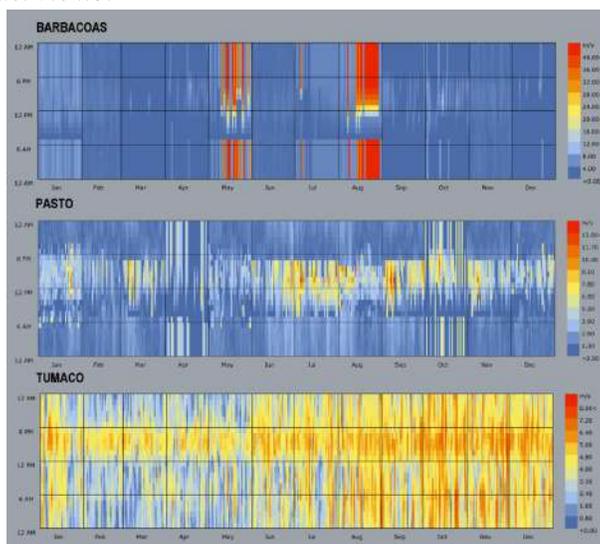


*Fuente:* Elaboración propia a partir de *Ladybug Tools*.

### 7.2.7.3 Velocidad del Viento

El código permite visualizar las variaciones exactas en la velocidad del viento de Barbaños, Pasto y Tumaco a lo largo del día durante todo el año. Las viviendas se adaptarán a estas variaciones mediante el flujo o la obstrucción de corrientes de viento según lo requiera el sitio de trabajo (Ver Figura 113).

**Figura 113.**  
Variaciones en la Velocidad del Viento.

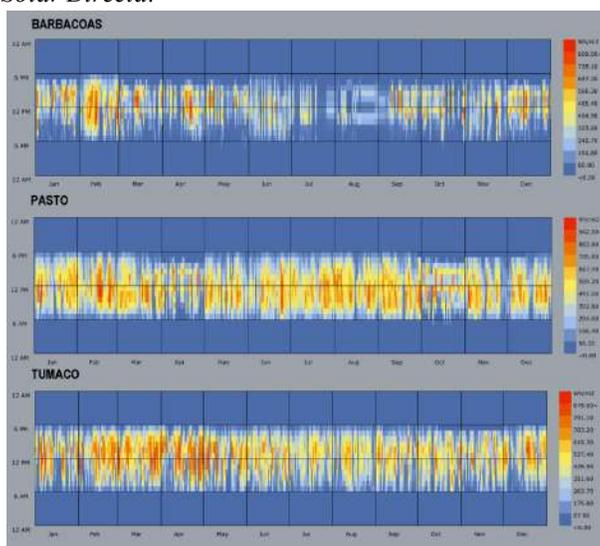


Fuente: Elaboración propia a partir de *Ladybug Tools*.

#### 7.2.7.4 Radiación Solar Directa

El código permite visualizar las variaciones exactas en la radiación solar directa de Barbacoas, Pasto y Tumaco a lo largo del día durante todo el año. Las viviendas serán capaces de adaptarse a la radiación solar mediante sus pieles externas que se abren o se cierran en dirección al sol de acuerdo a las necesidades y condiciones climáticas del lugar en específico (Ver Figura 114).

**Figura 114.**  
Variaciones en la Radiación Solar Directa.

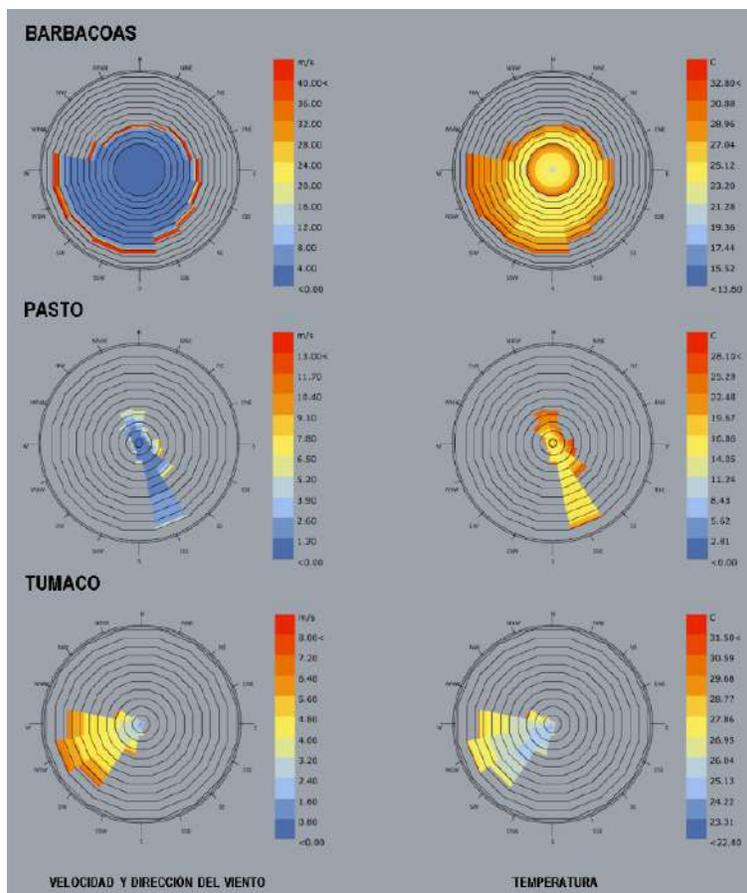


Fuente: Elaboración propia a partir de *Ladybug Tools*.

### 7.2.7.5 Rosa de Vientos

El código permite visualizar la velocidad y dirección de los vientos y las corrientes de calor de Barbacoas, Pasto y Tumaco a lo largo del día durante todo el año. Tales datos permiten direccionar las agrupaciones de viviendas para generar el menor impacto ambiental posible (Ver Figura 115).

**Figura 115.**  
*Rosa de Vientos.*

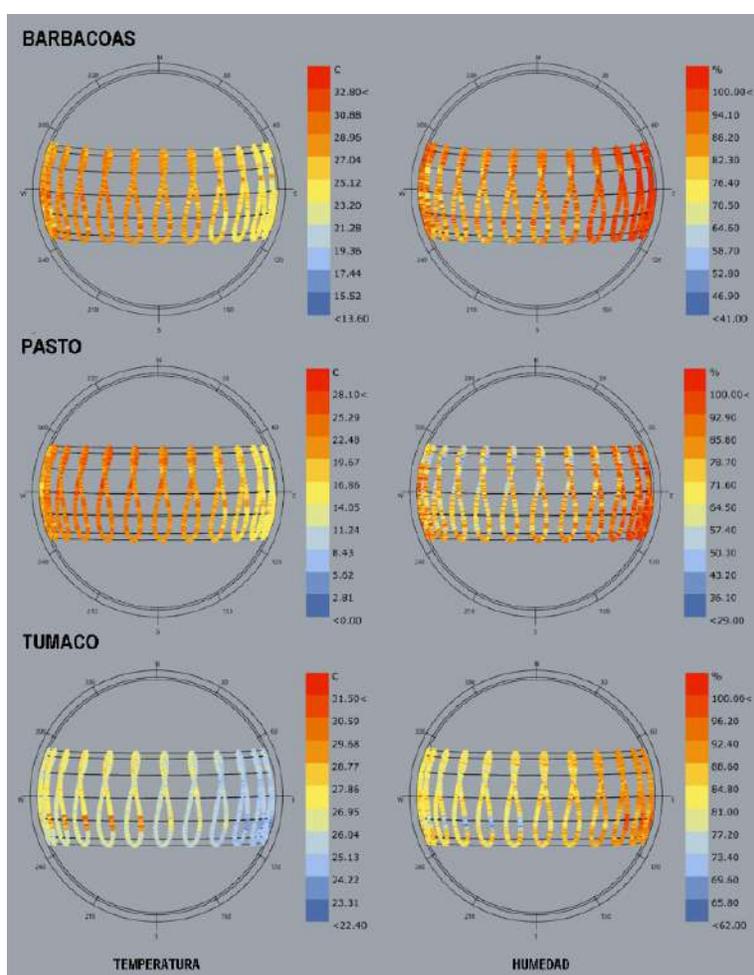


*Fuente:* Elaboración propia a partir de *Ladybug Tools*.

### 7.2.7.6 Carta Solar

El código permite visualizar las variaciones exactas en la temperatura y humedad de Barbacoas, Pasto y Tumaco a lo largo del día durante todo el año. El análisis de la carta solar se utiliza para evaluar la cantidad de radiación solar que llega a cada uno de los sitios de trabajo, lo que puede afectar la eficiencia energética y la comodidad al interior de las viviendas. Al comprender cómo incide la radiación solar, se puede optimizar la disposición y tamaño de los paneles para maximizar o la cantidad de luz solar que entra en la vivienda y minimizar la ganancia de calor no deseada (Ver Figura 116).

**Figura 116.**  
*Carta Solar.*



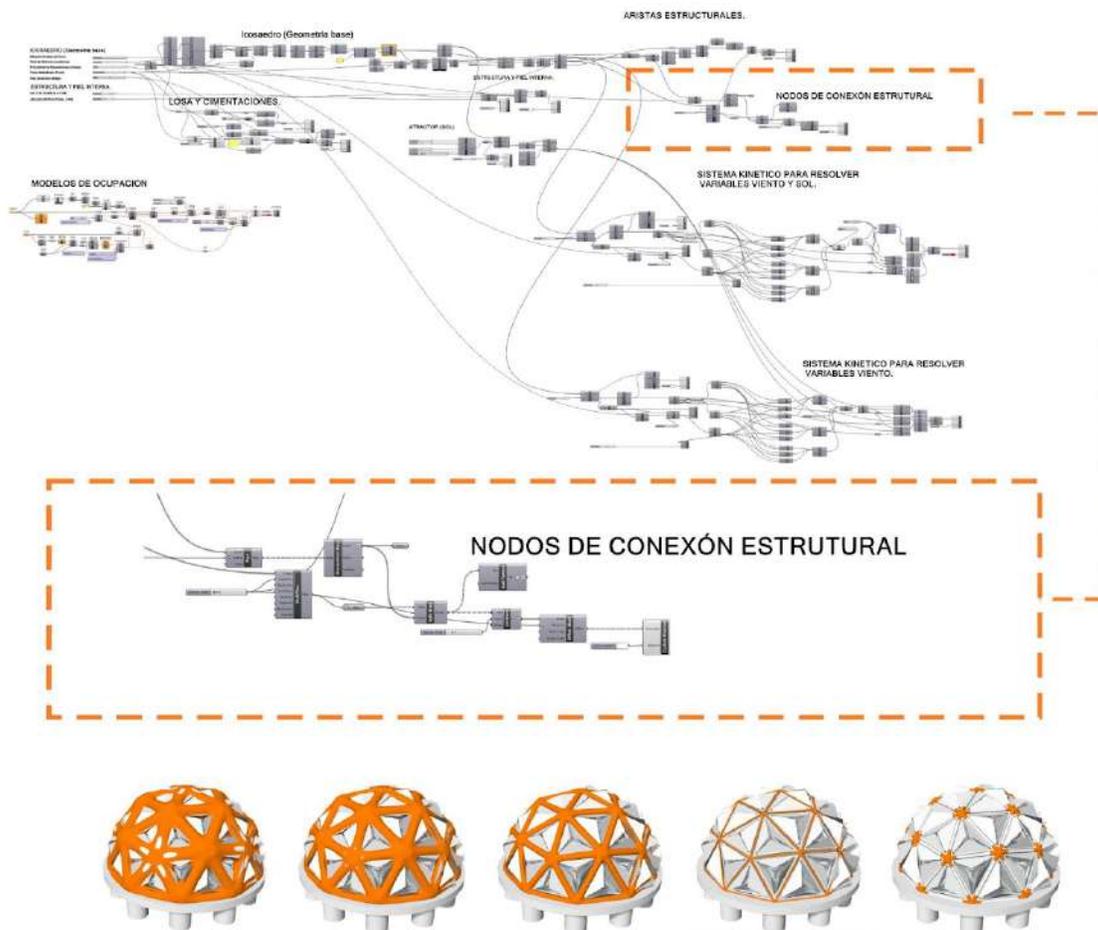
*Fuente:* Elaboración Propia.

### 7.2.8 Código de modelos de vivienda.

Mediante la implementación del código a escala micro, se puede ver cómo funcionan las variaciones en los parámetros de las viviendas en sus diferentes componentes, obteniendo como resultado diferentes fases. Inicialmente se puede observar las variaciones posibles en cuanto a las dimensiones y composición de los nodos de conexión estructural, los cuales pueden variar sus dimensiones de acuerdo al diámetro de los perfiles tubulares que se requieran principalmente en respuesta a la amenaza sísmica (Ver Figura 117).

**Figura 117.**

*Fenotipos de conexiones estructurales.*

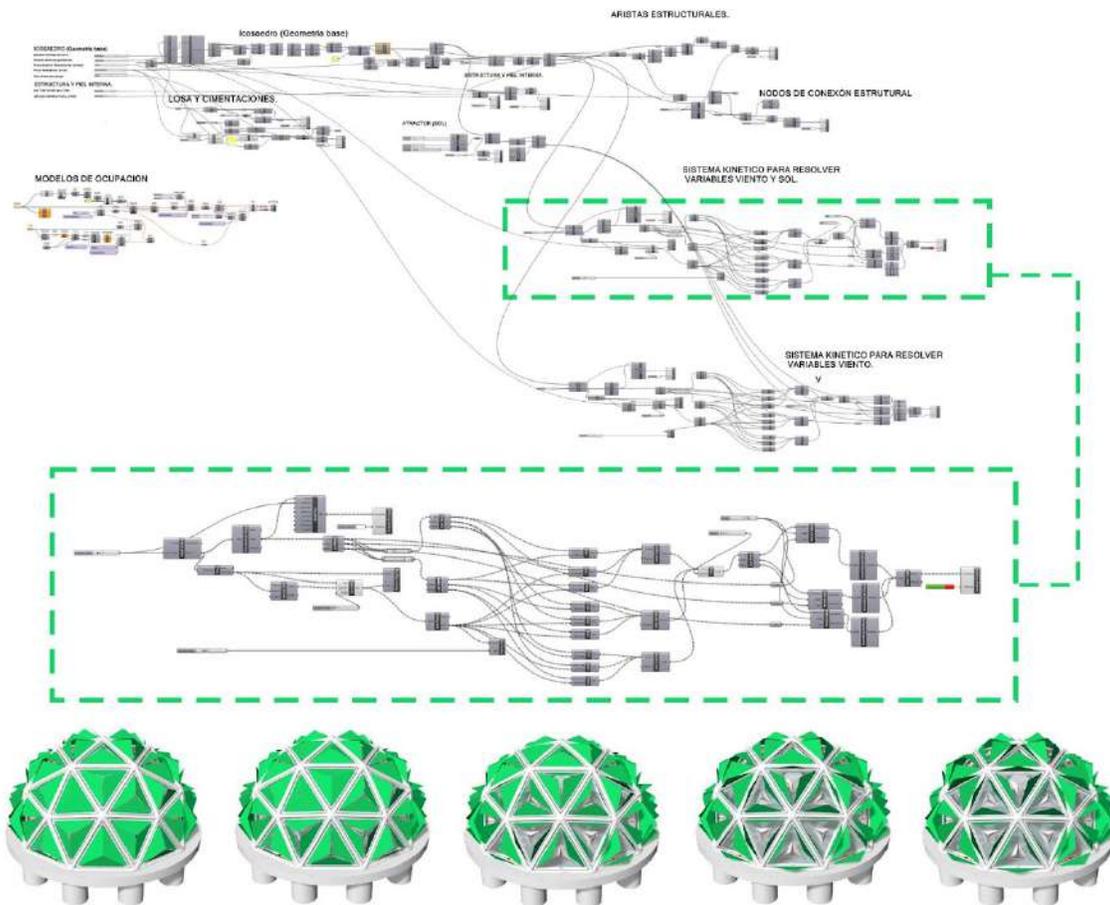


*Fuente:* Elaboración Propia.

También es posible observar más detalladamente la respuesta que brindan los paneles externos en respuesta a la incidencia solar. Estos paneles pueden variar sus dimensiones y su densidad sobre la cubierta para brindar mayor o menor protección del sol dependiendo del clima en donde se aplique (Ver Figura 118).

**Figura 118.**

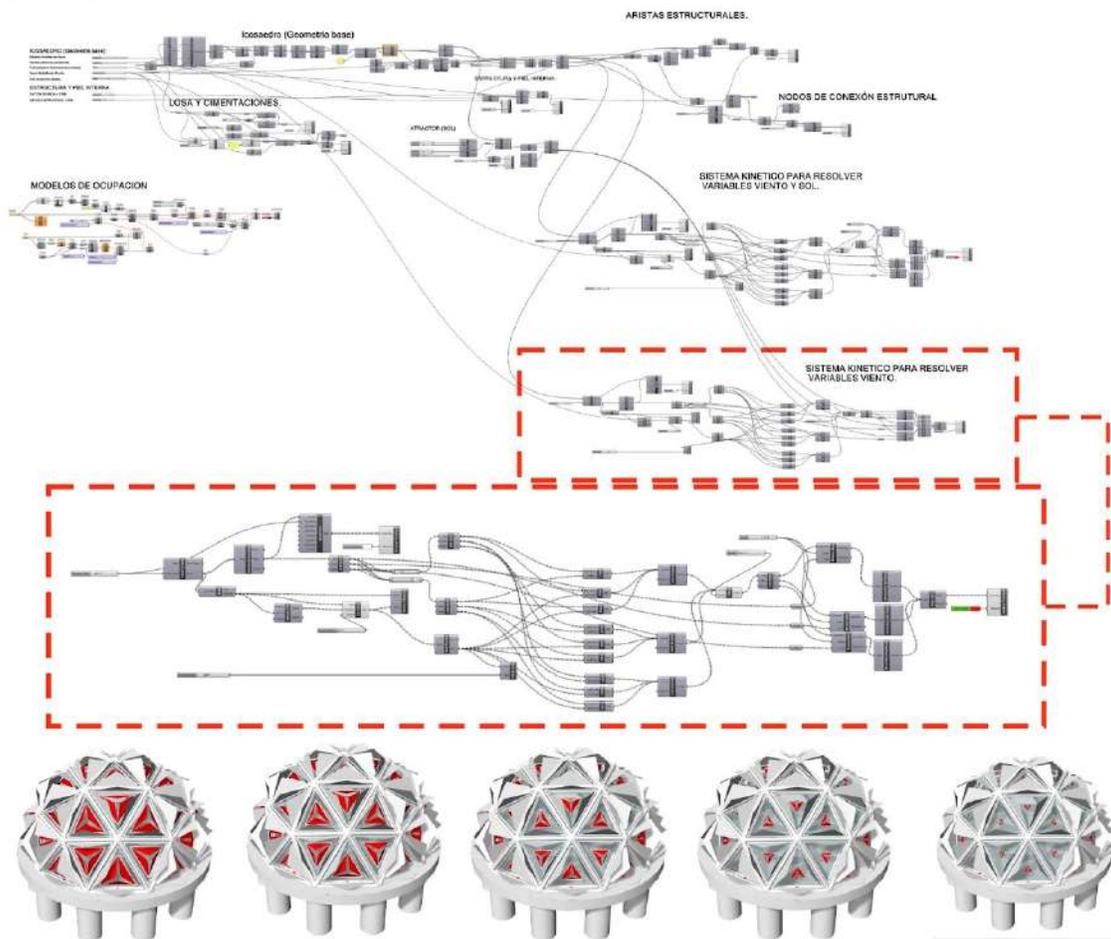
*Fenotipos de paneles externos.*



*Fuente: Elaboración Propia.*

Las diferentes variaciones afectan por otra parte a los paneles internos, los cuales permiten el flujo de viento dentro de las viviendas. Estos paneles interiores también han sido parametrizados para tener la capacidad de variar sus dimensiones, siendo más amplios en los casos donde se requiera una mayor ventilación y entrada de aire, o más pequeños donde se requiera un paso más indirecto y sutil de las corrientes de viento (Ver Figura 119).

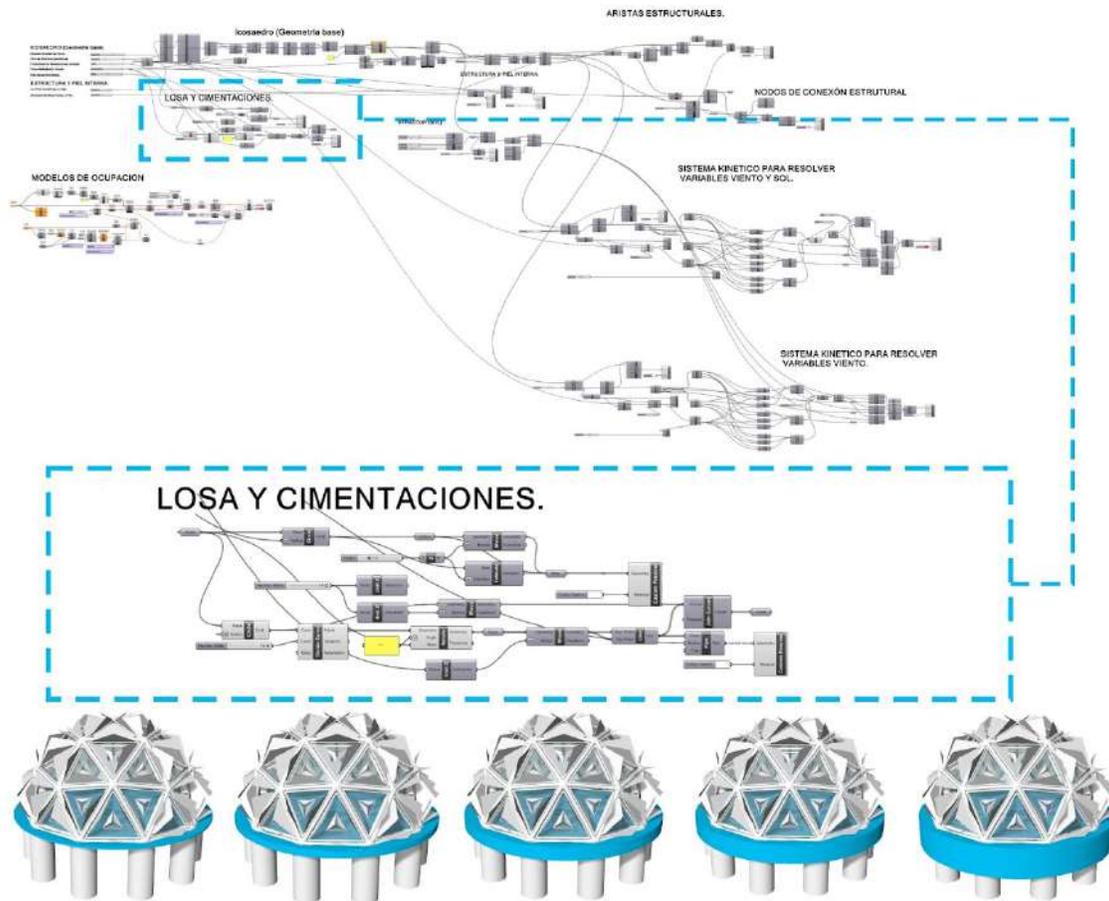
**Figura 119.**  
*Fenotipos de paneles internos.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

La losa es capaz de variar sus dimensiones de acuerdo a las condiciones sísmicas y del terreno. Es posible manipular sus valores para que se vea más delgada o más gruesa de acuerdo a la capacidad portante que tenga la vivienda (Ver Figura 120).

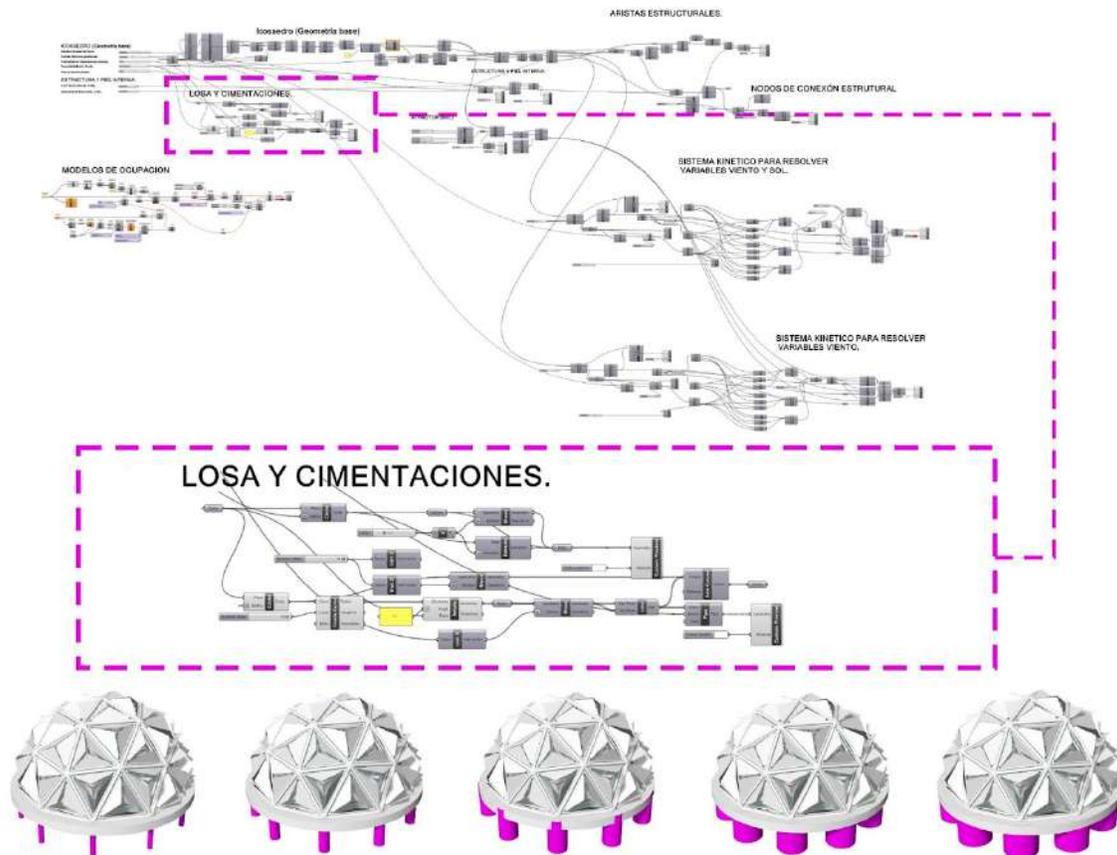
**Figura 120.**  
*Fenotipos de losas.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

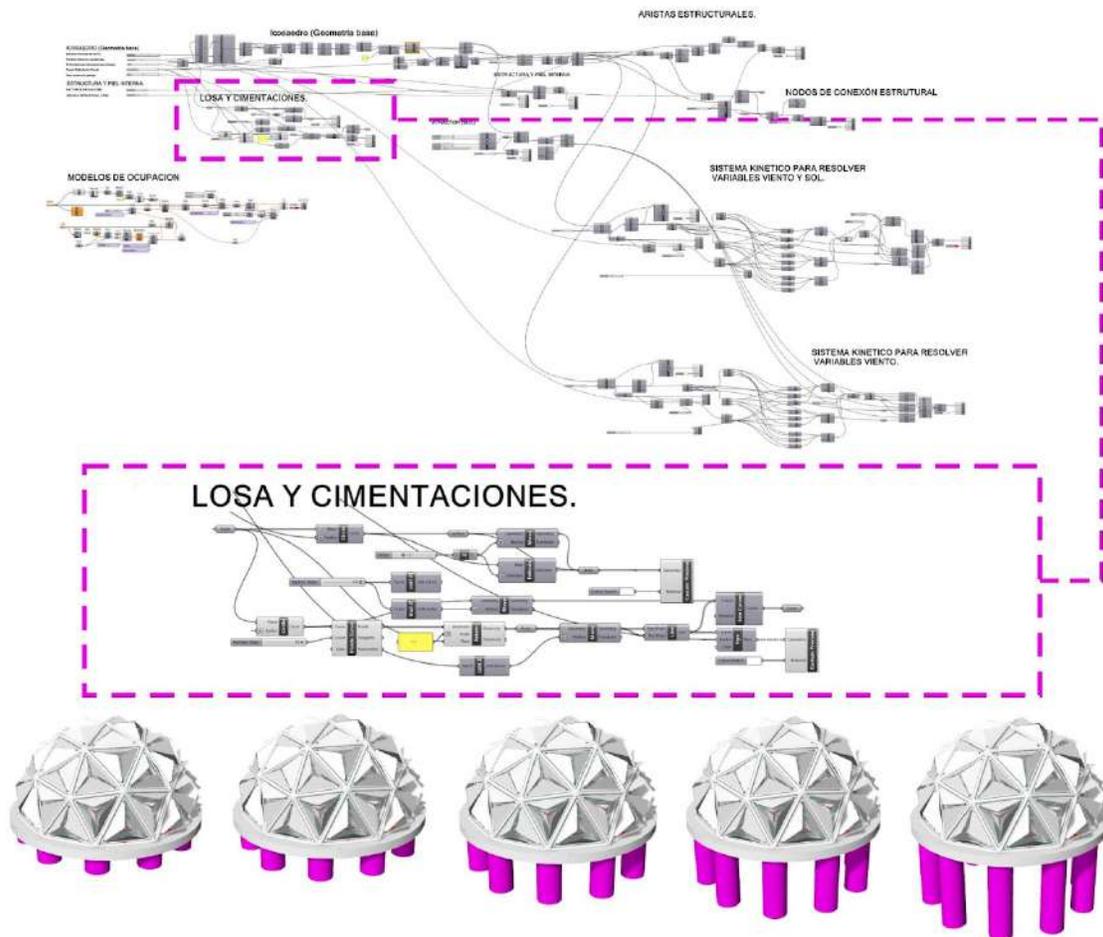
Por último, los pilares de cimentación pueden variar de dos formas: la primera en cuanto al diámetro de los perfiles, y la segunda en cuanto a su longitud o profundidad en el suelo, característica fundamental que se plantea como respuesta a los riesgos tanto de inundación como de deslizamientos (Ver Figuras 121 y 122).

**Figura 121.**  
*Fenotipos de pilares por diámetro.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

**Figura 122.**  
*Fenotipos de pilares por longitud.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

### 7.2.9 Resultados de modelos de vivienda.

Tras la implementación del código sobre cada uno de los 3 sitios de trabajo, se obtiene como resultado un fenotipo de vivienda óptimo para cada uno de ellos. Cada sitio de trabajo presenta sus propias particularidades y desafíos, y la implementación del código permite considerar todas estas variables para diseñar una vivienda óptima que se adapte a las necesidades específicas de cada lugar. En definitiva, el resultado final es una vivienda que no solo es estéticamente atractiva, sino que también es segura, eficiente y sostenible en su entorno particular.

Para el caso de Barbacoas, por ejemplo, los pilares estructurales resultaron ser más largos para permitir una elevación sobre el terreno debido al riesgo constante de sufrir inundaciones y deslizamientos (Ver Figuras 123 y 124).

**Figura 123.**

*Modelo de vivienda para Barbacoas.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

**Figura 124.**

*Vista aérea de vivienda en Barbacoas.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

La materialidad se obtiene del lugar y los amplios paneles exteriores se enfocan en responder a las altas temperaturas, la incidencia solar, el libre paso de aire y la protección contra las constantes lluvias y el ambiente húmedo del lugar (Ver Figura 125).

**Figura 125.***Vista interna de viviendas en Barbacoas.**Fuente: Elaboración Propia.*

En la ciudad de Pasto los modelos cambian, pues la vivienda óptima requiere una mayor resistencia a las condiciones climáticas extremas, como los fuertes vientos y las bajas temperaturas, por lo que se requieren paneles que actúen de tal forma que posibiliten el aprovechamiento del sol y reduzcan la entrada de corrientes fuertes de viento. En este caso además, la estructura en general tiene mayores dimensiones y refuerzos debido al constante riesgo de sismos (Ver Figuras 126 y 127).

**Figura 126.***Modelo de vivienda para Pasto.**Fuente: Elaboración Propia.*

**Figura 127.**  
*Vista aérea de vivienda en Pasto.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

La materialidad se enfoca en brindar mayor seguridad y resistencia frente a los movimientos tectónicos y los paneles externos son más amplios para permitir el constante paso de luz y calor (Ver Figura 128).

**Figura 128.**  
*Vista interna de viviendas en Pasto.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

Por último, en Tumaco se presenta un modelo que es capaz de responder tanto a inundaciones como a movimientos sísmicos, por lo que su estructura tiene una mayor elevación y un mayor diámetro tanto en sus pilares como en su losa (Ver Figuras 129 y 130).

**Figura 129.**

*Modelo de vivienda para Tumaco.*



*Fuente:* Elaboración Propia.

**Figura 130.**

*Vista aérea de vivienda en Tumaco.*

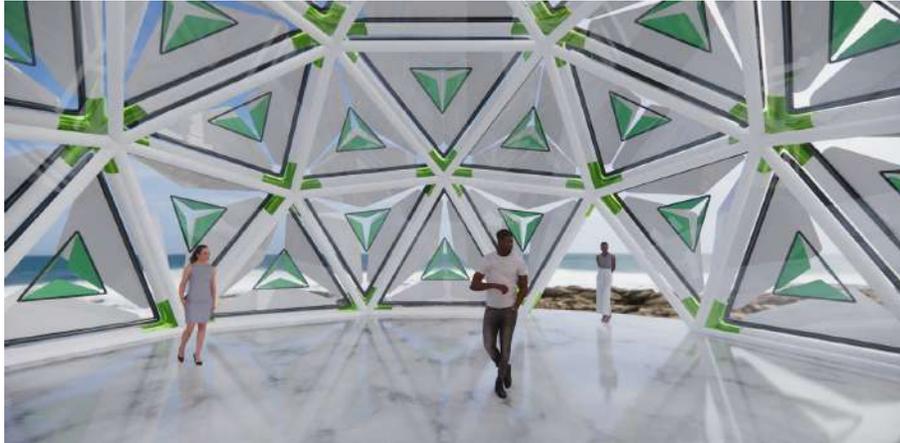


*Fuente:* Elaboración Propia.

La materialidad igualmente se enfoca en brindar mayor seguridad y resistencia frente a los movimientos tectónicos y sus paneles internos son más amplios para permitir el constante paso ventilación. Al tratarse de un sitio de trabajo ubicado en una zona costera, se recomienda el uso de materiales resistentes a la corrosión debido a la exposición constante a la sal y la humedad del mar (Ver Figura 131).

**Figura 131.**

*Vista interna de viviendas en Tumaco.*



*Fuente: Elaboración Propia.*

## 8. Conclusiones

La aplicación de las herramientas de diseño paramétrico aprendidas durante este ejercicio académico evidencian una respuesta favorable que va en pro de la eficiencia, el análisis y la adaptabilidad de la vivienda al entorno independientemente de sus características.

La investigación y apropiación de términos conceptuales y prácticos tanto del parametricismo como del diseño paramétrico son fundamentales para su posterior aplicación a problemáticas reales en diferentes contextos.

El diseño paramétrico alberga una gran cantidad de análisis y simulaciones generando información importante antes no reconocida que enriquece al proyecto. La información generada a partir de los procesos de análisis permiten evolucionar a partir de la búsqueda de un mejor desempeño, optimización, eficiencia y variabilidad de los prototipos construidos con base en esta información.

A partir del análisis de cada uno de los prototipos definitivos, ha quedado al descubierto la capacidad de adaptación del genotipo, teniendo evidentes variaciones en el fenotipo del proyecto, teniendo respuestas a las variables climatológicas afectando en mayor medida y directamente las pieles del proyecto y de manera estructural y de implantación como respuesta a las variables de riesgo.

## 9. Recomendaciones

Para poder aplicar los códigos suministrados y lograr entender la metodología aplicada es necesario tener claridad en los conceptos teóricos y prácticos referentes al parametricismo y el diseño paramétrico descritos a lo largo de este documento.

También es fundamental fomentar una mayor indagación y exploración sobre el diseño paramétrico a lo largo de la formación académica para enriquecer los procesos de aprendizaje en cuanto a nuevas tecnologías y nuevas formas de abordar tanto el diseño como la resolución de problemáticas dentro del campo de la arquitectura.

El resultado de este trabajo académico busca convertirse en un referente para futuras investigaciones en el ámbito del diseño computacional y la fabricación digital, no solo en la Universidad de Nariño, sino también en otras universidades a nivel nacional e internacional. Asimismo, se espera que este trabajo sirva como base para futuros estudios de posgrado, especialmente aquellos que se enfocan en brindar soluciones a problemas específicos a través de la aplicación de herramientas de diseño paramétrico, siendo un punto de partida para una mayor exploración y desarrollo en este campo emergente de la arquitectura y el diseño.

## 10. Referentes Bibliográficos

Alubuild. (2022). Kinetic facades and kinetic architecture. Obtenido de:

*<https://alubuild.com/en/architecture-kinetic-facades/>*

ArchDaily. (2016). Achim Menges crearán pabellón robótico para V&A. Obtenido de:

*<https://www.archdaily.co/co/782286/achim-menges-crearan-pabellon-robotico-para-v-and-a>*

ArchDaily. (2014). Aeropuerto Internacional de Shenzhen Bao'an / Studio Fuksas. Obtenido de:

*<https://www.archdaily.co/co/02-334059/aeropuerto-internacional-de-shenzhen-bao-an-studio-fuksas>*

ArchDaily. (2013). Arquitectura Popular: Los Trulli Pugliese. Obtenido de:

*<https://www.archdaily.co/co/02-270071/arquitectura-popular-los-trulli-pugliese>*

ArchDaily. (2013). Arquitectura Vernácula: Viviendas Musgum en Camerún. Obtenido de:

*<https://www.archdaily.co/co/02-320922/arquitectura-vernacula-viviendas-musgum-en-camerun>*

ArchDaily. (2018). Clásicos de Arquitectura: Pruitt-Igoe / Minoru Yamasaki. Obtenido de:

*<https://www.archdaily.co/co/895079/clasicos-de-arquitectura-pruitt-igoe-minoru-yamasaki>*

ArchDaily. (2015). Clásicos de Arquitectura: Ville Radieuse / Le Corbusier. Obtenido de:

*<https://www.archdaily.mx/mx/770281/clasicos-de-arquitectura-ville-radieuse-le-corbusier>*

ArchDaily. (2018). Lè Architecture / Aedas. Obtenido de:

*<https://www.archdaily.co/co/902830/le-architecture-aedas>*

Arch Eyes. (2018). The Geisel Library / William Pereira & Associates. Obtenido de:

*<https://archeyes.com/geisel-library-william-pereira-associates/>*

Arquine. (2018). La hegemonía del parametricismo. Obtenido de:

<https://arquine.com/hegemonia-parametricismo-patrik-schumacher/>

Arquitectura Viva. (2012). Centro Heydar Aliyev. Obtenido de:

<https://arquitecturaviva.com/obras/centro-heydar-aliyev>

Azure. (2015). Architecture Education: New Robotics at University of Stuttgart. Obtenido de:

<https://www.azuremagazine.com/article/architecture-education-digital-fabrication-university-stuttgart/>

Designcoding. (2012). Metaballs in 3D. Obtenido de: <https://www.designcoding.net/metaballs-in-3d/>

Ecoosfera. (2020). Los espléndidos laberintos del moho de limo. Obtenido de:

<https://ecoosfera.com/natura/moho-limo-inteligencia-comportamiento-ciencia/>

Epw Map. (2022). Weather File Sources. Obtenido de: <https://www.ladybug.tools/epwmap/>

Hadid, Z. (2019). Arquitectura digital. Obtenido de Youtube - ArchAnime:

<https://www.youtube.com/watch?v=yTOD2emZUSM>

Hadid, Z. (2019). Diseño y Naturaleza. Obtenido de Youtube - ArchAnime:

<https://www.youtube.com/watch?v=EWQWjTqHfHo&t=1s>

Happold, B. (2010). Khan Shatyr Entertainment Centre. Obtenido de:

<https://www.burohappold.com/projects/khan-shatyr-entertainment-centre/>

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

<http://www.ideam.gov.co/>

Johnson, S. (2001). Emergencia. Las vidas conectadas de hormigas, cerebros, ciudades y software.

*Scribner.*

Leach, N. (2009). Ciudades Digitales. *Diseño Arquitectónico.*

Luhmann, N. (1992). Sistemas sociales: Lineamientos para una teoría general. *Anthropos Editorial.*

Medium. (2017). Advanced Meta-Metaballs. Obtenido de:

<https://medium.com/@tbarrasso/advanced-meta-metaballs-864bbf0a945c>

Menges, A. (2013). ICD/ITKE Research Pavilion. Obtenido de:

<http://www.achimmenges.net/?p=5713>

Panahi, L. y Rossi, A. (2012). Slime Mold Simulation. Obtenido de Youtube - Temporary Autonomous

Architecture: <https://www.youtube.com/watch?v=5Zxws6Ub5-U&list=LL&index=9>

Peters, B. (2013). Trabajos de Computación. La construcción del pensamiento algorítmico.

*Diseño Arquitectónico.*

Rethinkinglab. (2012). HygroScope. Obtenido de:

<https://rethinkinglab.wordpress.com/2012/09/16/hygroscope-morfologia-metereosensitiva/>

Schumacher, P. (2012). La Autopoiesis de la Arquitectura. En P. Schumacher, *La autopoiesis de la arquitectura.*

Schumacher, P. (2016). Parametricismo 2.0. *Diseño Arquitectónico.*

Schumacher, P. (2017). Arquitectura en la era de la producción digital. Tectonismo/Semiología Parte 1.

Obtenido de Youtube - Patrik Schumacher:

<https://www.youtube.com/watch?v=ShDhm6VvAyy&t=2848s>

Schumacher, P. (2017). Arquitectura en la era de la producción digital. Tectonismo/Semiología Parte 2.

Obtenido de Youtube - Patrik Schumacher:

[https://www.youtube.com/watch?v=Rm\\_9W2jfs6w&t=316s](https://www.youtube.com/watch?v=Rm_9W2jfs6w&t=316s)

Schumacher, P. (2018). Diseño como segunda naturaleza. *Zaha Hadid Architects.*

Schumacher, P. (2019). Arquitectura Paramétrica. Obtenido de Youtube - ArchAnime:

<https://www.youtube.com/watch?v=zKNAT3QC0II>

SGC. (2022). Servicio Geológico Colombiano. Obtenido de:

*<https://www2.sgc.gov.co/Paginas/servicio-geologico-colombiano.aspx>*

Wikipedia. (2022). Autopoiesis. Obtenido de: *<https://es.wikipedia.org/wiki/Autopoiesis>*

Wikipedia. (2022). Barbacoas. Obtenido de:

*[https://en.wikipedia.org/wiki/Barbacoas,\\_Nari%C3%B1o](https://en.wikipedia.org/wiki/Barbacoas,_Nari%C3%B1o)*

Wikipedia. (2022). Fordismo. Obtenido de: *<https://es.wikipedia.org/wiki/Fordismo>*

Wikipedia. (2022). Pasto. Obtenido de: *[https://es.wikipedia.org/wiki/Pasto\\_\(Colombia\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Pasto_(Colombia))*

Wikipedia. (2022). Posfordismo. Obtenido de: *<https://es.wikipedia.org/wiki/Posfordismo>*

Wikipedia. (2022). Tumaco. Obtenido de: *<https://es.wikipedia.org/wiki/Tumaco>*

## 11. Anexos

Rosero, D. y Parra, D. (2023). Códigos:

*<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1NItLJBnMjnDKYIi3cQnxjJkKotqRZf2K>*

Rosero, D. y Parra, D. (2023). Memorias:

*[https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1\\_Nmj1FeQtQB4jTyDvYaa0TJfy\\_gjcCwv](https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1_Nmj1FeQtQB4jTyDvYaa0TJfy_gjcCwv)*

Rosero, D. y Parra, D. (2023). Plugins:

*[https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1JBFkI1NUQmEaz2A1w\\_qf9joVtXYvImiX](https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1JBFkI1NUQmEaz2A1w_qf9joVtXYvImiX)*

Rosero, D. y Parra, D. (2023). Presentación:

*[https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1tU8wXjyHrUA89tn38D9\\_Xg0ek2uz8nqx](https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1tU8wXjyHrUA89tn38D9_Xg0ek2uz8nqx)*

Rosero, D. y Parra, D. (2023). Videos:

*<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1UYIw6WKpLhjP-eVC6MYCIPUv9auLmIIY>*