



Instituto Latino-americano De Tecnologia,
Infraestrutura E Território (Ilatit)
Arquitetura E Urbanismo

</>

DEL CÓDIGO AL CULTIVO:

Diseño computacional como
catalizador de cambio social

Alexis Ojeda Marcet

Foz do Iguaçu
2025

</>

DEL CÓDIGO AL CULTIVO:

Diseño computacional como
catalizador de cambio social

Alexis Ojeda Marcet

Trabajo de Conclusión de Curso presentado al Instituto Latinoamericano de Arte, Cultura e Historia de la Universidad Federal de la Integración Latinoamericana, como requisito parcial para la obtención del título de Licenciado en Antropología – Diversidad Cultural Latinoamericana.

Orientador:

Prof. Dr. Egon Vettorazi

Me. Marcelo Lagner

Foz do Iguaçu
2025

</ AGRADECIMIENTOS />

01100111 01110010 01100001 01100011
01101001 01100001 01110011

—

A mis padres, por ser la raíz firme desde la cual he podido crecer, por su apoyo sin condiciones y por enseñarme, más con el ejemplo que con palabras. A mis hermanos, por la complicidad que solo la hermandad puede ofrecer. A mis abuelos, porque en su historia encuentro el impulso para construir la mía. A UNILA, por su compromiso con una educación accesible y transformadora, abriendo caminos que de otro modo serían inalcanzables. A los profesores y colegas que, de manera directa o indirecta, han ampliado mis horizontes y dejado huellas en mi formación. A mis orientadores, por su guía, sabiduría y disposición. A mi familia extendida, a los amigos que han sido hogar en este viaje. A todos, gracias.

◀ RESUMEN ▶

0101001 01000101 01010011 01010101
01001101 01000101 01001110

Este trabajo indaga en las posibilidades que ofrecen las tecnologías avanzadas de diseño computacional para contribuir al desarrollo social en contextos con recursos limitados, tomando como área de estudio la ciudad de La Habana, Cuba. Desde esta perspectiva, se plantea un estudio preliminar de un Ecomercado, un espacio que integra la producción agrícola con dinámicas de comercio sostenible, donde se analiza cómo el uso de herramientas de modelado paramétrico y simulación ambiental puede optimizar el desempeño arquitectónico y su integración con el entorno. La metodología se estructura en fases que incluyen la revisión de literatura sobre diseño computacional, el análisis de casos de estudio con prácticas relevantes para la propuesta, y la caracterización del contexto socio-económico y climático de La Habana. A partir de este marco, se desarrolla el estudio preliminar utilizando herramientas como Rhino, Grasshopper, Ladybug y Honeybee, con el objetivo de evaluar estrategias de modelado algorítmico, optimización energética y aprovechamiento de la iluminación natural. Finalmente, se reflexiona sobre el alcance y las limitaciones de estas metodologías en la búsqueda de una arquitectura más sostenible y contextualizada, contribuyendo a la exploración de nuevas posibilidades tecnológicas para generar impactos positivos y modelos replicables en escenarios de alta demanda social.

Palabras claves: Diseño computacional, Desarrollo social, Agricultura sostenible, Modelado paramétrico, Simulaciones ambientales

◀ RESUMO ▶

Este trabalho investiga as possibilidades que as tecnologias avançadas de design computacional oferecem para contribuir com o desenvolvimento social em contextos de recursos limitados, tomando como área de estudo a cidade de Havana, Cuba. A partir dessa perspectiva, propõe-se um estudo preliminar de um Ecomercado, um espaço que integra a produção agrícola com dinâmicas de comércio sustentável, onde se analisa como o uso de ferramentas de modelagem paramétrica e simulação ambiental pode otimizar o desempenho arquitetônico e sua integração com o entorno. A metodologia se estrutura em fases

que incluem a revisão da literatura sobre design computacional, a análise de casos de estudo com práticas relevantes para a proposta e a caracterização do contexto socioeconômico e climático de Havana. Com base nesse referencial, o estudo preliminar é desenvolvido utilizando ferramentas como Rhino, Grasshopper, Ladybug e Honeybee, com o objetivo de avaliar estratégias de modelagem algorítmica, otimização energética e aproveitamento da iluminação natural. Por fim, reflete-se sobre o alcance e as limitações dessas metodologias na busca por uma arquitetura mais sustentável e contextualizada, contribuindo para a exploração de novas possibilidades tecnológicas capazes de gerar impactos positivos e modelos replicáveis em cenários de alta demanda social.

Palabras claves: Diseño computacional, Desarrollo social, Agricultura sostenible, Modelado paramétrico, Simulaciones ambientales

◀ ABSTRACT ▶

This study explores the potential of advanced computational design technologies to contribute to social development in resource-limited contexts, taking the city of Havana, Cuba, as the area of study. From this perspective, a preliminary study is proposed for an Ecomarket, a space that integrates agricultural production with sustainable trade dynamics, analyzing how parametric modeling and environmental simulation tools can optimize architectural performance and its integration with the surroundings. The methodology is structured in phases, including a literature review on computational design, the analysis of case studies with relevant practices for the proposal, and the characterization of Havana's socio-economic and climatic context. Based on this framework, the preliminary study is developed using tools such as Rhino, Grasshopper, Ladybug, and Honeybee to evaluate strategies for algorithmic modeling, energy optimization, and natural lighting utilization. Finally, the study reflects on the scope and limitations of these methodologies in the pursuit of a more sustainable and context-aware architecture, contributing to the exploration of new technological possibilities to generate positive impacts and replicable models in high-demand social environments.

Keywords: Computational design, Social development, Sustainable agriculture, Parametric modeling, Environmental simulations.

</SUMARIO />

0101001 01000101 01010011 01010101
01001101 01000101 01001110

1. Introducción **pág 16**

1.1 Justificación **pág 18**

1.2 Objetivos **pág 20**

1.3 Metodología **pág 21**

2. Entendiendo el Diseño Computacional **pág 24**

2.1 Diseño Paramétrico **pág 26**

2.1.1 Definición y Principios **pág 26**

2.1.2 Herramientas destacadas **pág 28**

2.2 Diseño Algorítmico **pág 30**

2.2.1 Fundamentos del Diseño Algorítmico **pág 30**

2.2.2 Diseño Generativo **pág 32**

2.2.3 Simulación **pág 33**

2.3 Aplicaciones en Arquitectura **pág 36**

2.3.1 La Ópera de Sidney desde una perspectiva contemporánea **pág 36**

2.3.2 Escenarios simulados en etapas iniciales del proyecto arquitectónico **pág 39**

3. Estudio de casos relevantes **pág 48**

3.1 Mercado público Matamoros **pág 48**

3.2 Digitala Tomater **pág 52**

3.3 Propuesta computacional en La Virginia **pág 56**

3.4 Invernaderos urbanos en climas tropicales **pág 59**

4. La Habana **pág 62**

4.1 Contexto climático **pág 63**

4.2 Organopónicos **pág 66**

4.3 Desafíos y oportunidades **pág 68**

4.4 Área de intervención **pág 72**

4.4.1 Contexto urbano y conectividad **pág 72**

4.4.2 Regulaciones Urbanísticas **pág 73**

4.4.3 Configuración y Ubicación **pág 74**

5. El Ecomercado **pág 76**

5.1 Criterios de diseño **pág 76**

5.2 Desarrollo de la propuesta **pág 78**

5.2.1 Modelado Algorítmico **pág 80**

5.2.2 Análisis de simulación ambiental **pág 82**

5.2.3 Configuración final del proyecto **pág 90**

6. Consideraciones finales **pág 108**

7. Referencias **pág 112**

</ 1. INTRODUCCIÓN />

01101001 01101110 01110100 01110010 01101111 01100100
01110101 01100011 01100011 11000011 10101111 01101110

Desde mis inicios como estudiante de arquitectura, mi interés por las tecnologías avanzadas de diseño computacional se ha intensificado a medida que percibo su capacidad transformadora. A través de herramientas informáticas, como algoritmos y software que optimizan procesos de diseño y automatizan tareas, estas tecnologías adquieren una dimensión concreta y práctica en el trabajo cotidiano del arquitecto, permitiendo explorar con eficiencia y precisión soluciones innovadoras en la forma y función del espacio. Sin embargo, no he podido evitar notar algunas preocupaciones que rodean su uso, tanto dentro como fuera del ámbito académico. Existe la percepción de que estas tecnologías están reservadas exclusivamente para proyectos extravagantes con presupuestos elevados, reforzando así la competencia dentro de un mercado inmobiliario cada vez más feroz.

Si bien comprendo esta inquietud, considero esencial reconocer el enorme potencial de esta tecnología. Estas herramientas avanzadas permiten analizar criterios económicos, estructurales, materiales, sostenibles y bioclimáticos, optimizando la búsqueda de soluciones viables y facilitando la simulación de numerosas alternativas de diseño sin necesidad de construcción física. Esto posibilita la elaboración de proyectos que, incluso con presupuestos limitados, pueden generar un impacto social significativo. En este contexto, surge una pregunta clave: ¿Cómo aprovechar el potencial de las tecnologías avanzadas de diseño computacional para contribuir al desarrollo social en contextos con recursos limitados?

Para responder a esta interrogante decidí regresar a mis raíces, La Habana, Cuba, una isla caribeña en constante ebullición. Es en este escenario, rico en cultura e historia pero también con grandes desafíos en materia de seguridad alimentaria, energética y climática, donde asumo el reto de crear una propuesta de invernadero urbano que también sirva como mercado público mediante la implementación de estas tecnologías avanzadas de diseño computacional. Esta decisión responde directamente al contexto actual de la ciudad, donde los mercados comunitarios existentes padecen de una infraestructura deficiente.

A esta problemática se suma el elevado precio del combustible, consecuencia directa de la inflación que afecta al país, dificultando considerablemente la logística alimentaria y encareciendo los precios hasta volverlos inaccesibles para la mayoría de la población.

La propuesta de un Invernadero-mercado, denominado como Ecomercado, se convierte así en un laboratorio de ideas, un espacio que promueve el cultivo y la venta de alimentos a través de prácticas de agricultura urbana que favorecen el empoderamiento comunitario y la economía circular. Un experimento tangible que permite indagar en las potencialidades del diseño computacional para generar espacios que actúen como catalizadores de cambio social. Integrando esta tecnología no sólo como un recurso de diseño estético, sino como un medio para encontrar soluciones a problemas reales, donde el código y el cultivo se encuentran para imaginar el futuro del espacio habitado.

</ 1.1 JUSTIFICACIÓN >/

01101010 01110101 01110011 01110100 01101001 01100110
01101001 01100011 01100001 11000011 10101111 01101110

En el ámbito de la arquitectura contemporánea, el uso de tecnologías avanzadas de diseño computacional, como el diseño paramétrico, algorítmico y la simulación, ha sido frecuentemente asociado a proyectos de gran escala con significativas posibilidades económicas. Esta percepción ha contribuido a una estigmatización del uso de estas metodologías en la formación del arquitecto, especialmente en América Latina, invisibilizando su potencial para abordar necesidades comunitarias. Sin embargo, estas tecnologías podrían tener un impacto significativo en el desarrollo social de comunidades con recursos limitados.

Las herramientas avanzadas de diseño computacional pueden ofrecer una notable adaptabilidad, permitiendo crear soluciones personalizadas que respondan a las condiciones específicas de cada comunidad. Estas prácticas podrían facilitar la optimización de recursos, maximizando el uso eficiente de materiales y reduciendo costos, aspectos fundamentales en contextos con recursos escasos. Estas metodologías permiten la integración de simulaciones ambientales desde etapas tempranas del diseño, respondiendo en tiempo real a los ajustes del proyecto. De este modo, se promueven prácticas más sostenibles, particularmente relevantes en el contexto latinoamericano.

La elección de La Habana como escenario para este proyecto no es casual. La agricultura urbana ha sido una parte integral de la historia de Cuba, especialmente a través del desarrollo de los organopónicos. Este sistema de huertos urbanos surgió como respuesta a la crisis económica de los años 90, cuando la escasez de alimentos y recursos obligó al país a encontrar soluciones sostenibles e innovadoras para la producción local de alimentos. Además, los problemas actuales de infraestructura, déficit energético e inseguridad alimentaria hacen de La Habana un lugar estratégico y propicio para implementar una propuesta arquitectónica que atienda estas necesidades.

Los mercados públicos de la ciudad presentan condiciones físicas insuficientes y productos a precios prohibitivos para la población. Estas dificultades se agravan por los problemas logísticos derivados de la escasez de combustible y la crisis económica nacional.

Este panorama requiere la exploración de soluciones innovadoras que maximicen la eficiencia de los recursos y promuevan la sostenibilidad. En este sentido, la propuesta del Ecomercado proyectado con metodologías computacionales avanzadas busca ser una alternativa que contribuya a enfrentar estos retos. Se trata de un espacio diseñado para fomentar la producción y venta de alimentos a través de prácticas de agricultura urbana, impulsando el empoderamiento comunitario y la economía circular, con el potencial para convertirse en un catalizador del desarrollo social.

Este proyecto investiga cómo las tecnologías avanzadas de diseño computacional pueden aplicarse en contextos con recursos limitados, examinando su impacto en la generación de soluciones arquitectónicas. A partir de esta experiencia, se busca identificar estrategias replicables que puedan adaptarse a otros entornos con desafíos similares. De este modo, los conocimientos y enfoques desarrollados en este trabajo podrían servir como referencia para futuras intervenciones arquitectónicas que integren estas metodologías en la búsqueda de respuestas sostenibles y socialmente impactantes.

</ 1.2 OBJETIVOS />

01101111 01100010 01101010 01100101 01110100
01101001 01110110 01101111 01110011

Objetivo general:

Explorar el potencial de las tecnologías avanzadas de diseño computacional en la arquitectura para contribuir al desarrollo social en contextos con recursos limitados, mediante la creación de una propuesta de diseño de un Ecomercado en La Habana, Cuba.

Objetivo específico:

1. Comprender fundamentos, principios, aplicaciones y herramientas del diseño computacional en arquitectura.
2. Analizar estudios de casos relevantes para la propuesta de proyecto.
3. Caracterizar y analizar el contexto específico de La Habana.
4. Desarrollar una metodología de diseño computacional para el proyecto.
5. Crear una propuesta de diseño para el Ecomercado.

</ 1.3 METODOLOGÍA />

01101111 01100010 01101010 01100101 01110100
01101001 01110110 01101111 01110011

Para abordar el reto de diseñar un Ecomercado en La Habana, explorando cómo las tecnologías avanzadas de diseño computacional pueden adaptarse y aplicarse a las problemáticas de este contexto específico, se adopta una metodología que se desplegará en varias fases consecutivas, cada una pensada para contribuir en la construcción de la siguiente, asegurando un proceso integral y fundamentado.

En la primera fase, se llevará a cabo una revisión profunda de la literatura relacionada con el diseño computacional en arquitectura. Este análisis incluirá una exploración de los fundamentos teóricos, las aplicaciones avanzadas y las innovaciones recientes en el campo, proporcionando una base sólida de conocimiento que sustentará el proyecto. Simultáneamente, con el fin de mostrar las aplicaciones de estas tecnologías, se seleccionarán ejemplos específicos que ilustran metodologías de sostenibilidad, eficiencia y adaptabilidad en proyectos arquitectónicos. Este análisis permitirá identificar prácticas exitosas que pueden ser implementadas en la propuesta de diseño del Ecomercado.

En la segunda fase del proyecto, el enfoque se desplaza hacia el análisis de estudios de caso especialmente pertinentes para la conceptualización y desarrollo del programa arquitectónico del Ecomercado. Se investigarán ejemplos específicos de mercados públicos y proyectos que integran la agricultura urbana, con el objetivo de entender las dinámicas arquitectónicas y agrícolas que pueden aplicarse al proyecto. Esta fase implica un estudio detallado de la organización espacial, gestión de flujos de personas y técnicas de cultivo en ambientes controlados, elementos claves para el éxito de un mercado eficiente y sostenible. Cada estudio de caso seleccionado proporcionará valiosas lecciones sobre la funcionalidad en este tipo de espacios, permitiendo así adaptar las soluciones identificadas a las necesidades y condiciones específicas del área de estudio.

La tercera fase del proyecto implica una inmersión en el contexto específico de La Habana. Esta fase comienza con la caracterización del clima, la sociedad y la economía de la ciudad, utilizando tanto datos secundarios obtenidos de fuentes confiables como datos primarios recogidos a través de observación directa.

</1.3 />

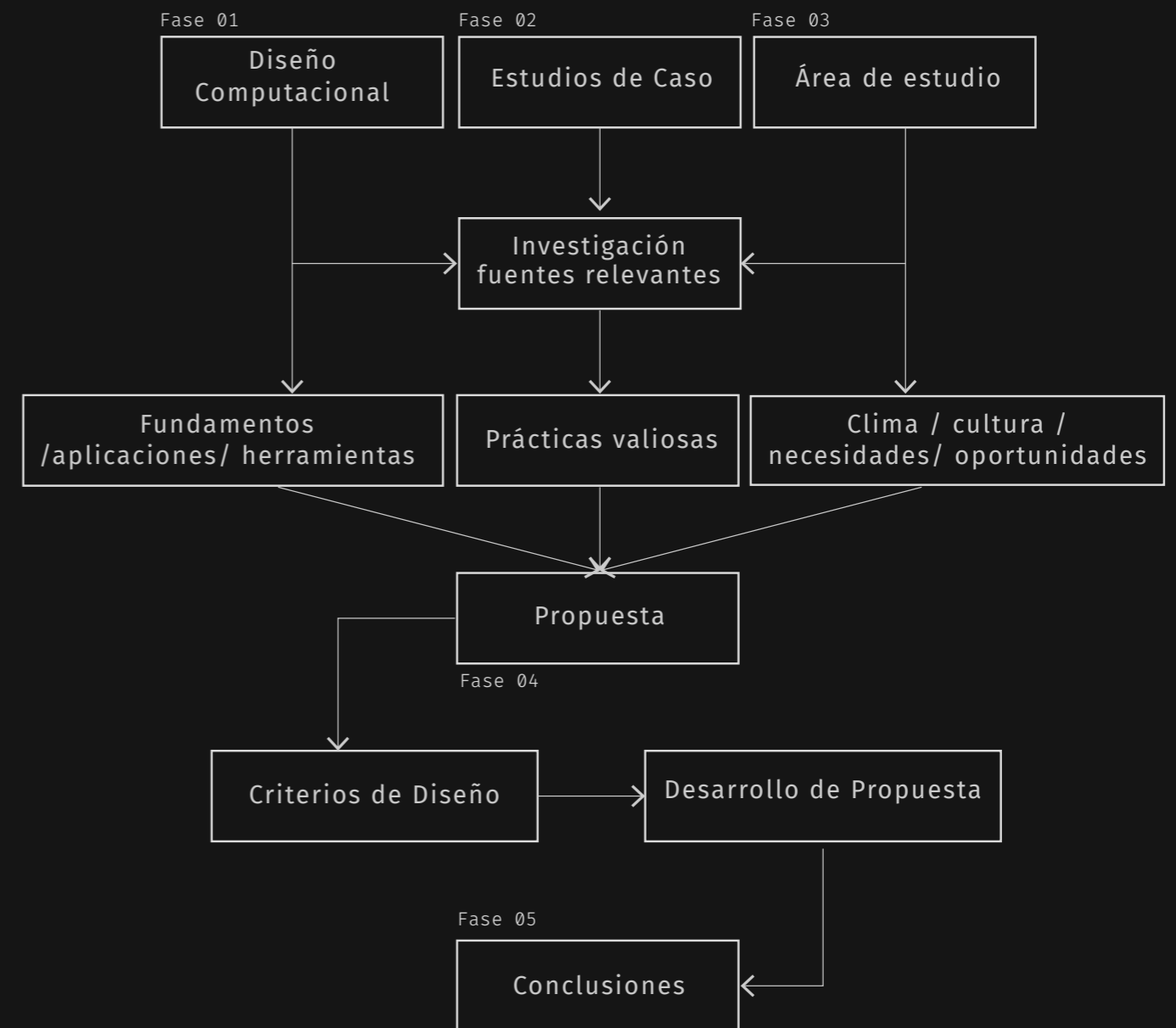
00110001 00101110 00110011

Este análisis detallado permitirá identificar tanto las necesidades como las oportunidades únicas que el contexto presenta para el desarrollo de un proyecto arquitectónico innovador. Al final de esta fase, se tendrán claras las exigencias específicas del proyecto, que incluyen la adaptación a las condiciones climáticas tropicales, adaptación al contexto socioeconómico y la integración con las infraestructuras existentes, todo ello con el fin de asegurar que el diseño propuesto responda efectivamente a las carencias y potencialidades locales.

Durante la cuarta fase del proyecto, se procederá a desarrollar la propuesta de diseño del Ecomercado. Este proceso comenzará con la definición de criterios de diseño específicos basados en los análisis previos del contexto y las prácticas valiosas recogidas de los estudios de caso. Estos criterios guiarán todas las decisiones del proyecto, asegurando que la propuesta sea adecuada al área de estudio. Utilizando tecnologías avanzadas de diseño computacional, como el modelado algorítmico, la parametría y la simulación, se explorarán diferentes configuraciones de diseño considerando aspectos como la iluminación natural, la ventilación, y la eficiencia energética. El desarrollo de la propuesta incluirá la creación de planos arquitectónicos en fase de estudio preliminar, la selección de materiales y la especificación de tecnologías constructivas. El resultado será una propuesta de diseño que no solo cumpla con requisitos funcionales y estéticos, sino que también integre soluciones innovadoras para los desafíos específicos identificados en las fases anteriores.

La última fase del proyecto incluye una reflexión sobre los aprendizajes obtenidos durante el proceso de diseño del Ecomercado. Se analizarán tanto las estrategias implementadas como los retos enfrentados, proporcionando una evaluación crítica del proceso y del producto final.

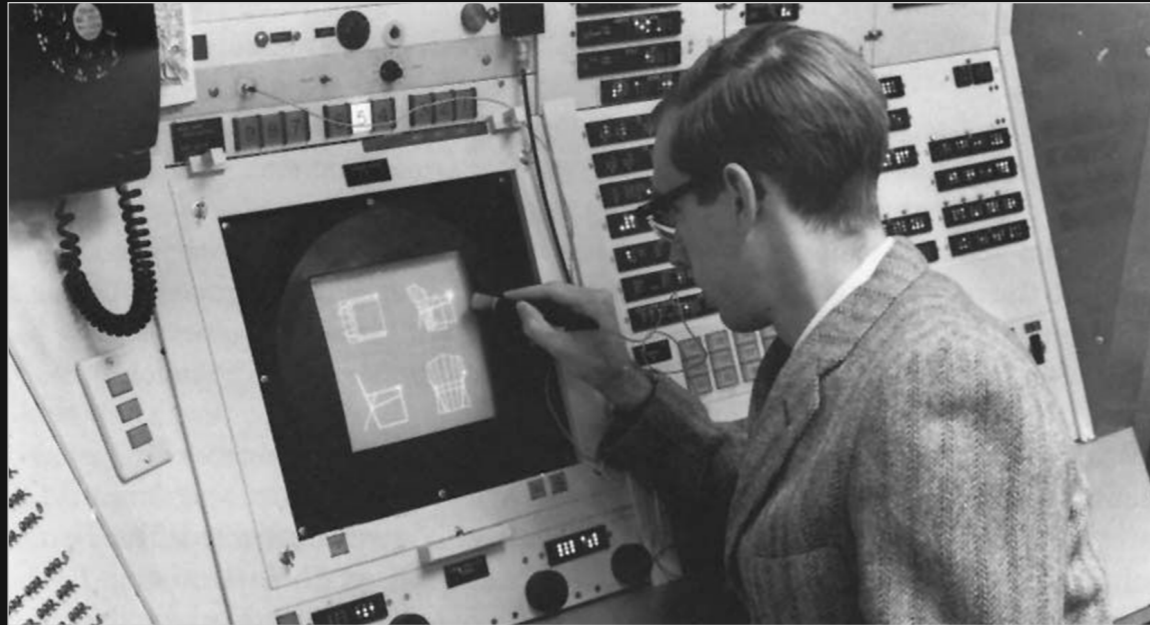
* DIAGRAMA DE METODOLOGÍA *



2. ENTENDIENDO EL DISEÑO COMPUTACIONAL

01110100 01100101 01100011 01101110 01101111 01101100
01101111 01100111 11000011 10101101 01100001

Figura 1:
Ivan Sutherland
utilizando
Sketchpad.



Fuente: Hispa Print (2023). Disponible En: <https://hispaprint.com/blog/disenografo/ha-del-diseno-grafico-sketchpad-el-primer-editor-grafico/>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

Si bien la idea de utilizar computadoras se remonta a la década de 1950 (SILVA, 2012), el término "diseño computacional" comenzó a ganar popularidad en las décadas de 1980 y 1990, particularmente con la expansión y adopción de estas herramientas en la industria arquitectónica. Este término se refiere al uso de herramientas y técnicas informáticas avanzadas para facilitar y mejorar el proceso de diseño en diversos campos, como la arquitectura, la ingeniería, el diseño industrial, entre otros. Este enfoque combina principios de diseño tradicional con métodos computacionales que permiten generar, modelar, simular y optimizar diseños de manera eficiente y precisa. Estas tecnologías permitieron un enfoque más sistemático basado en principios computacionales, diferenciándose de las herramientas de dibujo tradicionales y estableciendo una nueva categoría en el campo del diseño arquitectónico.

Desde las primeras incursiones en la década de 1960, con innovaciones como el programa Sketchpad de Ivan Sutherland, un pionero estadounidense en gráficos por computadora, el diseño computacional ha experimentado una transformación profunda y expansiva. Sketchpad revolucionó la interacción con el diseño al permitir a los usuarios dibujar directamente en una pantalla mediante un lápiz óptico (Fig.1) y manipular elementos gráficos con comandos.

Esta evolución se consolidó y expandió con el desarrollo de herramientas como CAD (Diseño Asistido por Computadora) y BIM (Modelado de Información de Construcción) durante los años 80. Estos desarrollos tecnológicos han trascendido la mera automatización de tareas de dibujo, abriendo las puertas a análisis complejos y optimización de diseños.

Actualmente, la inteligencia artificial (IA) ha transformado la representación visual en la arquitectura, proporcionando herramientas altamente eficientes para la generación de imágenes. Plataformas como DALL-E de OpenAI y Midjourney permiten convertir descripciones textuales y volumetrías básicas en representaciones realistas en cuestión de segundos, facilitando la exploración y comunicación de conceptos de diseño con un alto nivel de detalle (Fig.2).



Figura 2:
Comparación de
imágenes de
volumetría a render
generado por IA.

Fuente: Creado por el autor.

Si bien la IA puede ser una herramienta poderosa, es importante considerar que también puede tender a homogeneizar creativamente, corriendo el riesgo de llegar a conceptos de proyecto desprovistos de carácter e identidad, por lo que es recomendable no depender solamente de esta herramienta como único catalizador creativo.

</2.1 />

00110010 00101110 00110001

La posibilidad de integrar métodos computacionales avanzados en fases tempranas del proyecto ha dinamizado los límites creativos y funcionales en la arquitectura contemporánea. Sin embargo, es fundamental abordar esta tecnología con responsabilidad, valorando el entorno social, cultural, histórico y ambiental en el que se inserta el proyecto.

El uso de tecnologías avanzadas de diseño computacional no garantiza un buen proyecto arquitectónico; su uso efectivo siempre dependerá de las consideraciones y la visión holística del arquitecto con relación a las demandas del proyecto.

</2.1 Diseño Paramétrico />

La parametría es una técnica de diseño que emplea parámetros para definir y controlar diversos aspectos de un proyecto. Estos parámetros facilitan la modificación de propiedades del diseño, como el tamaño, la forma, la posición entre muchos otros, a través de la adición de valores y comandos específicos. Esta técnica se aplica tanto a planos arquitectónicos en 2D como a geometrías 3D complejas y detalladas. El término "diseño paramétrico" comienza a emplearse en la década de 1990, cuando arquitectos, ingenieros y diseñadores comenzaron a explorar y aplicar enfoques paramétricos en sus proyectos. La creciente disponibilidad de softwares de diseño avanzado fue permeando en el área hasta sustituir completamente el dibujo técnico manual, pasando a convertirse en un recurso indispensable en la formación del arquitecto contemporáneo.

</2.1.1 Definición y Principios />

El diseño paramétrico es una metodología que se fundamenta en la manipulación de variables en la concepción de un diseño, permitiendo la exploración de múltiples alternativas y la generación de formas complejas a través de la modificación de parámetros predefinidos (OXMAN, 2010).

Dicho de una manera más simple, el diseño paramétrico se basa en el uso de variables y parámetros. Las variables como su propio nombre indica son elementos modificables en tamaño, forma, posición y otros muchos aspectos, mientras que los parámetros son

los valores numéricos asignados a estas variables. Por ejemplo, en un escenario donde se está diseñando una lámpara inteligente que puede ajustar su brillo a través de un software paramétrico. El brillo es en este caso el elemento modificable (variable) y se le puede asignar valores numéricos (parámetros) a su intensidad. Si asignamos el valor 0 para cuando la lámpara está apagada y el valor 100 para cuando está en su máxima intensidad, podemos controlar el brillo de la lámpara ajustando el valor entre 0 y 100, consiguiendo manipular el nivel de brillo de manera precisa y fácil.

En arquitectura este concepto se puede reflejar en la manipulación de geometrías, alturas, aberturas de fachadas, disposición de elementos en el espacio y mucho más. Además, no solo es posible la parametrización de una única variable, sino que también se pueden conectar múltiples variables mediante relaciones numéricas. Esto permite que la modificación de una variable afecte automáticamente a otra, creando así una cadena de variables interconectadas que pueden ser utilizadas para la creación de algoritmos. Este enfoque no solo facilita una amplia gama de exploración formal, sino que también optimiza el proceso de diseño al automatizar tareas repetitivas y adaptar los proyectos a cambios de requisitos en tiempo real (TERZIDIS, 2006).

La capacidad de iterar rápidamente entre diferentes versiones de un diseño es crucial, ya que promueve un proceso de diseño más experimental y exploratorio (Burry; Kolarevic, 2003). El diseño paramétrico fomenta una colaboración más efectiva entre los diversos actores involucrados en el proceso de diseño, desde ingenieros hasta fabricantes, ya que la información del modelo se puede compartir y actualizar en tiempo real, facilitando un diálogo continuo sobre el proyecto, asegurando que todas las partes contribuyan eficazmente desde sus áreas de especialización (BURRY; KOLAREVIC, 2003).

En conclusión, el diseño paramétrico representa una convergencia de tecnología, diseño y colaboración que redefine los métodos tradicionales, haciendo del proceso de diseño dinámico y adaptativo. A medida que la tecnología continúa evolucionando, también lo harán las aplicaciones y la influencia del diseño paramétrico en el campo de la arquitectura.

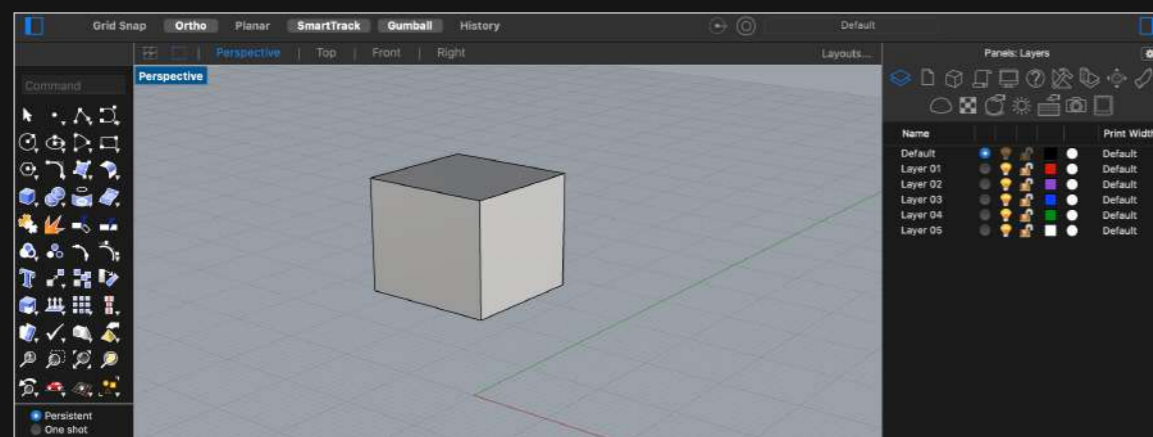
</2.1 />

00110010 00101110 00110001

</2.1.2 Herramientas destacadas/>

El diseño paramétrico ha revolucionado la arquitectura por medio de software avanzado como Revit y Archicad. Ambos programas son ampliamente reconocidos y utilizados en la industria por sus capacidades BIM (*Building Information Modeling*), que permiten la creación y gestión de datos del edificio en todas sus fases, desde el diseño conceptual hasta la construcción y mantenimiento. Sin embargo, cuando se trata de explorar geometrías complejas y generar formas innovadoras, Rhino y su plugin Grasshopper son dos de las herramientas más influyentes (SCHUMACHER, 2016).

Figura 3:
Interfaz de
Rhino.



Fuente: Captura de pantalla por el autor.

Rhino o Rhinoceros 3D (Fig.3), desarrollado por Robert McNeel & Associates, es un software de modelado 3D lanzado comercialmente en 1998, que se caracteriza por su versatilidad y capacidad para manejar geometrías complejas con precisión. Su flexibilidad en el manejo de NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) permite a los usuarios modelar formas desde simples a extremadamente complejas, lo cual es esencial en arquitectura, ingeniería, y diseño industrial (MCNEEL & ASSOCIATES, 2024).

Grasshopper (Fig.4), por otro lado, es un editor de algoritmos que funciona como un plugin gratuito dentro de Rhino. Este plugin desarrollado por David Rutten para Robert McNeel & Associates en 2007, introduce una lógica de programación visual que permite a los usuarios crear algoritmos de generación de formas, optimización, simulación y análisis sin necesidad de escribir código, conectando entradas y salidas de componentes con funcionalidades específicas. Esta herramienta es particularmente útil para explorar configuraciones paramétricas y realizar ajustes en tiempo real, facilitando un diseño altamente interactivo y dinámico (RUTTEN, 2020).

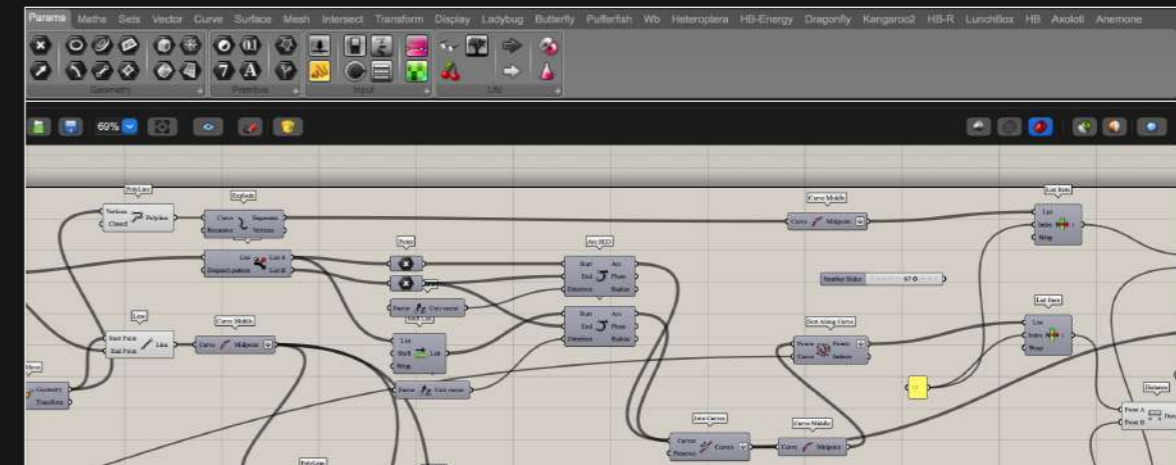


Figura 4:
Interfaz de
Grasshopper con
algoritmo generado.

Fuente: Captura de pantalla por el autor.

Dynamo para Revit es otra herramienta destacada desarrollada por Autodesk, Dynamo es un entorno de programación visual que se integra con Revit, un software ampliamente utilizado en la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción. Dynamo permite a los usuarios crear algoritmos personalizados para automatizar tareas, optimizar procesos de diseño y explorar formas complejas directamente en Revit. Su capacidad para conectar elementos de diseño con datos y reglas algorítmicas permite una mayor eficiencia y creatividad en el proceso de diseño (AUTODESK, 2024).

La comunidad activa y los recursos disponibles para estos softwares aseguran que los usuarios puedan compartir scripts (conjunto de comandos programados para automatizar tareas), resolver problemas y colaborar en proyectos de manera global, lo que enriquece el ecosistema de diseño paramétrico y fomenta la innovación. La capacidad de estas herramientas para integrarse y manipular complejas geometrías algorítmicamente no solo ha expandido los horizontes del diseño arquitectónico y de productos, sino que también ha establecido nuevos estándares en la metodología de la arquitectura contemporánea.

</2.2 />

00110010 00101110 00110010

</2.2 Diseño algorítmico />

El diseño algorítmico avanza sobre la base del diseño paramétrico al enfocarse específicamente en el uso de algoritmos. Estos algoritmos generan formas y estructuras optimizadas, aplicando principios computacionales para transformar la arquitectura y el diseño. Esta aproximación permite a los arquitectos aprovechar la computación para explorar complejidades geométricas, optimizar funciones y realizar análisis estructurales en formas que serían impracticables con métodos de diseño tradicionales.

</2.2.1 Fundamentos del Diseño Algorítmico />

El diseño algorítmico convierte los procesos de diseño en secuencias de instrucciones computacionales (algoritmos). Estos algoritmos facilitan la automatización en la generación de formas, la ejecución de cálculos y la optimización de los diseños, permitiendo a los arquitectos gestionar niveles más altos de complejidad sin incrementar el esfuerzo manual (TERZIDIS, 2006).

Para entender mejor este concepto, se puede retomar la analogía de la lámpara inteligente. Se había ejemplificado cómo mediante variables y parámetros era posible controlar la intensidad del brillo. En este escenario el algoritmo sería el conjunto de instrucciones o reglas que dictan cómo estas variables y parámetros interactúan y cambian. Por ejemplo, se podría crear un conjunto de reglas para que la lámpara, para que a través de un sensor de luz, ajuste automáticamente los valores numéricos (parámetros) de 0 a 100 asociados al brillo (variable) en función de la hora del día y la cantidad de luz ambiental. Esto permite adaptar el diseño a diferentes condiciones y necesidades de manera eficiente.

Esta capacidad de ajustar y personalizar automáticamente es lo que hace que los algoritmos sean tan valiosos en campos como la arquitectura. Los arquitectos pueden iterar rápidamente ajustando parámetros para explorar diversas soluciones a un problema de diseño específico. Por ejemplo, un arquitecto podría usar algoritmos para ajustar automáticamente el tamaño de las ventanas en un edificio según la orientación de las fachadas y la incidencia solar durante todo el año para garantizar mayor confort térmico y menor impacto energético.

La rápida iteración de posibilidades permite evaluar múltiples opciones en un corto período de tiempo, lo cual es fundamental para refinar y perfeccionar diseños basados en retroalimentación y resultados de pruebas (Davis, 2013). En el diseño algorítmico, los parámetros influyen en la salida del algoritmo. Al ajustar estos parámetros, es posible controlar y manipular aspectos del diseño, desde dimensiones y formas hasta propiedades materiales y comportamientos estructurales. Esto permite una personalización y adaptación del diseño altamente detallada (OXMAN, 2005).

A partir de esta capacidad de manipulación precisa, emerge la optimización como un aspecto fundamental en el diseño algorítmico. La optimización es un área clave del diseño algorítmico, ya que proporciona herramientas para lograr los mejores resultados posibles dentro de los límites definidos (POTTMANN et al, 2010). En este ámbito, Karamba 3D es una herramienta avanzada de optimización estructural comúnmente empleada en el diseño paramétrico a través de Grasshopper para Rhino. La herramienta utiliza el análisis de elementos finitos, una técnica computacional clave para predecir la respuesta de una estructura bajo diversas cargas y presiones. Esto resulta particularmente valioso en las etapas iniciales del diseño, donde es posible explorar y comparar múltiples configuraciones de manera rápida para elegir la más adecuada (Preisinger, 2014). Adicionalmente, Karamba 3D facilita la integración con otros programas y herramientas, fomentando un enfoque holístico del diseño que balancea estética, funcionalidad y seguridad estructural.

Por otro lado, Autodesk Fusion 360 es también una herramienta bastante versátil para la optimización topológica en un ambiente tridimensional. Utilizando un modelo 3D proporcionado por el usuario, Fusion 360 por medio de varias configuraciones busca minimizar la masa y el uso de material, mientras se asegura del mantenimiento o la mejora de la resistencia y rendimiento de los componentes. El resultado es un modelo de malla optimizado, basado en el diseño inicial proporcionado que debe ser reconstruido en un sistema CAD para su uso posterior (ORBÁN, 2020). Este método integra la experiencia humana con técnicas avanzadas de optimización, enfocándose en la eficacia estructural y la viabilidad del diseño.

</2.2 />

00110010 00101110 00110010

En resumen, el diseño algorítmico permite abordar proyectos de variada complejidad y escala mediante la parametrización y la optimización. La habilidad para ajustar algoritmos y manipular parámetros facilita no sólo la viabilidad de formas innovadoras, sino también la mejora del rendimiento y la eficiencia de los diseños, integrando análisis y optimización estructural en etapas tempranas del proyecto.

</2.2.2 Diseño Generativo />

El diseño generativo representa un avance significativo en la manera de concebir y realizar proyectos en diversas disciplinas, desde la arquitectura hasta el diseño industrial y la ingeniería. A través del uso de algoritmos, esta metodología puede responder a una variedad de criterios predeterminados, generando diseños que no solo son innovadores sino también estructuralmente funcionales.

La esencia del diseño generativo radica en su capacidad para automatizar la generación de múltiples variaciones de diseño. Los algoritmos se programan para explorar el espacio de diseño posible, creando múltiples iteraciones que se ajustan a los parámetros establecidos. Esto permite a los diseñadores evaluar una amplia gama de opciones sin necesidad de crear manualmente cada variante (OXMAN, 2005).

Uno de los aspectos más potentes del diseño generativo es su habilidad para incorporar y satisfacer criterios específicos, que pueden ser estéticos, funcionales o ambientales. En arquitectura, los algoritmos pueden ser diseñados para maximizar la eficiencia energética, optimizar el uso de luz natural o minimizar el impacto ambiental de un edificio (FRAZER, 1995).

La rapidez con la que el diseño generativo puede producir y evaluar alternativas es fundamental para un enfoque exploratorio en el diseño. Los arquitectos pueden probar rápidamente diferentes configuraciones para ver cómo cada una responde a los criterios del diseño, haciendo ajustes en tiempo real para refinar el proyecto (FRAZER, 2002).

Dado que el diseño generativo se basa en parámetros ajustables, permite una personalización extrema sin un aumento significativo en la carga de trabajo o en los costos. Esto es especialmente valioso en proyectos que requieren una adaptación específica a los contextos locales o las necesidades del usuario (KOLAREVIC, 2003).

Dentro de Grasshopper, el plugin Galápagos es una de las herramientas más utilizadas en el campo del diseño generativo. Este componente utiliza un método inspirado en la teoría de la evolución de Darwin para encontrar la mejor solución a problemas complejos. En lugar de probar soluciones al azar, Galápagos ajusta continuamente los valores de ciertos parámetros, similar a cómo la naturaleza adapta las especies a su entorno. Este proceso se denomina "solución evolutiva", donde el objetivo es mejorar una puntuación o "aptitud" que define qué tan buena es una solución. A medida que Galápagos experimenta con diferentes combinaciones de parámetros, aprende cuáles conducen a mejores resultados, buscando optimizar esta puntuación al máximo o mínimo, según lo que se necesite (Tait, 2024). Esta vía es particularmente útil para resolver problemas donde los métodos tradicionales podrían fallar o ser menos efectivos.

Las metodologías generativas ofrecen un enfoque poderoso para explorar y optimizar diseños complejos, promoviendo la creación de soluciones innovadoras y funcionales que se adaptan con precisión a las necesidades ambientales y contextuales.

</2.2.2 Simulación />

Las simulaciones en el diseño algorítmico proporcionan un mecanismo para probar teorías, validar decisiones y predecir el comportamiento de los diseños en un entorno controlado contribuyendo a la optimización de proyectos en múltiples dominios y permitiendo a los arquitectos probar la viabilidad de sus ideas antes de proceder con la implementación física.

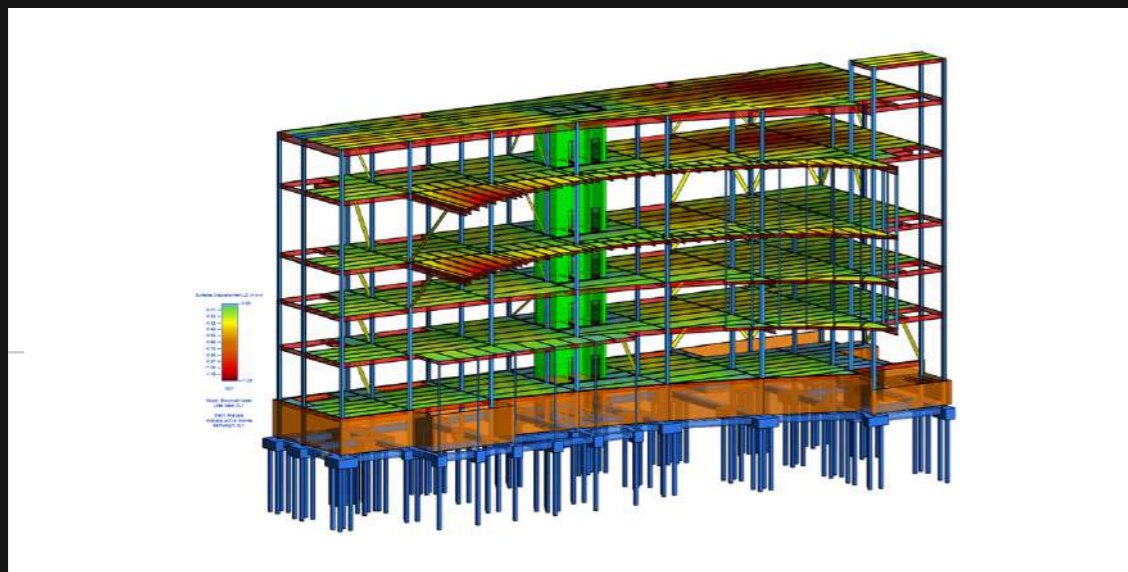
</2.2 />

00110010 00101110 00110010

Esto incluye la evaluación de la estabilidad estructural, la resistencia de los materiales, la logística de construcción y el impacto ambiental de los proyectos. Mediante el uso de algoritmos, los diseñadores pueden ajustar y simular diferentes escenarios para asegurar que el diseño cumple con los requisitos técnicos y prácticos necesarios (BURRY, 2011).

Estas técnicas son fundamentales en el desempeño estructural para garantizar que los diseños no solo sean estéticamente agradables, sino también seguros y funcionales. Estas simulaciones utilizan modelos computacionales para predecir cómo las estructuras responderán bajo cargas variadas, identificando posibles puntos de falla (Fig.5) y permitiendo a los diseñadores hacer ajustes necesarios antes de la construcción real (KOLAREVIC, 2003).

Figura 5:
Modelo de análisis
estructural en
Autodesk Revit.



Fuente: Autodesk (2016). Disponible En: <https://www.autodesk.com/blogs/aec/2016/12/07/5-great-features-in-structural-analysis-for-revit/>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

En el contexto del diseño sostenible, las simulaciones energéticas y ambientales son cruciales para minimizar el consumo de energía de los edificios y otras estructuras. Estas simulaciones ayudan a analizar el flujo de energía a través de un diseño, evaluando cómo las modificaciones en la orientación de una edificación, la forma y los materiales pueden impactar en la eficiencia energética del proyecto (OXMAN, 2010).

Esto puede incluir la simulación del ciclo de vida de los materiales, la gestión del agua de lluvia, la integración de sistemas de energía renovable y la evaluación del confort térmico y lumínico, mejorando considerablemente el impacto ambiental del proyecto.

Herramientas especializadas como Ladybug y Honeybee (Fig.6) son de gran utilidad para realizar evaluaciones detalladas y específicas de los proyectos. Estos plugins para Grasshopper permiten realizar simulaciones energéticas y ambientales detalladas dentro de Rhino. Ladybug permite analizar datos climáticos para informar decisiones de diseño sostenible, mientras que Honeybee se utiliza para realizar simulaciones más complejas como análisis de luz diurna y consumo energético. Estas herramientas pueden ser bastante interesantes para arquitectos que buscan optimizar el desempeño ambiental de sus proyectos y asegurar que los diseños sean no sólo viables, sino también responsables con el entorno (ROUDSARI; PAK, 2013).

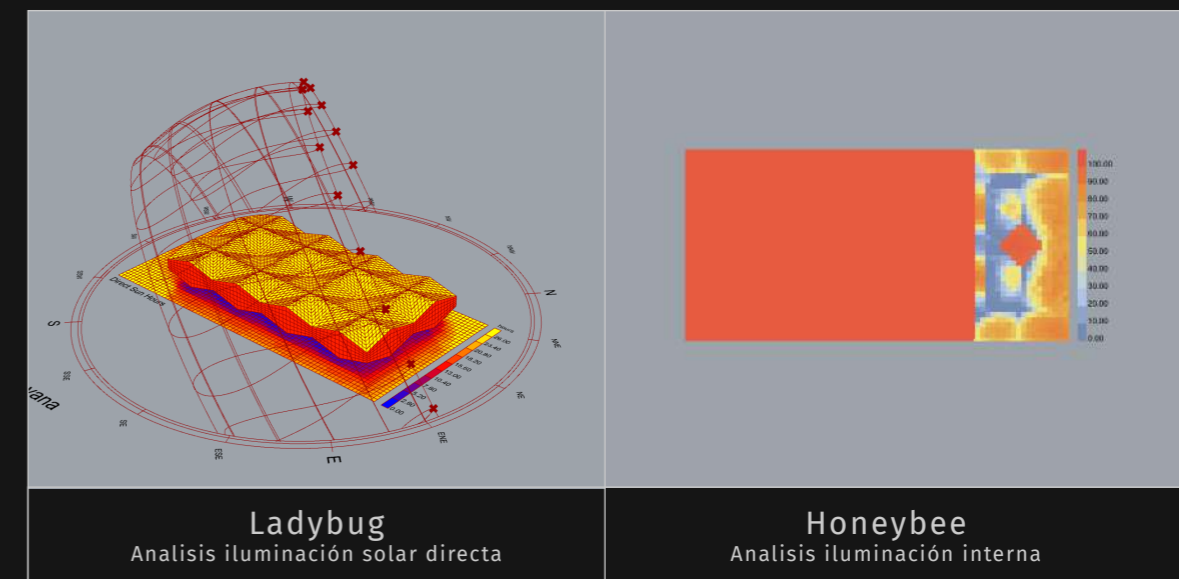


Figura 6:
Estudios de
simulación
ambiental con
Ladybug y Honeybee.

Fuente: Creado por el autor.

Integrar Ladybug, Honeybee en el proceso iterativo de diseño permite una adaptación constante del modelo basado en resultados cuantitativos. Esto asegura que las decisiones de diseño no solo se basen en intuiciones estéticas o funcionales, sino que también estén respaldadas por datos empíricos sólidos que promueven la eficiencia y la sostenibilidad.

</2.3 />

00110010 00101110 00110011

La capacidad de estas herramientas para integrarse con plataformas de diseño algorítmico facilita un flujo de trabajo automatizado y altamente eficiente, donde la simulación informa y guía el proceso de diseño en tiempo real. Esto permite una exploración de diseño más dinámica y fundamentada, acelerando el ciclo de innovación y permitiendo la exploración de soluciones con mayor profundidad.

</2.3 Aplicaciones en Arquitectura />

Las tecnologías avanzadas de diseño computacional han emergido como una herramienta clave para enfrentar desafíos complejos y desarrollar soluciones innovadoras. Esta sección explora cómo estas tecnologías pueden ser aplicadas en el campo de la arquitectura, destacando su impacto en la concepción y ejecución de proyectos. A través de ejemplos concretos y estudios de caso, se examinan aplicaciones específicas del diseño computacional, ilustrando cómo estas metodologías pueden optimizar procesos y resultados arquitectónicos. Desde la reinterpretación de iconos arquitectónicos históricos como la Ópera de Sídney hasta la simulación de varios escenarios en etapas tempranas del diseño que ilustran la versatilidad y el potencial de estas herramientas en el ámbito arquitectónico.

</2.3.1 La Ópera de Sídney desde una perspectiva contemporánea />

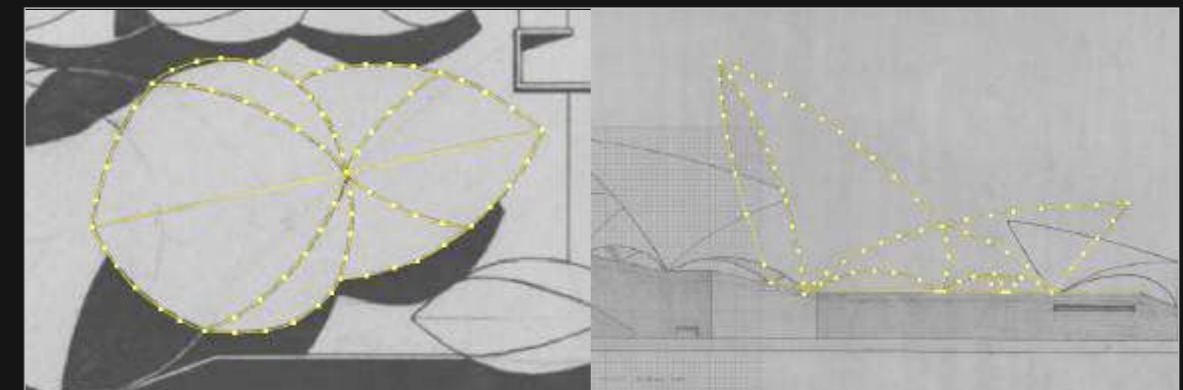
El trabajo "Aplicación de algoritmos paramétricos de generación formal en el diseño estructural: La Ópera de Sídney desde una perspectiva contemporánea" fue presentado en el II Congreso Internacional sobre Modelos Mecánicos en Ingeniería Estructural (CMMoST), que se llevó a cabo en la Universidad de Granada, España, en junio de 2013. El estudio fue dirigido por Juan Rey Rey, del Departamento de Estructuras de Edificación de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid, España, quien aplicó metodologías contemporáneas para reinterpretar la icónica estructura de la Ópera de Sídney, localizada en Australia.

El proyecto inició con la premisa de que las tecnologías de diseño computacional podrían haber tenido un impacto significativo en el diseño y la construcción de la Ópera de Sídney si hubieran estado

disponibles durante su creación original entre 1956 y 1973. Se propuso analizar cómo estas herramientas modernas podrían haber cambiado los métodos de representación gráfica y análisis estructural utilizados en ese tiempo. El objetivo principal era demostrar cómo las herramientas y métodos de diseño computacional pueden optimizar estructuras arquitectónicas complejas en la actualidad, facilitando soluciones innovadoras que respeten la estética original mientras mejoran la eficiencia material y estructural.

El proceso comenzó con una revisión de la documentación histórica del diseño y construcción de la Ópera de Sídney. Se analizaron los dibujos originales presentados por Jørn Utzon al concurso de arquitectura, así como los métodos de representación y análisis estructural utilizados en esa época. Esta fase inicial permitió identificar las limitaciones técnicas y metodológicas que enfrentaron los diseñadores y constructores originales debido a la falta de herramientas digitales avanzadas.

A continuación, se procedió a la digitalización de los dibujos originales utilizando el programa Rhinoceros v5.0, especializado en el modelado de NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines). Este proceso involucró la captura de puntos directamente sobre los dibujos escalados de plantas y alzados, seguido de la interpolación de curvas a partir de estos puntos utilizando polinomios de tercer grado (Fig.7). Esta digitalización permitió recrear un modelo geométrico tridimensional de las cubiertas originales propuestas por Utzon.



Fuente: Rey Rey, Juan (2013, P. 4)

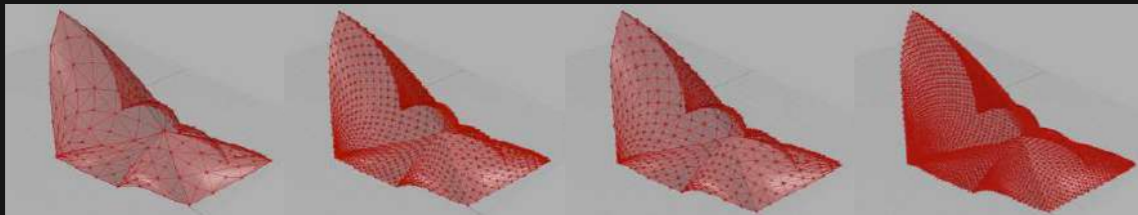
Figura 7:
Digitalización
de dibujos
en Rhino.

</2.3 />

00110010 00101110 00110011

Con el modelo digitalizado, se exploraron diversas alternativas estructurales para las cubiertas utilizando técnicas de diseño paramétrico. Se emplearon algoritmos específicos y herramientas como Grasshopper y plugins como LunchBox y Karamba para generar y evaluar diferentes mallas y disposiciones de barras (Fig.8). El uso de estas herramientas permitió realizar una serie de análisis comparativos de las propuestas estructurales, evaluando su eficiencia y viabilidad en términos de economía de materiales y comportamiento estructural.

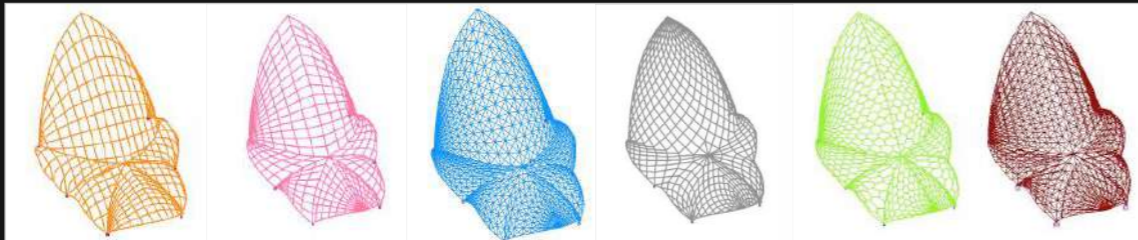
Figura 8:
Estudio de distintos grados de densidad de malla para un posible mallado de las superficies.



Fuente: Rey Rey, Juan (2013, P. 8)

Con ayuda de Autodesk Robot Structural Analysis, considerando las mismas cargas actuantes en todos los casos se identificó la disposición más eficiente de barras en términos de comportamiento tenso-deformacional y minimización del peso estructural (Fig.9). Los resultados indicaron que la geometría más eficaz era una malla tridimensional de tetraedros. Sin embargo, esta opción fue descartada por alejarse demasiado de la propuesta original de Utzon, que prefería una disposición laminar. En su lugar, se optó por una malla diagonal que respetaba mejor la estética original del diseño.

Figura 9:
Ivan Sutherland usando sketchpad.



Fuente: Rey Rey, Juan (2013, P. 8)

Finalmente, se realizó un análisis paramétrico adicional para determinar la densidad de malla más adecuada, optimizando la separación de las barras para minimizar el peso de la estructura y su superficie exterior.

En conclusión, el estudio indica que las herramientas de diseño paramétrico permiten generar rápidamente y de manera automática mallas estructurales sobre superficies complejas, facilitando la optimización de la estructura tomando en cuenta los condicionantes formales del diseño, permitiendo soluciones innovadoras que respeten la estética original mientras mejoran la eficiencia material y estructural. Este enfoque metodológico ofrece una poderosa herramienta para los arquitectos e ingenieros, facilitando la creación de diseños optimizados y eficientes que integran las ventajas de las tecnologías digitales contemporáneas.

</2.3.2 Escenarios simulados en etapas iniciales del diseño arquitectónico/>

La aplicación temprana de simulaciones en el proceso de diseño facilita la toma de decisiones informadas, permitiendo a los arquitectos evaluar el impacto de sus elecciones no solo en términos estéticos, sino también funcionales y ambientales. Esta práctica mejora la calidad del diseño final, optimiza recursos y reduce costos al prever y mitigar posibles problemas de rendimiento desde la fase conceptual (ØSTERGÅRD ET AL, 2016).

En este contexto, el proyecto académico de la Universidad de Tecnología de Viena, "Evaluación de la Usabilidad y Utilidad de Nuevas Herramientas de Simulación del Rendimiento de Edificios en el Proceso de Diseño Arquitectónico", realizado en el 2017, explora la usabilidad y la utilidad de herramientas de simulación. Este estudio evalúa cómo estas herramientas pueden integrarse efectivamente desde las primeras fases del diseño para mejorar la toma de decisiones y optimizar el rendimiento del proyecto en términos de eficiencia energética, confort ambiental y criterios de adaptabilidad. Para ello, se elaboraron varios escenarios que exploran los diferentes aspectos y beneficios de la integración de estas herramientas en contextos reales.

[Escenario 1: Análisis Climático con Ladybug]

El primer escenario se basa en la recolección de datos climáticos para una localización específica de un terreno en los suburbios de Viena, donde se pretende construir una futura edificación en un terreno vacío.

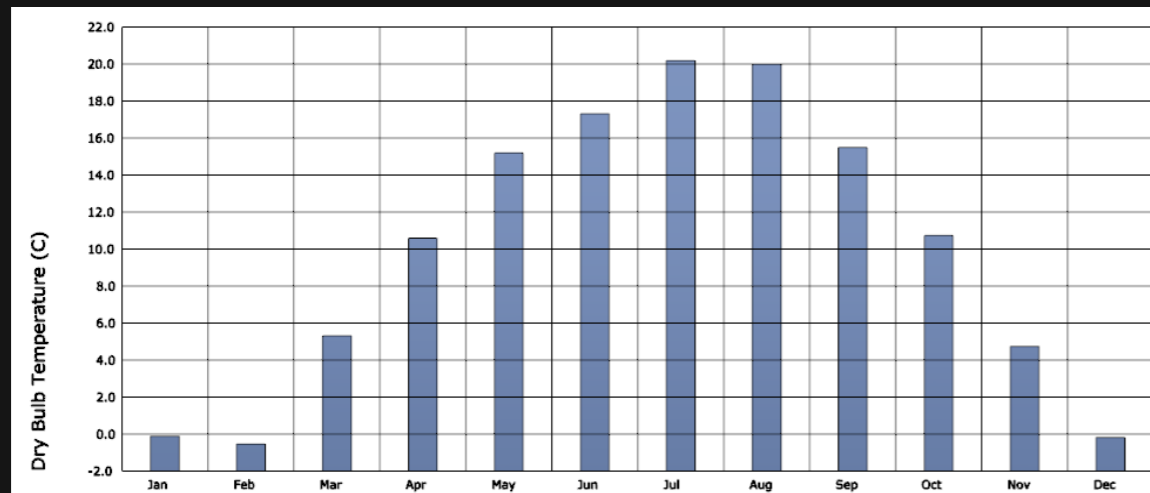
2.3

00110010 00101110 00110011

El objetivo era minimizar el consumo energético a través de estrategias activas y pasivas mientras se mantenía un alto nivel de confort térmico para los residentes. Las estrategias principales incluían maximizar la ganancia de calor de la radiación solar y aprovechar la ventilación natural. Para esto se importaron datos meteorológicos disponibles online, dentro de componentes del plugin ladybug para grasshopper. Esto permitió visualizar los datos a través de gráficos generados dentro de la interfaz de Rhino.

Como resultado se arrojaron datos como la temperatura mínima y máxima registrada, junto con un gráfico de barras de la temperatura promedio mensual del bulbo seco (Fig.10). Este gráfico es útil para entender las variaciones de temperatura a lo largo del año, lo que ayuda en la selección de estrategias de diseño térmico adecuadas.

Figura 10: Gráfico de barras de la temperatura promedio mensual del bulbo seco.



Fuente: Bazafkan, Ehsan. (2017, P. 41).

También se generó un diagrama de rosa de vientos (Fig.11). Por medio de este es posible saber la dirección y la velocidad de los vientos predominantes durante todo el año. Este conocimiento es crucial para estrategias de diseño de ventilación natural y para la orientación del edificio que puede maximizar el confort térmico minimizando la exposición a vientos desfavorables. Además se generó un diagrama de rosa de radiación (Fig.11). Este gráfico ayuda a visualizar y la distribución de la radiación solar a lo largo del año. Esta información es útil para decidir la orientación del edificio, la ubicación de las ventanas y otras superficies acristaladas para maximizar o minimizar la ganancia solar pasiva.

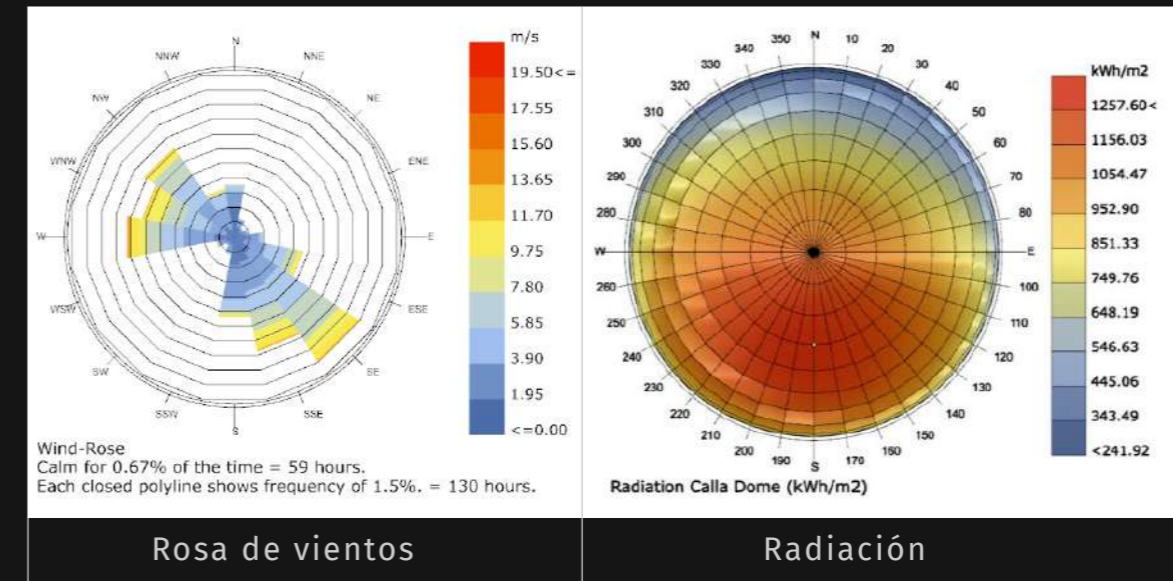


Figura 11: Diagramas de Rosa de vientos y radiación.

Fuente: Bazafkan, Ehsan. (2017, P. 42).

Por último se generó un Diagrama Psicométrico (Fig.12) que permitió evaluar el confort térmico y las necesidades energéticas para la calefacción y enfriamiento por horas, considerando la relación temperatura humedad en el exterior durante todo el año. Para esta localización específica los datos indican que se requieren aproximadamente 3256 horas de calefacción al año y solo 14 horas de enfriamiento, lo que subraya la importancia de estrategias eficientes de calefacción en el diseño de la futura edificación.

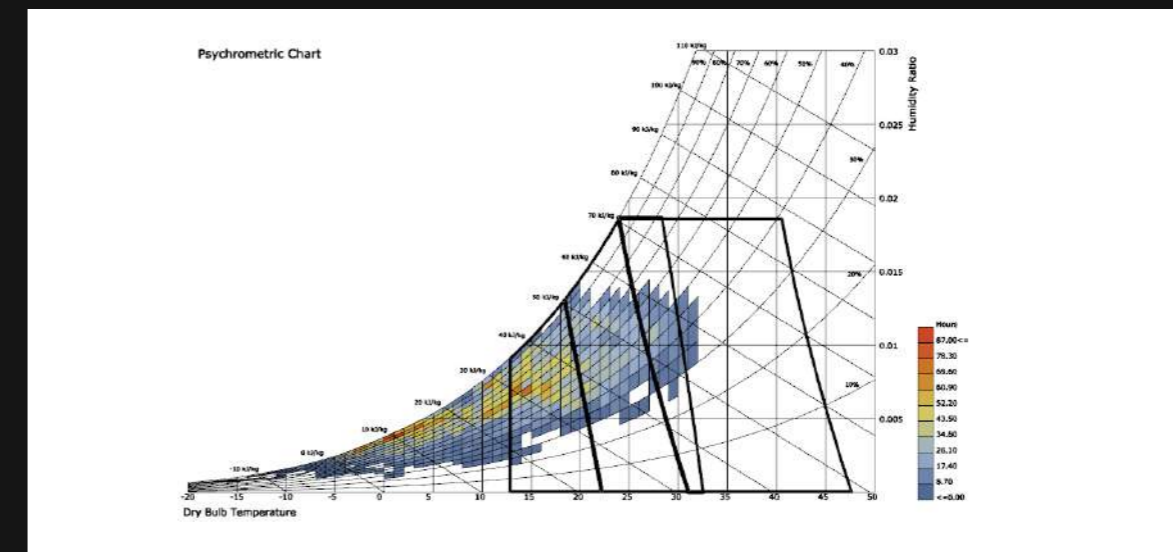


Figura 12: Diagrama Psicométrico.

Fuente: Bazafkan, Ehsan. (2017, P. 42).

</2.3 />

00110010 00101110 00110011

Este escenario resalta la relevancia de utilizar herramientas computacionales para la visualización y análisis de datos ambientales, esenciales no sólo para comprender mejor el clima y su impacto en el proyecto, sino también para fomentar la integración de estrategias de diseño pasivas o activas desde las etapas iniciales. Este enfoque, centrado en el rendimiento, es clave para el desarrollo de edificios sostenibles y confortables, subrayando así la vital importancia de incorporar simulaciones de rendimiento al comienzo del proceso de diseño arquitectónico.

[Escenario 2: Simulación temprana del rendimiento térmico para un edificio comercial de varios pisos.]

Este escenario se centró en la simulación temprana del rendimiento térmico de un edificio comercial de cinco pisos ubicado en Isfahan, Irán. El proceso comenzó con la selección del edificio y la recopilación de datos climáticos específicos de la región de Esfahan. Estos datos incluyen información sobre temperaturas, humedad, radiación solar y patrones de viento, esenciales para una simulación precisa del rendimiento térmico.

Este proyecto aborda las etapas preliminares del diseño de un edificio comercial de cinco pisos, empleando el plugin Honeybee para Grasshopper a fin de realizar una simulación inicial del rendimiento térmico del edificio. El proceso comienza con la modelación de una geometría simple en Rhino, utilizando volúmenes rectangulares organizados en capas separadas para simplificar la manipulación. Posteriormente, esta geometría se divide en zonas dentro de Grasshopper, correspondientes a diferentes usos como oficinas y otros espacios, permitiendo que las modificaciones se reflejen automáticamente y de manera eficiente en la geometría 3D de Rhino.

Con el zonificado establecido, Honeybee se utiliza para asignar propiedades térmicas específicas a cada zona, según su función. Se opta por configuraciones básicas del plugin, como la división automática del volumen por pisos y la adición de acristalamiento según proporciones predeterminadas para cada fachada. Finalmente, con todo configurado, se ejecuta la simulación de EnergyPlus a través de Honeybee, produciendo resultados que se visualizan mediante gráficos y representaciones directamente sobre la

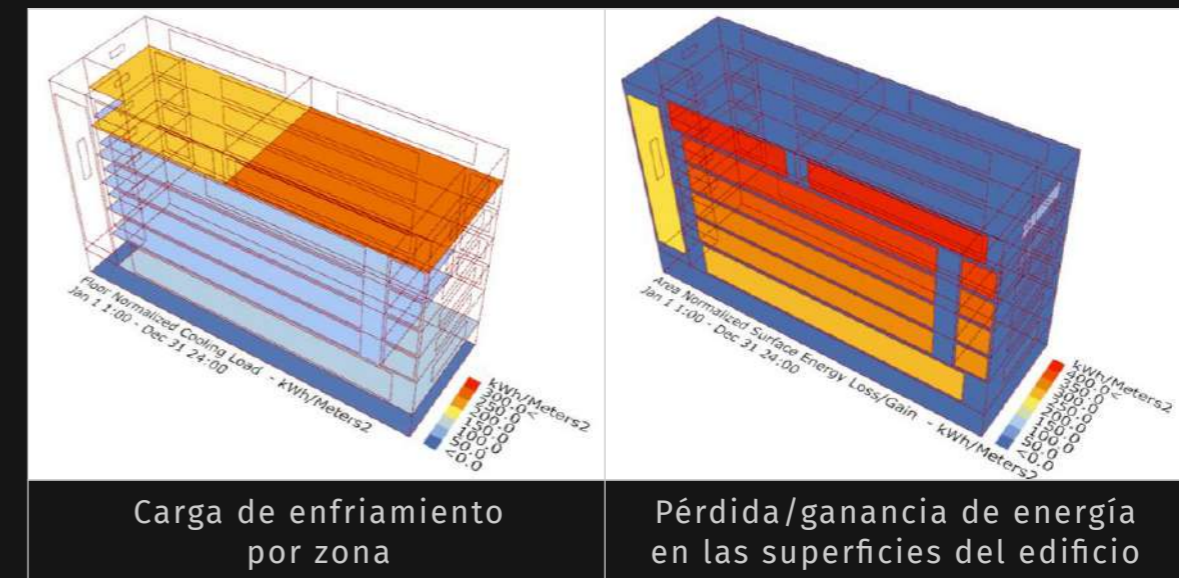


Figura 13: Representación de cargas de enfriamiento por zonas y pérdida/ganancia de energía en las superficies del edificio.

Fuente: Bazafkan, Ehsan. (2017, P. 48).

Los datos indican que las zonas del piso superior son principalmente responsables de las altas cargas de refrigeración, y protegerlas de la luz solar directa podría ser una solución adecuada. Además, las ventanas son responsables de una ganancia de energía significativa, lo que a su vez contribuye al sobrecalentamiento y al aumento de las cargas de refrigeración. Por lo tanto, crear estrategias de sombreados en las ventanas podría ser ventajoso.

A partir de las simulaciones realizadas, Honeybee propone una serie de soluciones para que el equipo de diseño considere con el objetivo de minimizar el impacto energético y mejorar el confort térmico. Entre estas soluciones se incluyen estrategias como sombrear las ventanas, instalar un toldo sobre el techo, utilizar vidrios de mayor eficiencia, implementar un sistema de techo verde para refrigeración, ajustar la proporción de acristalamiento a pared y finalmente, colocar paneles solares en el techo que, además de proporcionar sombra, aprovechan la generación de energía local.

Todas estas opciones pueden ser rápidamente simuladas y evaluadas, permitiendo comparar sus resultados para seleccionar la alternativa que mejor se alinee con las necesidades específicas del proyecto, permitiendo tomar decisiones informadas para mejorar la eficiencia energética y el confort térmico del edificio.

2.3

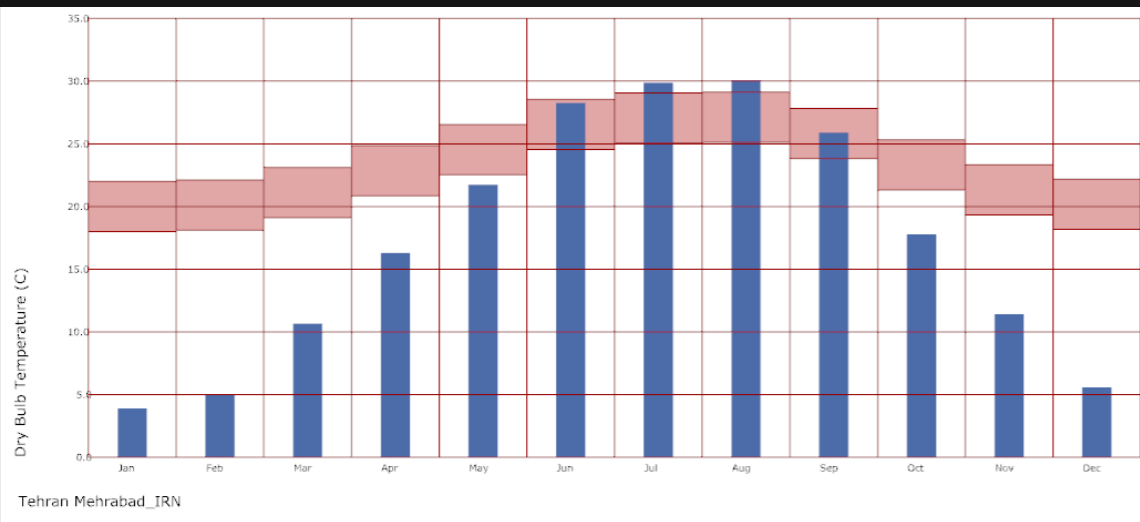
00110010 00101110 00110011

[Escenario 3: Estudio de masa para una torre residencial.]

Este escenario se centra en la planificación y diseño de hasta 70,000 m² de espacio residencial en el centro de Teherán, Irán. El objetivo principal es lograr un bajo consumo energético para el aire acondicionado manteniendo un alto nivel de confort para los residentes. Para esto, se decidió incorporar el rendimiento y confort térmico en el proceso de diseño desde el inicio, considerando la forma del edificio como un punto de partida clave para satisfacer tanto las preocupaciones de rendimiento como las estéticas.

El primer paso del diseño implicó comprender el clima y el contexto urbano. Utilizando el plugin Ladybug, se generó un diagrama de la temperatura promedio mensual de bulbo seco (Fig.14), revelando los períodos más calurosos y más fríos del año. Los análisis demostraron que el principal desafío era el calentamiento, lo que hacía que la carga de refrigeración fuera un factor crítico en el aumento del consumo energético.

Figura 14: Temperatura de bulbo seco mensual promedio con zona de confort adaptativo proyectada.



Fuente: Bazafkan, Ehsan. (2017, P. 52).

Para abordar este desafío, se optó por sistemas pasivos que reducen significativamente el consumo de energía y son esenciales para determinar la orientación y la forma del edificio. Se generaron gráficos psicrométricos que proporcionaron una visión clara de la eficacia de diversas estrategias pasivas y destacaron los momentos en que el aire acondicionado activo se vuelve indispensable para mantener el confort térmico.

Grasshopper sugiere por defecto una lista limitada de estrategias pasivas que podrían adecuarse al proyecto. Se eligió la ventilación natural y el aislamiento térmico como las estrategias pasivas más efectivas. Estas estrategias están influenciadas directamente por la orientación del edificio en relación con la velocidad y dirección del viento, así como la radiación solar. Mediante el uso del plugin Ladybug en Grasshopper, se generaron gráficos de viento y radiación solar (Fig.15) que permitieron realizar análisis para todo el año y períodos específicos.

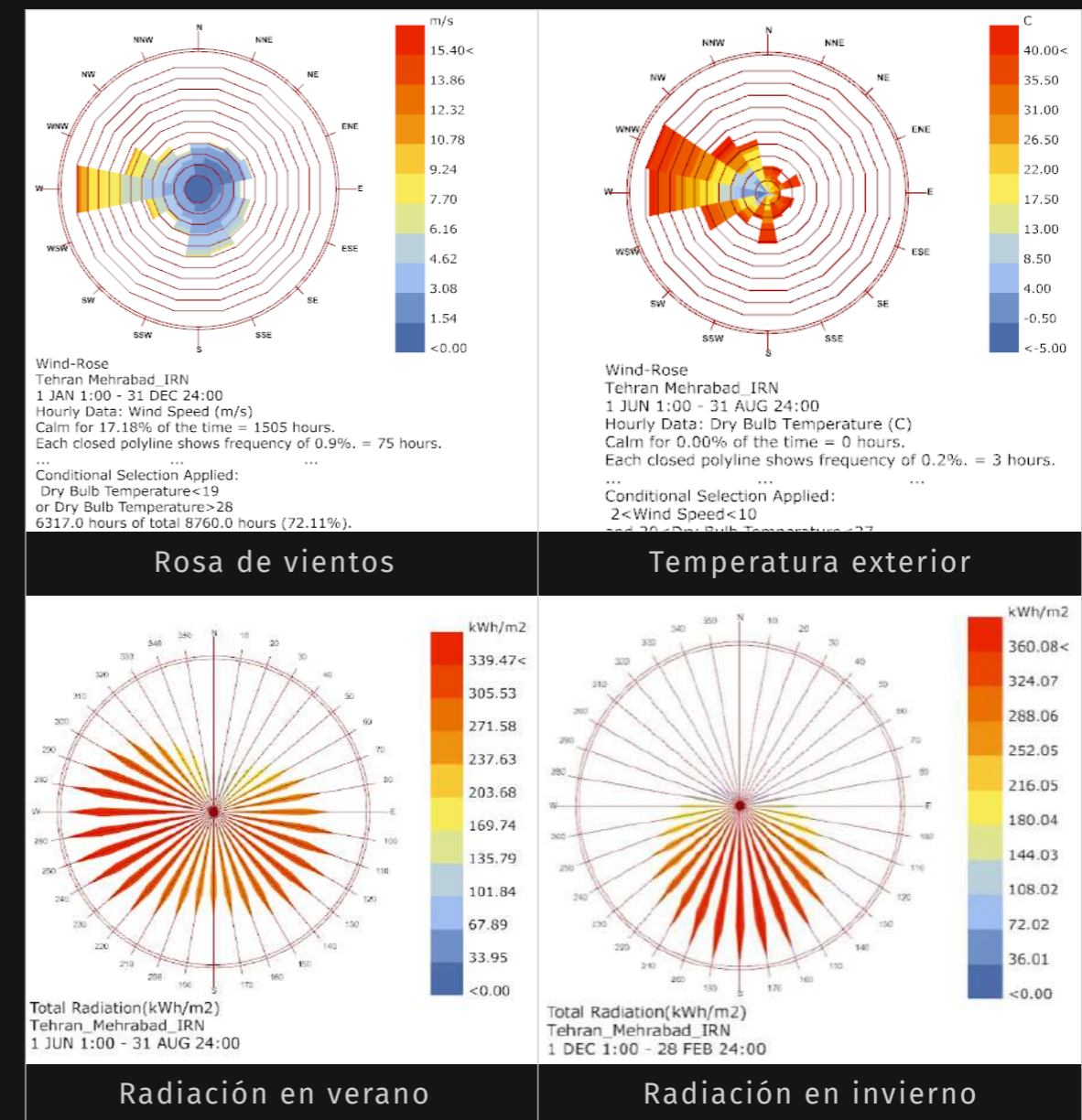


Figura 15: Gráficos de Rosa de vientos y radiación en invierno y verano.

Fuente: Adaptado De Bazafkan, Ehsan. (2017, P. 54 , 55).

</2.3 />

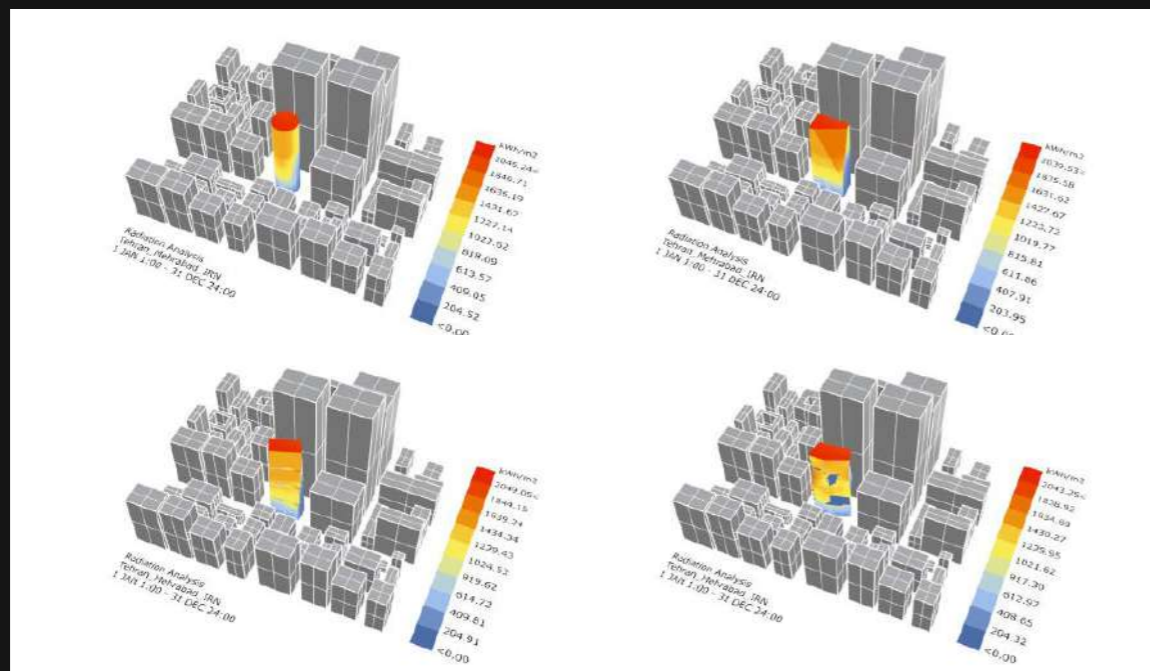
00110010 00101110 00110011

Se determinó que la fachada oeste debería protegerse contra los vientos rápidos y fuertes, aunque frecuentemente también ofrece corrientes agradables. Una orientación de noroeste a sureste se consideró óptima para proporcionar ventilación adecuada mientras se evitan los vientos fuertes y la luz solar indeseable en las tardes de verano.

Basado en estos datos, se creó un modelo geométrico en Rhino vinculado a grasshopper, que permitió la exploración de diversas orientaciones y formas del edificio para optimizar el rendimiento energético y el confort térmico.

El desarrollo del proyecto incluyó iteraciones continuas donde se ajustaban los parámetros de diseño en respuesta a los resultados de las simulaciones (Fig.16), asegurando una optimización constante de la torre en función del rendimiento energético y el confort. Visualizaciones en tiempo real y gráficos psicrométricos facilitaron la evaluación comparativa de las alternativas de diseño y la toma de decisiones. La integración de estas herramientas y métodos no solo mejoró la eficiencia energética del edificio sino que también contribuyó a un proceso de diseño más informado y consciente.

Figura 16:
Estudios volumétricos a partir de simulaciones.



Fuente: Bazafkan, Ehsan. (2017, P. 56).

El proyecto académico presentado pone de manifiesto la versatilidad y el dinamismo que ofrecen herramientas como Ladybug y Honeybee en el ámbito de la simulación de rendimiento de edificios (Building Performance Simulation, BPS), en comparación con las metodologías tradicionales. Estas herramientas, gracias a su naturaleza paramétrica altamente personalizable, impulsan la experimentación y la evaluación temprana del rendimiento, permitiendo a los arquitectos optimizar el diseño desde las primeras etapas del proyecto. De este modo, se promueven edificaciones más eficientes y adaptadas a sus contextos climáticos y funcionales, reduciendo significativamente el impacto ambiental y mejorando la calidad de vida de los usuarios.

Aunque Ladybug y Honeybee no buscan sustituir las herramientas tradicionales utilizadas en el ámbito profesional cotidiano, ofrecen un nivel de capacidad y flexibilidad sin precedentes para aquellas prácticas que desean innovar en el diseño orientado al rendimiento. Esto destaca la relevancia de la simbiosis entre la tecnología de simulación avanzada y la práctica arquitectónica contemporánea.

3. CASOS RELEVANTES PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO

01100011 01100001 01110011 01101111 01110011

En esta sección, se analizan estudios de caso que ofrecen valiosas referencias sobre tipologías arquitectónicas y soluciones espaciales efectivas. Aunque estos proyectos se han desarrollado en contextos con mayores recursos económicos, sus estrategias de integración de tecnología y dinámicas agrícolas para el bienestar social son especialmente relevantes. Al interpretar y adaptar estas estrategias al contexto cubano, se puede configurar un camino viable y sostenible para el desarrollo del Ecomercado en La Habana, garantizando así un impacto positivo en la comunidad local.

3.1 Mercado Público Matamoros

Figura 17:
Fachada principal
mercado Matamoros.



Fuente: Gamo, Rafael. Fotografía Del "Mercado Público Matamoros", Proyecto De Colectivo C733. 2020. Disponible En: <https://www.archdaily.cl/cl/972114/mercado-publico-matamoros-c733>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

- | Nombre del Proyecto: Mercado Público Matamoros
- | Localización: Matamoros, Tamaulipas, México
- | Uso: Espacio de mercado para comercio
- | Arquitectura: Colectivo C733 | Año de Construcción: 2020
- | Área: 2,868 m²

Descripción del Proyecto:

El Mercado Público Matamoros (Fig.17) fue concebido como parte de una iniciativa para revitalizar áreas residenciales periféricas, transformando un espacio previamente desaprovechado en un vibrante centro de comercio y comunidad (Fig.18). Inspirado en la arquitectura vernácula y la histórica importancia de los mercados en la cultura regional, el proyecto del Colectivo C733 promueve un punto de encuentro que refleja la vida social y económica de Matamoros.



Figura 18:
Vista superior
mercado Matamoros.

Gamo, Rafael. Fotografía Del "Mercado Público Matamoros", Proyecto De Colectivo C733. 2020. Disponible En: <https://www.archdaily.cl/cl/972114/mercado-publico-matamoros-c733>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

Función del Mercado:

Diseñado para fomentar el comercio local y fortalecer el tejido comunitario, el mercado integra 40 locales comerciales fijos y áreas para vendedores ambulantes, creando un espacio dinámico que responde a las necesidades de los comerciantes y visitantes. La estructura promueve la interacción y la participación en actividades culturales y recreativas, sirviendo como un catalizador para el desarrollo social y económico local.

Metodología de Diseño:

El proyecto se distingue por su enfoque en la prefabricación ligera y la racionalización de la obra civil, lo que permitió su rápida ejecución en un plazo de tres meses.

</3.1 />

00110011 00101110 00110001

La estrategia de diseño incluyó una estructura de muralla que define el perímetro del mercado, ofreciendo locales fijos y servicios, y un oasis central (Fig.19) que introduce un jardín adaptable a las condiciones climáticas locales, mejorando el bienestar y la sostenibilidad del espacio .

Figura 19:
Planta baja
mercado Matamoros.



Fuente: Colectivo C733. Planta Baja Del "Mercado Público Matamoros". 2020. Disponible En: <https://www.archdaily.cl/cl/972114/mercado-publico-matamoros-c733>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

Tecnología Aplicada:

La construcción utilizó una combinación de técnicas tradicionales y modernas, destacando el uso de ladrillo rojo y estructuras metálicas prefabricadas (Fig.20). Estas últimas, configuradas en módulos trapezoidales, proporcionan resistencia estructural y flexibilidad para adaptarse a futuras necesidades. El diseño inteligente de las estructuras favorece la ventilación natural y maximiza la eficiencia del recorrido del agua de lluvia.

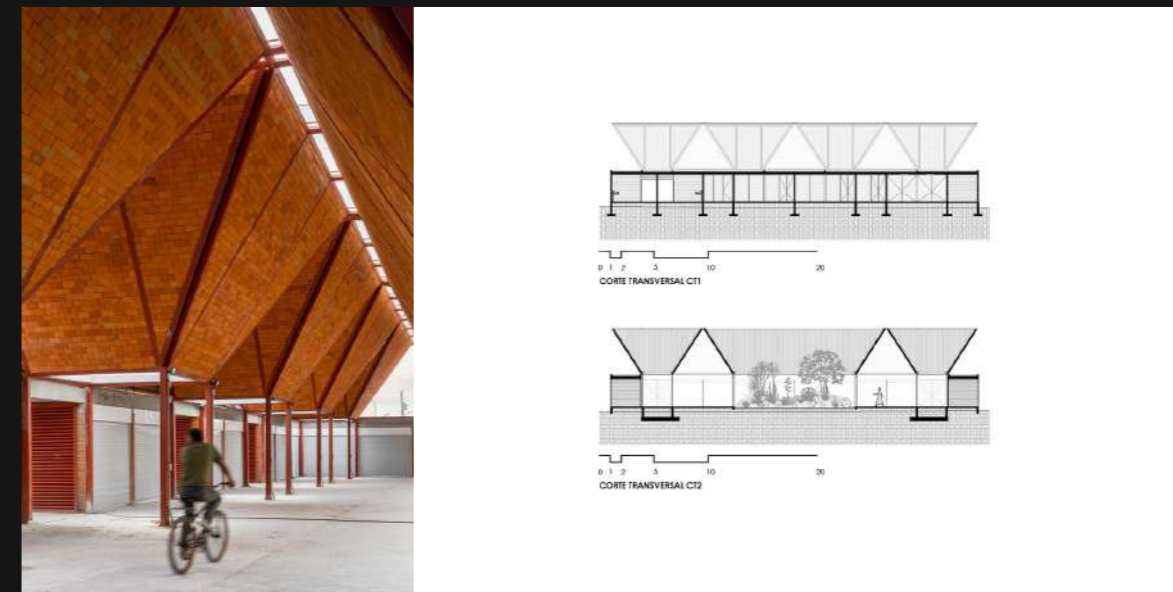


Figura 20:
Fotografía interior
del mercado mata-
moros con planos
de corte al lado.

Fuente: Adaptado De Colectivo C733. Planta Baja Del "Mercado Público Matamoros". 2020. Disponible En: <https://www.archdaily.cl/cl/972114/mercado-publico-matamoros-c733>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

Prácticas extraídas para el proyecto:

Al centrarse en mejorar las condiciones de vida local mediante el diseño arquitectónico, el Mercado Público Matamoros sirve como un modelo relevante para el desarrollo del Ecomercado. Este proyecto utiliza un enfoque moderno y funcional que facilita la interacción social y el comercio. Su estructura es abierta y accesible, promoviendo la inclusión y la participación comunitaria. Adoptar un diseño que priorice la funcionalidad y la accesibilidad podría ser fundamental para asegurar que el Ecomercado sea un espacio vivo y activo dentro de la comunidad.

El mercado Matamoros no solo sirve como un punto de venta para bienes y servicios, sino también como un centro para actividades culturales y sociales. Considerar la integración de funciones comerciales y culturales podría ser esencial para la propuesta del proyecto, donde el ecomercado podría servir como un punto de encuentro para la comunidad, fomentando tanto la economía local como la cohesión social. En resumen, el Mercado Público Matamoros ofrece un ejemplo práctico de cómo un espacio comercial puede ser diseñado para mejorar una comunidad urbana de manera integral, abarcando aspectos sociales, culturales y económicos, haciendo del estudio un caso bastante relevante para el proyecto.

</3.2 />

00110011 00101110 00110010

</3.2 Digitala Tomater />

Figura 21:
Vista exterior
de propuesta de
Invernadero urbano.



Fuente: Adaptado De Greenhouse Living. Digital Tomatoes. 2020. Disponible En: <https://www.greenhouseliving.se/project/digital-tomatoes>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

- | Nombre del Proyecto: Digitala Tomater (Tomates Digitales)
- | Localización: Göteborg, Suecia
- | Uso: Agricultura urbana e innovación tecnológica
- | Arquitectura: Greenhouse Living AB, Kajodlingen, Göteborg Energi GothNet AB, con apoyo de Viable Cities
- | Año de Propuesta: 2020
- | Área: no específica

Descripción del Proyecto:

Digitala Tomater es una iniciativa poco convencional que combina la tecnología de los datacenters con la producción de alimentos en invernaderos urbanos, utilizando el calor residual de los datacenters para calentar los invernaderos (Fig.21)(Fig.22). Este enfoque innovador no solo mejora la sostenibilidad de las operaciones de los datacenters, sino que también promueve la agricultura urbana, ofreciendo una solución creativa para la producción local de alimentos.



Figura 22:
Vista en corte de
propuesta de
invernadero urbano.

Fuente: Adaptado De Greenhouse Living. Digital Tomatoes. 2020. Disponible En: <https://www.greenhouseliving.se/project/digital-tomatoes>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

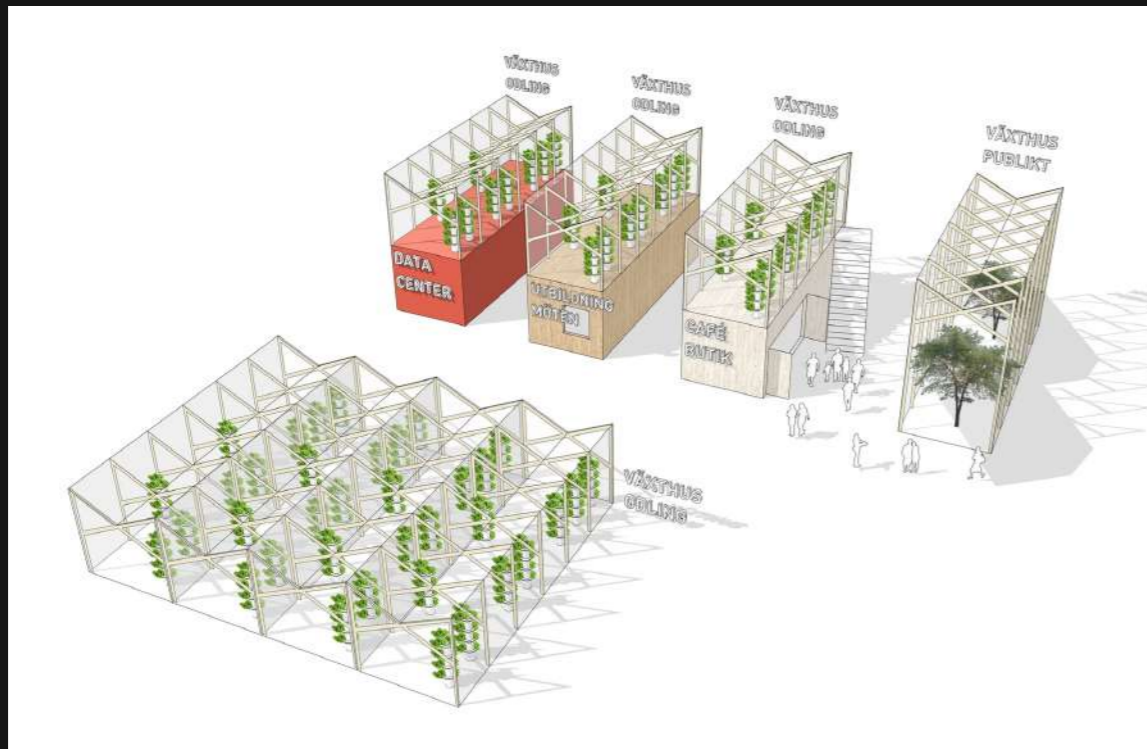
Función del Proyecto:

El proyecto tiene como objetivo explorar prácticas sostenibles y eficientes de producción de alimentos en la ciudad, aprovechando recursos subutilizados. Además de producir tomates y otros vegetales de forma sostenible, Digitala Tomater busca servir como modelo para futuras iniciativas de agricultura urbana, contribuyendo a la seguridad alimentaria y a la reducción de la huella de carbono.

Metodología de Diseño:

Se basa en el uso de tecnologías avanzadas y principios de diseño sostenible para crear un sistema de producción alimentaria integrado que pueda funcionar eficientemente en un entorno urbano. Este enfoque incluye el uso de técnicas de hidroponía, iluminación LED optimizada para plantas y estructuras modulares que pueden adaptarse a diferentes espacios urbanos.

Figura 23:
Configuraciones
modulares del
invernadero.



Fuente: Adaptado De Greenhouse Living. Digital Tomatoes. 2020. Disponible En: <https://www.greenhouseliving.se/project/digital-tomatoes>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

Tecnología Aplicada:

La característica más notable de Digitala Tomater es el uso del calor residual de los datacenters para la calefacción de los invernaderos, una práctica que maximiza la eficiencia energética y minimiza el desperdicio. El diseño modular del proyecto (Fig.23) y la aplicación de técnicas de cultivo hidropónico y de iluminación LED especializada son fundamentales para su éxito y sostenibilidad.

Prácticas extraídas del proyecto:

Este estudio contribuye significativamente en la exploración de nuevas formas de producir alimentos en un entorno urbano. Esto es vital para el área de estudio, una ciudad que enfrenta desafíos en términos de seguridad alimentaria y dependencia de las importaciones de alimentos.

Además, el enfoque en la producción local reduce la huella de carbono asociada con el transporte de alimentos, proporcionando objetivos de sostenibilidad valiosos para la propuesta de proyecto.

También Digitala Tomater emplea un diseño modular y técnicas de cultivo hidropónico, que son eficientes en el uso del espacio y recursos. Estas características son ideales para el área de intervención del proyecto, donde el espacio puede ser limitado y los recursos escasos. La capacidad adaptativa del proyecto a diferentes entornos urbanos y su capacidad para integrarse con tecnologías existentes proporcionan un modelo valioso de cómo estas soluciones versátiles pueden ser adaptadas a contextos complejos.

El proyecto también tiene un componente educativo y comunitario, buscando no sólo producir alimentos, sino también educar a la comunidad sobre prácticas sostenibles y tecnologías innovadoras. Este enfoque en la participación comunitaria y la educación es esencial para el éxito a largo plazo de iniciativas como el Ecomercado en La Habana, donde la aceptación y el involucramiento de la comunidad pueden determinar la viabilidad del proyecto.

Finalmente, Digitala Tomater ofrece un caso de cómo los proyectos pueden ser diseñados para ser no solo ambientalmente sostenibles, sino también económicamente viables. El uso eficiente de recursos y tecnologías innovadoras puede ayudar a asegurar que proyectos como el Ecomercado no solo sean ambientalmente responsables, sino que también sean autosostenibles desde una perspectiva financiera. El estudio de caso representa un modelo avanzado de cómo los sistemas tecnológicos y ecológicos pueden ser integrados para abordar problemas urbanos contemporáneos, lo cual lo convierte en un estudio de caso relevante y enriquecedor para la propuesta del proyecto.

Figura 24:
Vistas exteriores
de edificación
Food-Farm Tower.



Fuente: Adaptado De Abf-lab. Food-farm Tower. 2016. Disponible En: <https://www.designboom.com/architecture/abf-lab-food-farm-tower-france-02-17-2016/>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

|Nombre del Proyecto: Food-Farm Tower
|Localización: Romainville, París, Francia
|Uso: Residencial y agricultura urbana
|Arquitectura: ABF-lab, Architects-Engineers
|Año del proyecto: 2016
|Área: 2,868 m²

Descripción del Proyecto:

El proyecto "Food-Farm Tower" (Fig.24)(Fig.25) se concibe como una solución arquitectónica innovadora que responde a las necesidades contemporáneas de sostenibilidad y urbanismo. Consiste en una torre multifuncional que combina residencias y agricultura vertical, diseñada para aprovechar al máximo la luz natural a través de su orientación y diseño estructural. Este enfoque no solo busca optimizar los recursos naturales sino también crear un microclima interno favorable para la agricultura durante todo el año.

Función del Proyecto:

Este innovador proyecto sirve dualmente como residencia y centro de agricultura urbana, buscando promover la sustentabilidad y la autosuficiencia. La integración de espacios para la producción de

alimentos junto con áreas residenciales apunta a reducir la huella de carbono al minimizar la necesidad de transporte de alimentos y fomentar una comunidad enfocada en la sostenibilidad, revolucionando el concepto de vivienda urbana.



Figura 25:
Vista interior
de área de cultivo
de edificación.

Fuente: Abf-lab. Food-farm Tower. 2016. Disponible En: <https://www.designboom.com/architecture/abf-lab-food-farm-tower-france-02-17-2016/>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

Metodología de Diseño:

El diseño de la torre se basa en un estudio meticuloso de la trayectoria solar, lo que permite que cada unidad habitacional y espacio agrícola reciba una cantidad óptima de luz solar directa adecuada a cada función. Además, se implementaron zonas de jardines comunitarios diseñadas para fomentar la interacción social y educar a los residentes sobre las prácticas de agricultura sostenible. El edificio también utiliza principios de diseño biofílico para mejorar la calidad de vida a través del contacto directo con la naturaleza.

Tecnología Aplicada:

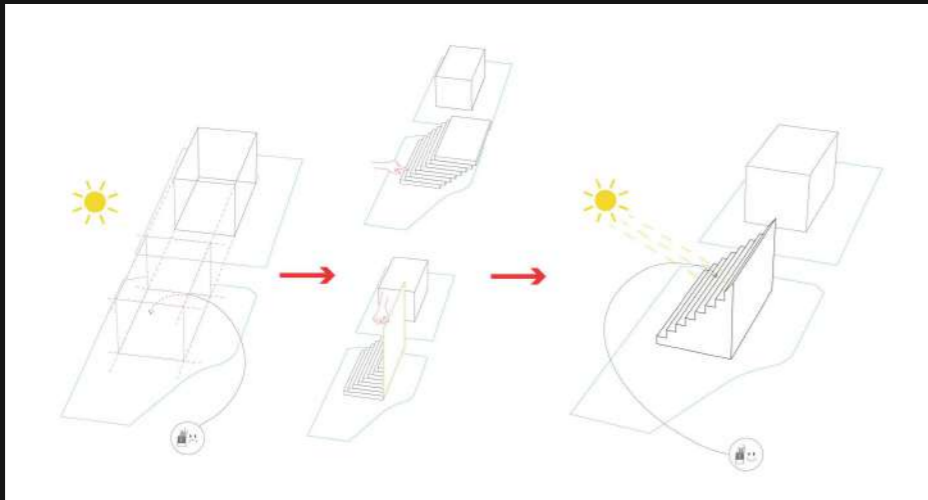
La tecnología en "Food-Farm Tower" abarca desde sistemas de manejo de aguas grises y pluviales hasta tecnologías de cultivo hidropónico integradas en la estructura del edificio.

</3.3 />

00110011 00101110 00110011

También se utilizan materiales y técnicas de construcción que minimizan el desperdicio y maximizan la eficiencia energética. El análisis de iluminación solar (Fig.26) ha servido como guía para el manejo del aislamiento térmico y sistemas de control ambiental que reducen la necesidad de calefacción y refrigeración artificial.

Figura 26:
Esquema volumétrico de la edificación en función del análisis de iluminación solar.



Fuente: Abf-lab. Food-farm Tower. 2016. Disponible En: <https://www.designboom.com/architecture/abf-lab-food-farm-tower-france-02-17-2016/>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

Prácticas extraídas del proyecto:

Si bien el Food-Farm Tower está insertado en un contexto de mayores posibilidades económicas, sus prácticas ilustran técnicas y soluciones de diseño que podrían adaptarse o inspirar proyectos similares en localidades con menos recursos. Uno de los aspectos más relevantes es su enfoque en la integración de la agricultura urbana en un entorno residencial. La implementación de técnicas como la agricultura vertical y el cultivo hidropónico facilita la producción de alimentos en espacios limitados, potenciando así el consumo local y creando prácticas más sustentables.

La implementación de zonas de cultivo dentro del Ecomercado no solo puede proveer alimentos frescos directamente a los consumidores sino también servir como un atractivo visual y educativo, promoviendo prácticas de consumo sostenible entre los residentes de la ciudad. También, la concepción morfológica del proyecto considerando la orientación solar del edificio para maximizar la luz solar en las áreas de cultivo y garantizar el flujo de ventilación natural son prácticas centrales para la propuesta del proyecto.

</3.4 Invernaderos urbanos en climas tropicales />

Los invernaderos urbanos en climas tropicales húmedo-secos representan una solución innovadora para enfrentar los desafíos de la producción de alimentos en entornos urbanos. Estos sistemas controlados permiten cultivar una amplia variedad de hortalizas, flores y plantas ornamentales que de otro modo no se adaptarían bien a las condiciones climáticas extremas características de estas regiones.

Un aspecto clave en el diseño de estos invernaderos es la ventilación. Dado que los climas tropicales se caracterizan por altas temperaturas y humedad, es fundamental contar con tasas de ventilación elevadas que permitan mantener un ambiente interno óptimo para el desarrollo de los cultivos. Esto se logra a través de un diseño que incorpore amplias aberturas con ventilación cenital, evitando así el sobrecalentamiento y la acumulación excesiva de humedad.

El aire caliente, al ser menos denso, tiende a ascender hacia las zonas superiores del invernadero, donde se encuentran las aperturas cenitales diseñadas para facilitar su escape (Fig.27). Este movimiento natural es impulsado por la diferencia de temperatura entre el interior del invernadero y el ambiente exterior, lo que genera una variación de presión que expulsa el aire caliente y húmedo, permitiendo la entrada de aire más frío y seco, asegurando así una ventilación eficiente.

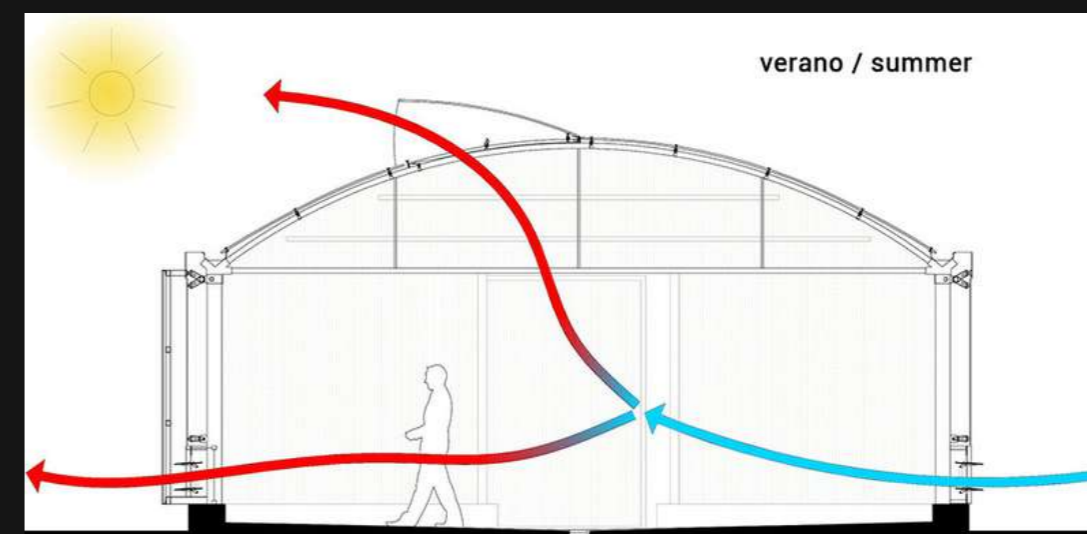


Figura 27:
Esquema de ventilación en invernadero.

Fuente: Ecoprojecta. Diagrama Del "Invernadero Sostenible Para La Universidad De Murcia". 2015. Disponible En: <https://www.archdaily.cl/cl/770163/geotermia-ventilacion-natural-y-fachadas-microperforadas-invernadero-sostenible-para-la-universidad-de-murcia>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

</3.4 />

00110011 00101110 00110100

El diseño de invernaderos requiere una atención cuidadosa a diversos factores clave, entre ellos el control de la temperatura, la humedad, la selección de materiales de cubierta y la estructura. Los materiales de cubierta deben ser capaces de reducir la intensa radiación solar y los rayos UV característicos de las regiones tropicales, protegiendo así a los cultivos del estrés térmico.

Para optimizar las condiciones de un invernadero, se utilizan soluciones como pinturas de sombreado y mallas de sombreado, que ayudan a regular la incidencia de radiación solar. Entre los materiales más destacados, el policarbonato se presenta como una opción ideal debido a su capacidad para filtrar los rayos UV, ofrecer un aislamiento térmico moderado y garantizar una alta resistencia frente a impactos y condiciones climáticas adversas. Además, sus acabados translúcidos o texturizados permiten controlar la transmisión de luz, favoreciendo un ambiente óptimo para el desarrollo de las plantas.

El uso de estructuras de aluminio galvanizado, diseñadas para proporcionar estabilidad y durabilidad, complementa el desempeño del policarbonato al garantizar una base sólida para la construcción del invernadero (Fig.28). La combinación de ambos elementos asegura un diseño eficiente que equilibra la protección frente a las condiciones externas, el rendimiento térmico adecuado y la durabilidad a largo plazo. Otro aspecto fundamental es la altura del invernadero, la cual desempeña un papel esencial en la regulación del ambiente interno. Una altura mínima de 5 metros contribuye a amortiguar los cambios bruscos de temperatura y a garantizar una adecuada circulación del aire, creando condiciones más estables y favorables para el desarrollo de los cultivos.

En cuanto a la selección de cultivos, los invernaderos tropicales son especialmente adecuados para hortalizas como tomates, pimientos, lechugas, cebollas, brócolis y rúculas, que se benefician enormemente del control ambiental. Además, la producción de flores y plantas ornamentales, como rosas, claveles y gerberas, también se ve potenciada en estos entornos gracias a las condiciones controladas.

Finalmente, el manejo eficiente del agua es esencial en climas tropicales, donde este recurso puede ser limitado. La implementación de sistemas como el riego por goteo y otras estrategias de conservación permite optimizar su uso, especialmente durante las épocas más secas del año.

En resumen, los invernaderos urbanos en climas tropicales húmedo-secos representan una solución integral que combina un diseño adaptado a las condiciones climáticas, cultivos cuidadosamente seleccionados y un manejo eficiente de los recursos. Todo ello contribuye a garantizar una producción sostenible de alimentos frescos y flores en entornos urbanos.



Figura 28: Invernadero estructurado en aluminio y policarbonato.

Fuente: Akiro Oy. Imagen Del Producto "Kasvihuone Sanus L-10". Disponible En: <https://akiro.fi/products/kasvi-huone-sanus-l-10-9-5-m-6-mm-kennolevy>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

</4. LA HABANA />

01101100 01100001 00100000 01101000 01100001
01100010 01100001 01101110 01100001

Figura 29:
Representación
visual de la
ubicación de La
Habana.



Fuente: Creado por el autor.

La Habana, capital de Cuba situada en la costa noroeste de la isla con latitud 23.133° N, frente al estrecho de la Florida (Fig.29), ha sido testigo de grandes acontecimientos que han forjado su historia. Fundada en 1519 por los españoles, su ubicación estratégica la estableció como un puente entre el Nuevo y el Viejo Mundo, convirtiéndose en el principal punto de reunión de la flota española debido a las características naturales de la bahía que favorecía la protección de los navíos contra ataques de corsarios y piratas.

Este panorama colonial no fue ajeno a las convulsiones de la época. Tanto la breve ocupación británica en el siglo XVIII como la intervención estadounidense a finales del siglo XIX fueron eventos que influyeron en el tejido urbano y cultura de la ciudad. Sin embargo, fue la Revolución Cubana de 1959 el evento que definió su destino, transformándola en el epicentro de un nuevo proyecto nacional. Hoy, La Habana con una población que supera los 2 millones de habitantes cuenta con fuertes restricciones económicas y recursos limitados para su desarrollo, presentando problemáticas de gran complejidad reflejadas en el deterioro de la infraestructura urbana y la inseguridad alimentaria.

Entre los factores que han incidido negativamente en estos aspectos está el predominio de una gestión urbana centralizada y sectorial que restringe el aprovechamiento de los recursos disponibles en el territorio y la capacidad de innovación que posee la ciudad para dar soluciones efectivas a los problemas urbanos. La ciudad necesita un modelo de gestión que combine centralización y descentralización, según lo requieran las funciones específicas y que fortalezca la colaboración entre los actores económicos y sociales. Esta articulación es clave para facilitar la solución de los problemas urbanos. (REY RODRÍGUEZ, 2020).

También se hace necesario la introducción de instrumentos avanzados apoyados en la informática y la innovación estratégica para optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles y dar una respuesta más efectiva a las necesidades sociales. (REY RODRÍGUEZ, 2020).

Este contexto, cuna de importantes eventos históricos que han moldeado su carácter único, donde cada calle cuenta una historia de resistencia y esperanza tiene el potencial de convertirse en un modelo de desarrollo urbano sostenible de referencia para la región latinoamericana.

</4.1 Contexto climático />

Según clasificación climática de Köppen, La Habana cuenta con un clima tropical de sabana (Aw), caracterizado por temperaturas cálidas durante todo el año y una estacionalidad pronunciada en las precipitaciones. La temperatura promedio anual en La Habana es de aproximadamente 25°C . Durante el invierno, considerado de noviembre a abril, las temperaturas son ligeramente más frescas, con promedios alrededor de los 22°C .

En contraste, el verano, de mayo a octubre, presenta temperaturas más elevadas, con un promedio de 28°C que frecuentemente superan los 30°C . En las últimas décadas se ha observado un incremento significativo en las temperaturas. En agosto de 2023, la estación meteorológica de Casablanca en La Habana reportó una temperatura récord de 37°C , superando el máximo histórico para un mes de agosto.

</4.1 />

00110100 00101110 00110001

La temporada de lluvias se extiende de mayo a octubre, siendo septiembre y octubre los meses con mayores precipitaciones. Durante este periodo, las lluvias son frecuentes y a menudo intensas, contribuyendo a la humedad alta que caracteriza la región. Por otro lado, la temporada seca va de noviembre a abril, con lluvias menos frecuentes e intensas. La humedad relativa en La Habana es alta durante todo el año, típicamente oscilando entre el 70% y el 80%. Esta alta humedad, combinada con las temperaturas cálidas, aumenta la sensación térmica, haciendo que los días se sientan más cálidos de lo que indican los termómetros.

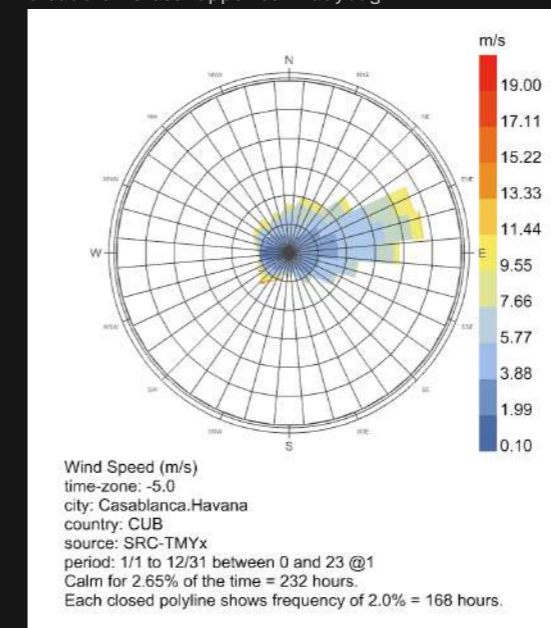
Figura 30:
Atardecer con
tormenta en el
Malecón habanero.



Fuente: Perez, Alejandro. Havana, Cuba, Malecón E Cruzamiento Da Rua 23 Em Vedado. Istock. Disponible En: <https://www.istockphoto.com/br/foto/havana-cuba-malecon-e-cru->

Los vientos en La Habana, influenciados por la proximidad del mar (Fig.30), juegan un papel importante en la moderación del clima. La brisa marina proporciona cierto alivio del calor, especialmente en las zonas costeras, contribuyendo a la ventilación natural de los espacios urbanos.

Figura 31: Gráfico de Rosa de Vientos creado en Grasshopper con Ladybug



Fuente: Creado por el autor

Por medio de la Rosa de los Vientos para La Habana (Fig.31), generada mediante Ladybug, un complemento de análisis ambiental ejecutado en Grasshopper a partir de un archivo climático en formato EPW (EnergyPlus Weather), se observa que el viento sopla predominantemente del este. Las velocidades de viento más comunes oscilan entre 7.66 y 11.44 m/s (27.6 a 41.2 km/h), aunque también se registran rangos más altos, superando los 19.0 m/s (68.4 km/h), con menor frecuencia.

Esto indica que, en general, el viento en La Habana mantiene un flujo constante con predominio de velocidades moderadas, especialmente en las direcciones mencionadas. El gráfico representa datos correspondientes al período anual completo (1 de enero al 31 de diciembre), considerando cada hora del día, y revela que los estados de calma (velocidades menores a 0.10 m/s) ocurren solo el 2.65% del tiempo, equivalente a 232 horas anuales. Debido a su ubicación geográfica, La Habana está expuesta a huracanes y tormentas tropicales, principalmente durante la temporada ciclónica en el Atlántico, que va de junio a noviembre. Estas tormentas pueden traer lluvias torrenciales y vientos fuertes, afectando tanto la infraestructura como la vida cotidiana de la ciudad.

La consideración de estos factores climáticos será esencial en el desarrollo de estrategias arquitectónicas para garantizar la comodidad y seguridad de los usuarios del Ecomercado. Estrategias como la maximización de la ventilación natural, el uso de elementos de sombreado, la elección de materiales con alta inercia térmica, la implementación de sistemas de recolección de agua de lluvia y una morfología de edificación que reduzcan la presión de los vientos sobre la estructura, serán extremadamente relevantes en la concepción del proyecto.

</ 4.2 />

00110100 00101110 00110010

</ 4.2 Organopónicos />

La historia de los organopónicos en Cuba se remonta a finales de la década de 1980 y principios de los 90, cuando este sistema de cultivo urbano surgió como una respuesta comunitaria a la grave escasez de alimentos que enfrentó el país tras el colapso de la Unión Soviética.

Antes de esta época conocida en la isla como el "Período Especial", la agricultura cubana dependía en gran medida de insumos y maquinaria importados de la unión soviética. Cuando este apoyo se perdió, la producción agrícola nacional se vio severamente afectada, lo que llevó a una caída drástica en el consumo de calorías y proteínas per cápita de la población. Fue en este contexto que, a partir de 1987, comenzaron a desarrollarse los primeros organopónicos en Cuba.

Figura 32:
Organopónico
en Cuba.



Fuente: Fonseca Diéguez, Lianne. Fomentan En Holguín Agricultura Urbana, Suburbana Y Familiar. Periódico Trabajadores. Disponible En: <https://www.trabajadores.cu/20201219/fomentan-en-holguin-agri-Cultura-urbana-suburbana-y-familiar/>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

Los organopónicos consisten en canteros elevados dotados de sustratos orgánicos (Fig.32), que se ubican en zonas urbanas donde los suelos no son fértiles. El uso intensivo de esta práctica alcanzó su mayor crecimiento a partir de 1994.

Miles de personas por iniciativa propia comenzaron a aprovechar espacios disponibles en las ciudades. Solares baldíos, terrenos de aparcamiento, áreas entre carreteras e incluso fincas periféricas fueron transformando en huertos urbanos. El auge de la agricultura urbana en Cuba no pasó desapercibido. Las autoridades gubernamentales terminaron reconociendo el éxito de estas iniciativas fomentando medidas para su crecimiento. Se crearon cooperativas de agricultores y mercados para facilitar la comercialización de la producción y se permitió la venta libre de una parte de la cosecha en cada vecindario.

Aunque los organopónicos han experimentado un crecimiento significativo desde su origen en los años 90, no se dispone de datos oficiales actualizados sobre la cantidad exacta de hectáreas dedicadas a la agricultura urbana en La Habana. Según el artículo de Alonso Falcón, Fuentes Puebla y Rodríguez Martínez, titulado "¿Cuánto ha avanzado la agricultura urbana en estos 35 años?", publicado en Cubadebate.cu en diciembre de 2022, en ese momento existían 140 establecimientos dedicados a esta actividad en la ciudad. A pesar de su relevancia local, esta escala de producción sigue siendo insuficiente para cubrir la demanda alimentaria comunitaria. Además, los organopónicos enfrentan una notable vulnerabilidad ante fenómenos como huracanes, sequías e inundaciones, agravados por el cambio climático, lo que afecta su estabilidad y rendimiento anual.

En el contexto nacional, los organopónicos representan una estrategia comunitaria clave, pero sus limitaciones en cuanto a escala, recursos y vulnerabilidad climática dificultan su capacidad para satisfacer plenamente las necesidades alimentarias del país. Por ello, es imperativo avanzar hacia soluciones más amplias e integradas que transformen el sistema alimentario y garanticen la seguridad alimentaria en Cuba.

</4.3 />

00110100 00101110 00110011

</4.3 Identificación de Desafíos y Oportunidades />

En una ciudad como La Habana cuya historia se entrelaza con la riqueza de su cultura y la resiliencia de su gente, emergen desafíos que, aunque imponentes, ofrecen también oportunidades transformadoras. Enfrentar estos retos con perspectivas innovadoras posibilitaría trazar caminos hacia un futuro más sostenible y próspero para la capital cubana.

[Desafíos:]

Clima Tropical: El clima tropical de La Habana, caracterizado por alta humedad y temperaturas elevadas, presenta un desafío significativo para espacios con fines de cultivo. La humedad excesiva puede promover enfermedades en las plantas y dificultar el control de plagas, mientras que las altas temperaturas requieren soluciones efectivas de enfriamiento para evitar el estrés térmico en los cultivos. Un diseño arquitectónico adecuado debe incorporar sistemas de ventilación natural y sombreado, así como materiales que faciliten la disipación de calor, garantizando un ambiente controlado que optimice el crecimiento de las plantas y minimice el uso de energía artificial.

Recursos limitados: La disponibilidad limitada de materiales y tecnologías constructivas en La Habana representa un obstáculo importante. Las restricciones en el acceso a componentes especializados y técnicas avanzadas requieren soluciones creativas que maximicen el uso de recursos locales. Esto implica diseñar estructuras que puedan ser construidas y mantenidas con materiales disponibles en la región, sin comprometer la funcionalidad y eficiencia del Ecomercado.

Energía: La ineficiencia energética y la dependencia de combustibles fósiles en La Habana presentan una traba importante para la implementación de un proyecto con finalidad productiva y comercial. La necesidad de energía para iluminación, ventilación y sistemas de riego puede aumentar significativamente los costos y el impacto ambiental si se depende de fuentes no renovables. Por lo tanto, es esencial integrar soluciones energéticas autosuficientes, como paneles solares y estrategias de ventilación pasiva, para

asegurar un funcionamiento sostenible y reducir la dependencia de la infraestructura energética convencional.

Infraestructura: La infraestructura urbana deteriorada en algunas áreas de la ciudad podría vulnerabilizar el mantenimiento del Ecomercado a largo plazo. Las deficiencias en servicios básicos como agua y electricidad pueden dificultar la operación continua del local. Para abordar este desafío, es esencial diseñar un sistema que sea lo más autónomo posible, incluyendo la recolección y almacenamiento de agua de lluvia, sistemas de energía solar y estrategias pasivas de confort ambiental.

Gestión urbana centralizada: La ciudad necesita un modelo de gestión que combine centralización y descentralización según las necesidades de cada función, pero sobre todo, que mejore la integración entre los actores económicos como productores e instituciones y los actores sociales como la comunidad local.

Las Prácticas participativas serán esenciales en la coordinación y toma de decisiones conjuntas que aseguren que todos los intereses y necesidades estén representados y alineados. Mesas de diálogo entre productores, autoridades locales y la comunidad pueden facilitar un entendimiento mutuo sobre los objetivos del ecomercado y abordar problemáticas específicas como la fijación de precios justos, la accesibilidad y la distribución de productos. Estas estrategias no solo fortalecen la colaboración entre los actores, sino que también permiten avanzar hacia un modelo de gestión más inclusivo y eficaz con foco en resolver los problemas urbanos asociados al proyecto.

[Oportunidades:]

Agricultura Urbana: La creciente demanda de productos frescos y locales en La Habana presenta una oportunidad significativa para el desarrollo de un Ecomercado. La tendencia hacia la agricultura urbana responde a la necesidad de mejorar la seguridad alimentaria y reducir la dependencia de la transportación de alimentos desde otras regiones.

</ 4.3 >

00110100 00101110 00110011

Un Ecomercado puede proporcionar una fuente constante de alimentos frescos, promoviendo al mismo tiempo prácticas agrícolas locales y sostenibles. Además, puede crear empleo y fortalecer la economía local, al conectar directamente a los productores con los consumidores en la comunidad, fomentando una mayor autosuficiencia alimentaria en la ciudad.

Recursos Naturales: El clima soleado y las lluvias estacionales de La Habana ofrecen una excelente oportunidad para la producción agrícola y el uso de energías renovables en un entorno controlado con espacios de cultivo. La abundancia de luz solar permite maximizar el crecimiento de las plantas y facilita la implementación de sistemas de energía solar para alimentar el Ecomercado. Además, la recolección y el almacenamiento de agua de lluvia pueden proporcionar una fuente sostenible de agua para el riego, reduciendo la dependencia de los suministros municipales y mejorando la eficiencia hídrica. Estas condiciones naturales permiten diseñar un espacio altamente productivo y autosuficiente, aprovechando los recursos ambientales locales.

Innovación Social: La integración de un Ecomercado en La Habana como espacio comunitario presenta una oportunidad valiosa para la innovación social. Este proyecto puede servir como un centro educativo que promueva prácticas agrícolas sostenibles y fomente la participación comunitaria. Al involucrar a la comunidad en el cultivo y el mantenimiento del Ecomercado, se fortalecen los lazos sociales y se mejora el conocimiento sobre la sostenibilidad y la autosuficiencia alimentaria. Además, puede convertirse en un espacio de encuentro y colaboración, impulsando iniciativas locales y mejorando la calidad de vida de los residentes al proporcionar un entorno verde y productivo en medio del entorno urbano.

Cultura Agrícola y futuro: La rica cultura agrícola de Cuba, incluyendo prácticas como los organopónicos, combinada con una visión aspiracional hacia el futuro, ofrece un contexto propicio para diseñar un Ecomercado que equilibre funcionalidad, sostenibilidad e innovación. El diseño puede incorporar trazos estéticos inspirados

en las clásicas casitas campesinas con techos a dos aguas (Fig.33), reinterpretados desde una perspectiva contemporánea. Esta referencia, combinada con la modularidad y transparencia característica de los invernaderos urbanos, conecta el proyecto con las raíces agrícolas locales mientras transmite un mensaje contemporáneo y sostenible al integrar nuevas tecnologías computacionales.

Esta síntesis estética refuerza la identidad del proyecto, enriqueciendo el paisaje urbano y posicionándolo como un atractivo para visitantes y turistas interesados en la innovación dentro de un contexto culturalmente significativo. El Ecomercado, así concebido, podría convertirse en un símbolo del futuro sostenible de La Habana, respetando y reinterpretando su rica cultura agrícola.



Figura 33:
Casa con tipología
rural en Cuba.

Fuente: Airbnb. Cabaña Héctor Luis | Vista Río | Generador Eléctrico. Disponible En: <https://es.airbnb.com/rooms/1043780567225768628>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

</4.4 />

00110100 00101110 00110100

</4.4 Área de intervención />

La selección del área de intervención es un factor determinante para la viabilidad y éxito del Ecomercado. Para esto es necesario evaluar sus características urbanas con el propósito de garantizar su integración armónica con el entorno y su funcionalidad dentro del tejido urbano. A continuación, se detallan los aspectos más relevantes del sitio, abordando su ubicación, condiciones urbanísticas, así como su conectividad con la ciudad.

</4.4.1 Contexto Urbano y Conectividad />

El área de intervención se encuentra en un punto estratégico dentro de la ciudad de La Habana, en el barrio de El Vedado, municipio Plaza de la Revolución. Este sector es reconocido por su trazado ordenado, su amplia infraestructura de servicios y su función como nodo clave de actividad comercial y residencial. Su ubicación en una de las zonas más dinámicas de la ciudad le otorga una relevancia especial dentro del tejido urbano, consolidándose como un punto de encuentro entre diferentes usos y dinámicas socioeconómicas.

Uno de sus mayores atributos es su alta conectividad, potenciada por la cercanía a importantes rutas de transporte público. El lote del área de estudio se ubica próximo a varios puntos de ómnibus que facilitan el acceso desde diversas zonas de la ciudad, promoviendo una movilidad eficiente y reduciendo la dependencia del transporte privado. Como se observa en el mapa de transporte público (Fig. 34), el sitio se encuentra en una intersección clave donde confluyen rutas que atraviesan La Habana y conectan con Habana del Este, al otro lado de la bahía. Esta accesibilidad refuerza el carácter metropolitano del proyecto, permitiendo que el Ecomercado se convierta en un punto de abastecimiento no solo para los residentes del Vedado, sino también para comunidades más alejadas que dependen del transporte público para acceder a productos frescos.

Este flujo constante de actividad convierte al sitio en un punto de referencia estratégico para la distribución de productos agrícolas y la promoción de modelos de comercio sostenible.



Fuente: Adaptado de Google Earth. Imagen Satelital se La Habana, Cuba. Disponible En: <https://earth.google.com>. Acceso en: 9 Feb. 2025.



</4.4.2 Regulaciones Urbanísticas />

El Vedado, cuenta con normativas urbanísticas específicas establecidas en las Regulaciones Urbanísticas del Municipio Plaza de la Revolución. Dichas regulaciones buscan preservar la morfología urbana y el equilibrio entre las edificaciones y los espacios libres, garantizando una integración armoniosa con el entorno construido y paisajístico.

El lote seleccionado para el proyecto, actualmente utilizado como estacionamiento, ya cumple con los retiros exigidos en relación con la vía pública y las edificaciones colindantes. La normativa establece una franja de jardín frontal mínima de 5.00 metros, de los cuales solo el 40% puede ser pavimentado. Asimismo, se exige la incorporación de pasillos laterales y de fondo para garantizar la permeabilidad visual y la ventilación natural del conjunto edificado.

Figura 34: Mapa de movilidad de transporte público hacia el área de estudio a partir de imagen satelital.

</4.4 />

00110100 00101110 00110100

Respecto a la ocupación del suelo, la normativa permite un máximo del 67% de ocupación, asegurando que al menos un 33% del lote permanezca como área libre (DIRECCIÓN PROVINCIAL DE PLANIFICACIÓN FÍSICA, 2006). Este criterio es fundamental para la implantación del Ecomercado, ya que permitirá la integración de espacios verdes y áreas de transición entre la edificación y el entorno urbano.

En términos de escala, el documento normativo enfatiza la necesidad de mantener una relación armónica con las edificaciones circundantes, variando la altura máxima permitida según la tipología del área. En este contexto, la elección del lote responde tanto a criterios de accesibilidad como a la necesidad de potenciar el desarrollo urbano sostenible en un área que ya cuenta con la infraestructura necesaria para absorber nuevas dinámicas comerciales sin generar impactos negativos en la movilidad y el entorno construido.

</4.4.3 Configuración y Ubicación />

El área de intervención corresponde a un lote actualmente utilizado como estacionamiento, ubicado en la Calle 27, entre F y G (Fig.35). Se encuentra en una zona de gran dinamismo urbano, rodeado de equipamientos importantes como una Universidad, Hospitales, Monumentos y diversas infraestructuras residenciales y comerciales.

El lote tiene unas dimensiones de 32 metros de ancho por 94 metros de largo, con una superficie total aproximada de 3,686 m², lo que proporciona un espacio amplio para la implementación del Ecomercado y sus componentes. Su ubicación estratégica y su condición de espacio abierto sin edificaciones próximas permiten una óptima entrada de luz solar directa en el área destinada al invernadero, favoreciendo su funcionamiento dentro de un enfoque sostenible.

Desde el punto de vista topográfico, el lote presenta una superficie plana y previamente urbanizada, lo que facilita la implantación de la edificación sin necesidad de modificaciones en el terreno, generando un impacto positivo en los costos de obra.



Fuente: Adaptado de Google Earth. Imagen Satelital De La Habana, Cuba. Disponible En: <https://earth.google.com>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

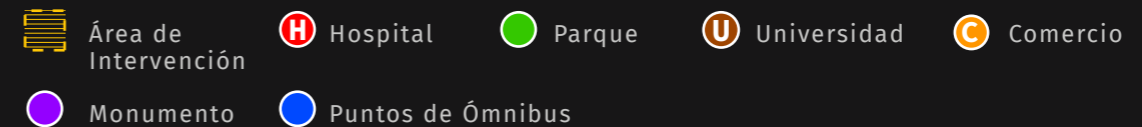


Figura 35: Esquema del área de intervención a partir de imagen satelital.

◀ 5. EL ECOMERCADO ▶

01000101 01000011 01001111 01001101 01000101
01010010 01000011 01000001 01000100 01001111

El Ecomercado se concibe como un espacio de producción y comercialización, integrando principios de agricultura urbana y diseño computacional. La propuesta responde a las condiciones urbanas, sociales y ambientales analizadas previamente, asegurando su viabilidad dentro del contexto de El Vedado en La Habana.

◀ 5.1 Criterios de Diseño ▶

A partir de los estudios de caso analizados y del contexto local, la propuesta se estructura en tres ejes fundamentales que guían las decisiones espaciales, formales y funcionales.

Estrategia modular y adaptabilidad: La morfología del mercado se desarrolla considerando un sistema modular parametrizado, que reinterpreta la estética tradicional de las casitas campesinas con sus característicos tejados a dos aguas, presentes en el contexto rural cubano. A través del modelado computacional, esta tipología puede ser adaptada para ofrecer flexibilidad y replicabilidad, permitiendo una configuración versátil que responde a las condiciones del sitio. La modularidad facilita un crecimiento adaptable, ajustando la geometría y la disposición de los espacios según los requerimientos funcionales y ambientales.

Optimización ambiental y eficiencia energética: La optimización ambiental y la eficiencia energética serán fundamentales en el diseño del Ecomercado. Para responder a las condiciones climáticas locales, se implementarán estrategias que regulen la protección solar, la ventilación natural y el desempeño térmico del edificio, asegurando que cada espacio cuente con el confort ambiental adecuado según su función. La distribución del programa arquitectónico debe considerar la orientación de la edificación y la relación entre los diferentes usos, priorizando el aprovechamiento de la iluminación natural sin generar sobrecalentamiento. El uso de herramientas de simulación computacional como Ladybug y Honeybee permitirán analizar distintos escenarios para evaluar la incidencia de la radiación solar en la edificación a lo largo del año, la entrada de calor en el interior y la cantidad de iluminación natural de cada espacio.

Estos estudios proporcionarán datos clave con relación a la disposición de los espacios y la implementación de estrategias pasivas de regulación térmica. Como parte del diseño, se incorporarán dispositivos de sombreado calculados paramétricamente, favoreciendo el control de la radiación solar en función de la ubicación y el uso de cada zona. Además, se integrarán sistemas de ventilación cruzada y materiales con propiedades térmicas adecuadas, optimizando el comportamiento climático del mercado y reduciendo la necesidad de consumo energético artificial.

Articulación con la comunidad: El Ecomercado se concibe como un espacio que va más allá de la comercialización de productos, estableciendo una relación activa con la comunidad a través del intercambio de conocimientos y la educación agroecológica. La configuración del mercado debe facilitar la interacción entre productores y consumidores, fomentando un modelo de abastecimiento basado en la economía circular y la producción local. Para lograr este objetivo, el diseño debe integrar zonas de enseñanza, talleres y espacios abiertos que promuevan la apropiación del mercado como un punto de encuentro y aprendizaje. La estrategia espacial deberá generar un entorno inclusivo y dinámico que refuerce el sentido de comunidad y la participación activa en los procesos de producción y consumo sostenibles.

</5.2 />

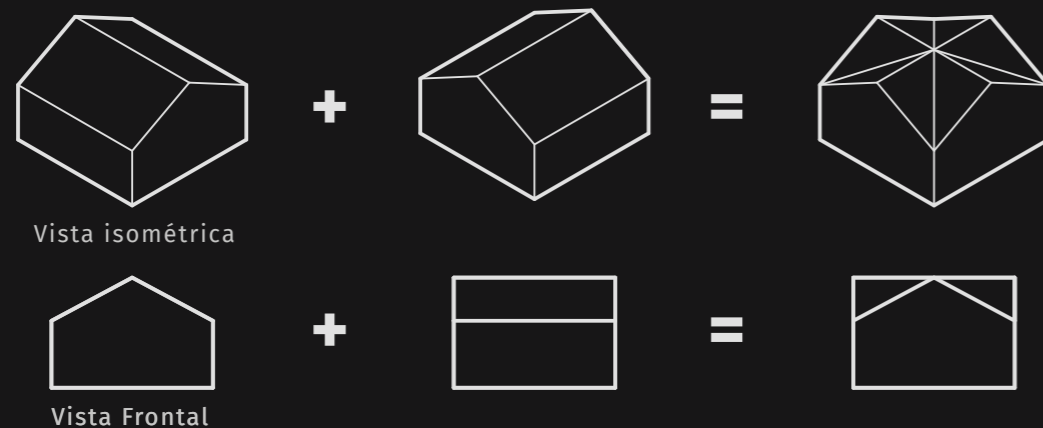
00110101 00101110 00110010

</5.2 Desarrollo de la propuesta />

El desarrollo de la propuesta se inicia con un proceso de exploración volumétrica que parte desde una volumetría base que evoluciona hasta llegar a una forma optimizada y eficiente que responde a las necesidades del proyecto.

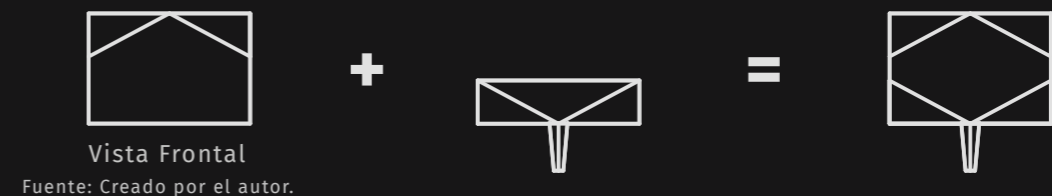
Se inicia con un volumen rectangular con cubierta a dos aguas, representando la morfología rural cubana. A continuación, se introduce un segundo volumen idéntico al primero, pero rotado 90° respecto al eje vertical. Este giro modifica la orientación de los planos inclinados del techo, generando una nueva interacción volumétrica. Posteriormente, los dos primeros volúmenes se fusionan, generando un módulo con tejado a varias aguas como resultado de la superposición geométrica (Fig.36). La intersección crea una transición más compleja en la cubierta, lo que posteriormente influirá en la optimización de la entrada de luz y ventilación, así como en la captación y distribución del agua de lluvia.

Figura 36:
Estudio
volumétrico.



Fuente: Creado por el autor.

Luego la cubierta se espeja respecto a su eje horizontal, invirtiendo su orientación y adoptando una configuración cóncava apoyada sobre un pilar central (Fig.37). Esta transformación optimiza la transmisión de esfuerzos, permitiendo que las cargas se distribuyan de manera eficiente hacia un único punto de apoyo.



Fuente: Creado por el autor.

Figura 37:
Estudio
Volumétrico.

La volumetría resultante adopta un principio estructural similar al de los paraguas del arquitecto Félix Candela (Fig.38), cuyas superficies de doble curvatura permitían un óptimo desempeño estructural con un espesor mínimo de material. Aunque en este caso la geometría no reproduce exactamente las superficies regladas de Candela, sí retoma la lógica de la concentración de esfuerzos en un solo apoyo, lo que permite liberar la planta baja y favorecer la permeabilidad urbana y la circulación peatonal.



Figura 38:
Prueba de carga
en estructura
del arquitecto
Félix Candela

Fuente: Woods, Lebbeus. Big Tops. Disponible En: <https://lebbeuswoods.wordpress.com/2009/12/02/big-tops/>. Acceso En: 9 Feb. 2025.

</5.2 />

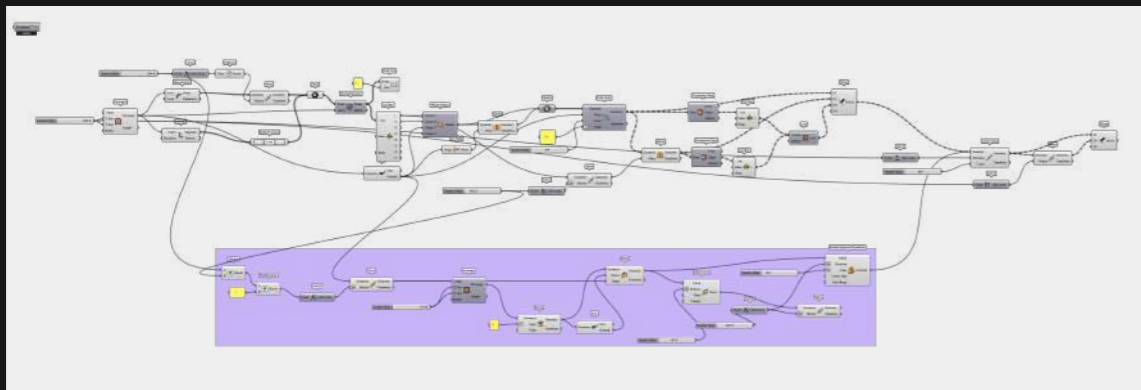
00110101 00101110 00110010

</5.2.1 Modelado algorítmico/>

Tras la exploración volumétrica, el módulo resultante se consolida como la unidad base del sistema arquitectónico del Ecomercado. Su geometría, generada mediante operaciones de rotación y fusión volumétrica, permite su parametrización y ajuste a través del modelado algorítmico. Mediante Grasshopper, se pueden controlar variables como la altura, la inclinación de la cubierta, la orientación y la disposición modular, generando configuraciones adaptativas sin comprometer la lógica estructural del sistema.

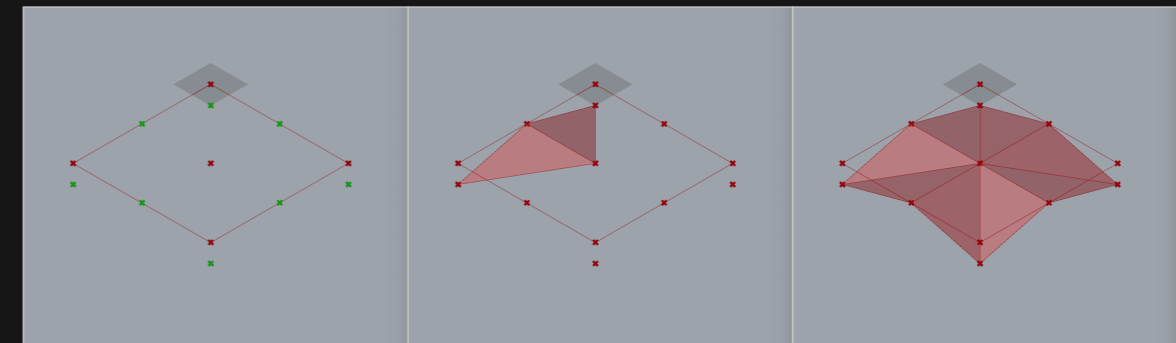
Para formalizar este proceso, se desarrolló un algoritmo paramétrico basado en principios de agregación y crecimiento modular (Fig.39), lo que permitirá automatizar la variabilidad del módulo y garantizar su expansión y replicabilidad. Este enfoque posibilita la adaptación del sistema a distintos contextos, asegurando una flexibilidad operativa que optimiza tanto su desempeño ambiental como su integración urbana.

Figura 39:
Algoritmo
generado en
Grasshopper.



Fuente: Creado por el autor.

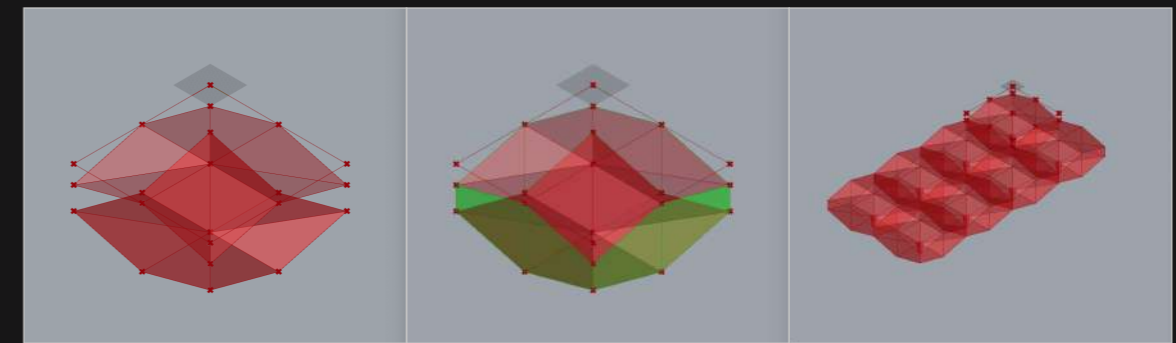
El proceso inicia con la creación de una malla cuadrangular cuyos puntos de control definen los vértices estructurales del módulo, estableciendo las bases para la construcción de superficies triangulares inclinadas. A partir de estos puntos, se generan las primeras conexiones entre los extremos y el centro de la figura, conformando las piezas básicas de la cubierta (Fig.40) mediante superficies parametrizadas cuya inclinación se ajusta por medio de valores numéricos.



Fuente: Creado por el autor.

Posteriormente, la geometría se refleja en un eje horizontal, asegurando la simetría del sistema y estableciendo la altura mínima del módulo. Esta duplicación permite la consolidación de la estructura tridimensional, cerrando la forma final a través de la unión de sus aristas (Fig.41). Una vez definido el módulo, se integran parámetros de control que permiten ajustar su escala, orientación y disposición, facilitando su adaptación a diferentes configuraciones. Simultáneamente, el algoritmo integra un sistema paramétrico para la generación de los pilares de soporte, esenciales para la elevación del conjunto y la continuidad de la modulación estructural.

Finalmente, se implementa una lógica de distribución modular parametrizando la distancia entre módulos, garantizando la continuidad espacial dentro del Ecomercado. Este enfoque computacional permite un alto grado de flexibilidad en la organización del conjunto, asegurando que el sistema pueda responder a diversas variaciones constructivas.



Fuente: Creado por el autor.

Figura 40:
Atardecer con
tormenta en el
Malecón habanero.

Figura 41:
Secuencia
constructiva
del modelado
algorítmico.

</5.2 />

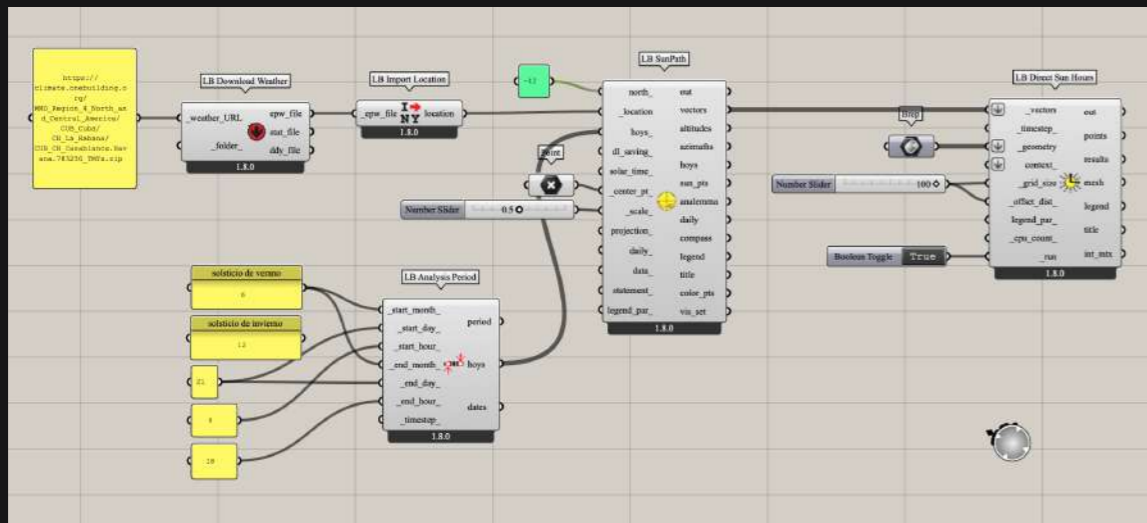
00110101 00101110 00110010

</5.2.2 Análisis de simulación ambiental/>

Una vez generada la volumetría mediante el modelado algorítmico, el siguiente paso es someterla a un análisis de simulación ambiental para evaluar su exposición solar a lo largo del año. Este estudio es fundamental para la optimización del diseño, ya que permite ajustar en tiempo real la orientación de los módulos, la inclinación de la cubierta y la disposición de las aperturas, garantizando así un desempeño térmico y lumínico eficiente.

Para ello, se desarrolló un algoritmo en Grasshopper utilizando el componente Ladybug (Fig.42), el cual permite calcular las horas de sol directo sobre la volumetría del Ecomercado en distintos períodos clave. Este análisis proporciona datos esenciales para la implementación de estrategias de sombreado y optimización de la envolvente, asegurando una respuesta climática adecuada del proyecto.

Figura 42:
Algoritmo creado
en Grasshopper
con Ladybug
para simulación de
exposición solar
en el exterior.



Fuente: Creado por el autor.

El proceso inicia con la descarga de datos climáticos a partir de un archivo EPW (EnergyPlus Weather File), obtenido de la base de datos de climate.onebuilding.org. Este archivo contiene información meteorológica específica de La Habana (Casablanca), proporcionando datos de radiación solar, temperatura y humedad. Posteriormente, la ubicación geográfica se importa al entorno de Ladybug mediante el componente LB Import Location, lo que permite al algoritmo referenciar correctamente la posición del proyecto en relación con la trayectoria solar.

Para analizar el comportamiento de la radiación en períodos críticos, se definen dos momentos clave: el solsticio de verano (junio) y el solsticio de invierno (diciembre), estableciendo los días y horas de análisis a través del componente LB Analysis Period. Este ajuste permite evaluar las diferencias en la exposición solar entre estas épocas, asegurando que el diseño del Ecomercado responda de manera efectiva a las condiciones de asoleamiento en diferentes épocas del año.

El componente LB SunPath se encarga de generar la trayectoria solar y los vectores de incidencia, permitiendo visualizar la posición del sol en relación con la volumetría del proyecto. Estos datos se utilizan como entrada para el componente LB Direct Sun Hours, el cual calcula la cantidad de horas de sol directo que recibe la geometría en un período determinado. Finalmente, el algoritmo devuelve un mapeo de horas de sol sobre la geometría (Fig.43), lo que permite identificar las zonas con mayor y menor exposición solar.

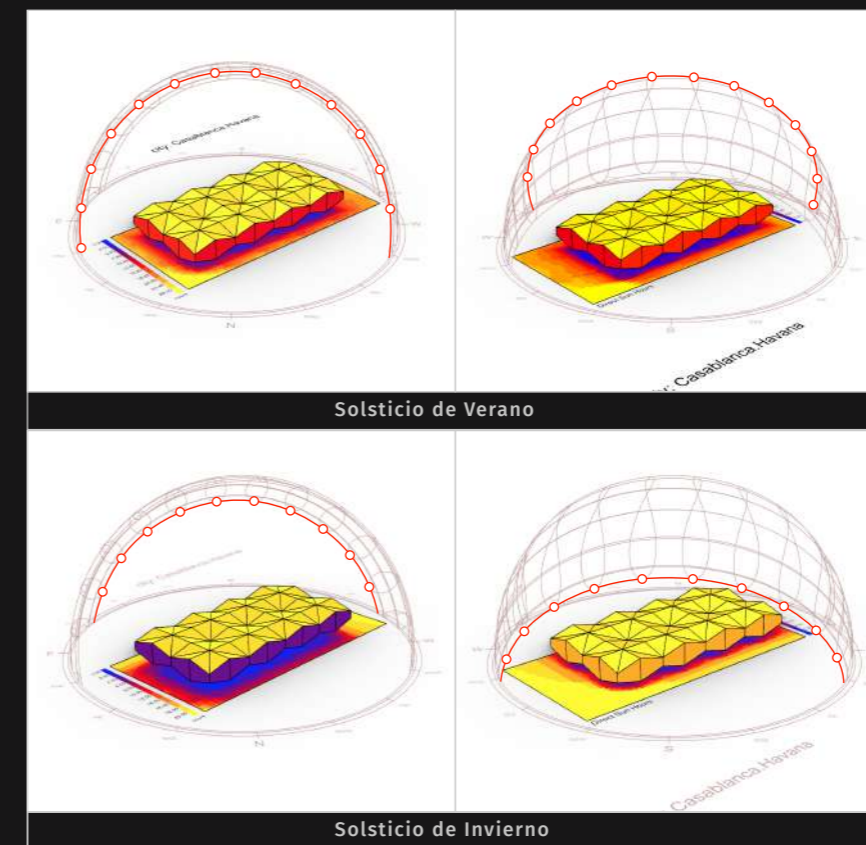


Figura 43:
Mapeo de horas
de sol sobre la
geometría.

Fuente: Creado por el autor.

</ 5.2 />

00110101 00101110 00110010

En el solsticio de verano, cuando el sol alcanza su punto más alto, se observa que tanto la cubierta como las fachadas reciben una exposición solar uniforme y constante. Dado que el invernadero contará con una envolvente translúcida, este comportamiento es beneficioso, ya que permite aprovechar al máximo la radiación solar para el crecimiento de cultivos sin generar áreas de sombra dentro del espacio productivo. Al mismo tiempo, la simulación revela que la zona debajo de la edificación no recibe luz solar directa, lo que la convierte en un espacio ideal para la comercialización de productos agrícolas y actividades comunitarias, asegurando un ambiente más fresco y protegido del sobrecalentamiento.

Durante el solsticio de invierno, cuando el ángulo solar es más bajo, la distribución de la radiación cambia, mostrando que las fachadas sureste y noroeste reciben la mayor cantidad de horas de luz, mientras que las orientadas hacia el noreste y suroeste permanecen en sombra durante más tiempo. Esta información será clave para la organización interna del invernadero, permitiendo una distribución estratégica de los cultivos según sus necesidades de exposición solar. Los cultivos que requieren mayor cantidad de luz podrán ubicarse en las zonas con mayor incidencia solar, mientras que aquellos que toleran mejor la sombra podrán situarse en las áreas menos expuestas.

Este análisis sugiere que la orientación y morfología del Ecomercado maximizan la incidencia solar invernadero, asegurando una adecuada exposición para los cultivos y posibilitando al mismo tiempo un espacio óptimo para la venta y distribución de los productos en la planta baja.

Tras analizar la incidencia solar en el exterior, es posible profundizar en el comportamiento de la radiación y la distribución de luz en los espacios interiores. La edificación, al estar elevada sobre pilares y contar con una planta baja libre, destina este nivel a la circulación peatonal y la organización de accesos, lo que minimiza la interferencia con la radiación directa.

Sin embargo, en el primer nivel, donde se encuentran tanto las zonas de cultivo como los espacios de servicio y administración, la configuración espacial influye directamente en la forma en que la luz natural se distribuye en el interior. Por ello, es fundamental definir la disposición de esta planta (Fig.44) antes de realizar la simulación lumínica y térmica, garantizando que la distribución de los espacios responda adecuadamente a las necesidades de iluminación de los cultivos y al confort de las áreas de uso administrativo.

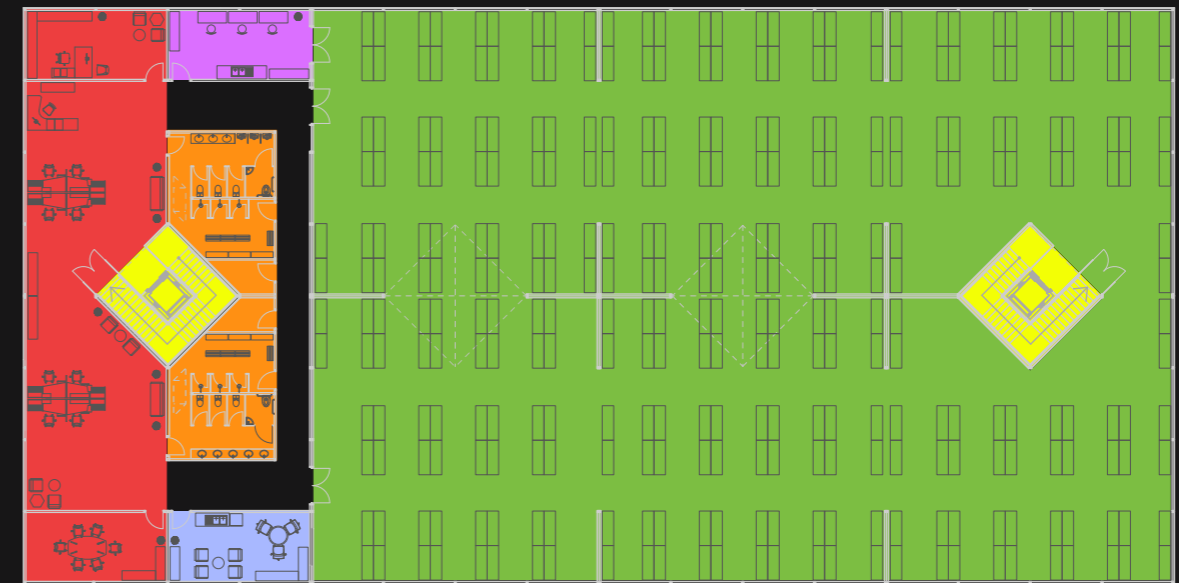


Figura 44:
Planta de primer
nivel del Ecomercado
con zonificación de
áreas por colores.

Fuente: Creado por el autor.

Área Administrativa Área de Cultivo Área de Servicios Circulación Vertical
Área de Descanso Área de Control de Calidad Circulación Interna

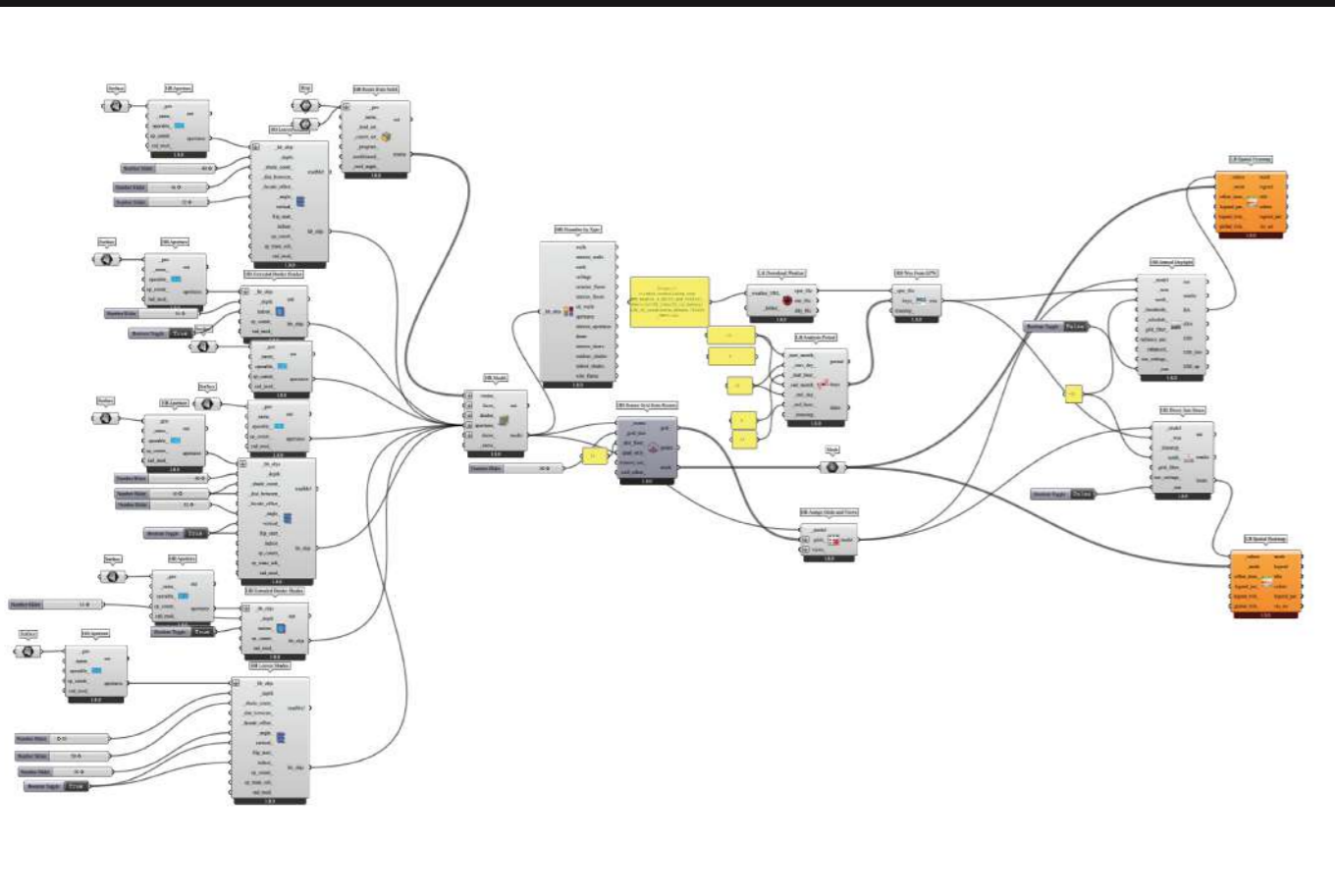
Una vez definida la planta del primer nivel (Fig.44), se procede a la simulación de Iluminación Natural Anual y Horas de Sol Directo para evaluar la distribución de la luz en los espacios interiores. Para ello, se desarrolló un algoritmo utilizando el complemento Honeybee en Grasshopper, lo que permitió un análisis preciso basado en la configuración de las superficies de la edificación. Estas fueron clasificadas en elementos opacos y translúcidos, diferenciando las zonas de ingreso de luz y su distribución en los espacios internos.

</ 5.2 />

00110101 00101110 00110010

El algoritmo (Fig.45) fue configurado para interpretar que la cubierta y las fachadas del área de cultivo como superficies translúcidas, lo que permite el ingreso de radiación solar, favoreciendo el crecimiento de las plantas. En contraste, las zonas de servicio y administración, aunque mantienen una estética homogénea en el exterior, incorporan dispositivos de sombreado interno como venecianas, generadas mediante componentes de Honeybee, permitiendo regular la entrada de luz en tiempo real según las necesidades del espacio. Además, en esta área, el tejado fue definido como una superficie sólida con aislamiento térmico, minimizando la ganancia de calor y garantizando un ambiente confortable.

Figura 45: Algoritmo de análisis de simulación ambiental en el interior del Ecomercado creado en Grasshopper con Honeybee.



Fuente: Creado por el autor.

Asimismo, se definió la pared divisoria entre la zona de cultivo y las áreas de servicio como un elemento opaco con aislamiento térmico, evitando la transferencia de calor sin comprometer la distribución lumínica en el área productiva. También se incorporaron claraboyas estratégicamente ubicadas, que actúan como chimeneas pasivas, facilitando la ventilación natural y permitiendo la entrada controlada de luz en puntos clave.

Siguiendo la misma metodología utilizada en la simulación exterior, se establecieron parámetros climáticos y períodos de análisis, considerando la trayectoria solar en distintas estaciones del año. Una vez referenciadas todas las superficies de la edificación dentro del algoritmo, se generó una malla de puntos sobre la planta del primer nivel, que recoge los datos de incidencia de luz natural en distintos momentos del día y del año. Los resultados obtenidos se visualizan en mapas de color, reflejando la distribución de la luz en el interior y permitiendo interpretar cómo las zonas de cultivo y las áreas de servicio reciben iluminación a lo largo del año.

El análisis inicial de la Iluminación Natural Anual (Fig. 47) reveló que, aunque el área de cultivo recibe un 100% de iluminación natural durante todo el año, las estrategias de sombreado implementadas en las zonas administrativas generaban áreas con insuficiente luz natural. Esto afectaría los espacios de trabajo y circulación, reduciendo su eficiencia en términos de confort lumínico.

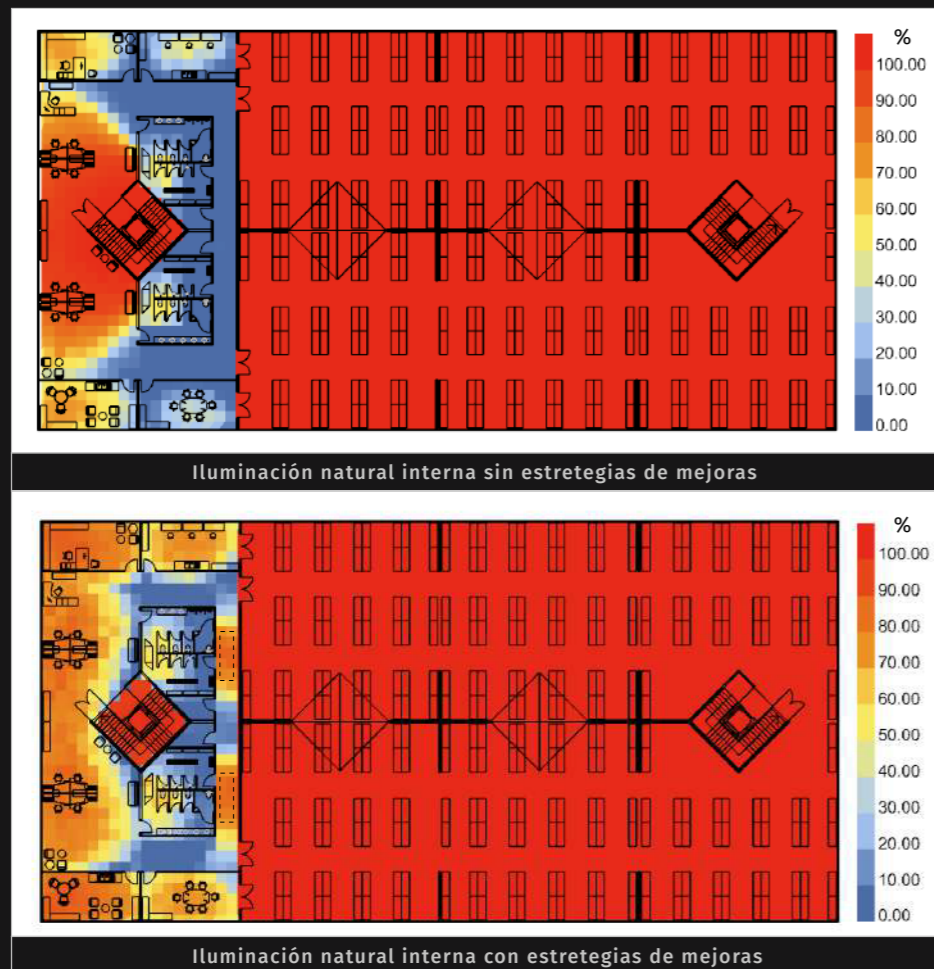
A partir de estos resultados, se ajustó el algoritmo para optimizar la distribución de luz en las áreas internas. Se reguló la densidad y disposición de las persianas en las fachadas, logrando una distribución más homogénea de la luz sin comprometer el confort térmico. Además, se incorporaron aberturas cenitales en los corredores de circulación, lo que incrementó la entrada de luz natural en estas áreas, mejorando las condiciones lumínicas sin afectar el control térmico en los espacios de trabajo.

</5.2/>

00110101 00101110 00110010

La simulación ajustada (Fig.46) muestra una mejora significativa en la distribución de la luz en los espacios administrativos, logrando una iluminación natural más equilibrada, mientras se mantiene la eficiencia lumínica en la zona de cultivo.

Figura 46: Análisis de iluminación natural interna con y sin estrategias de mejora.



Fuente: Creado por el autor

Posteriormente se realizó una simulación de Horas de Sol Directo (Fig.47) con el objetivo de evaluar la incidencia de radiación directa en los espacios interiores tanto en el solsticio de verano como en el solsticio de invierno. A diferencia del análisis anterior, esta simulación se centra en la radiación solar directa, lo que permite evaluar si la cantidad de luz recibida por los cultivos es adecuada para satisfacer sus necesidades específicas. La planificación de un espacio de cultivo requiere considerar la cantidad de luz solar disponible, ya que influye directamente en la fotosíntesis y el desarrollo de las plantas.

La luz solar directa es esencial para la mayoría de los cultivos, que requieren al menos 6 horas diarias, mientras que especies como tomate y pimiento necesitan 8 o más horas para alcanzar su rendimiento máximo. (NITZSCHE; REINERS; DÍAZ, 2024)

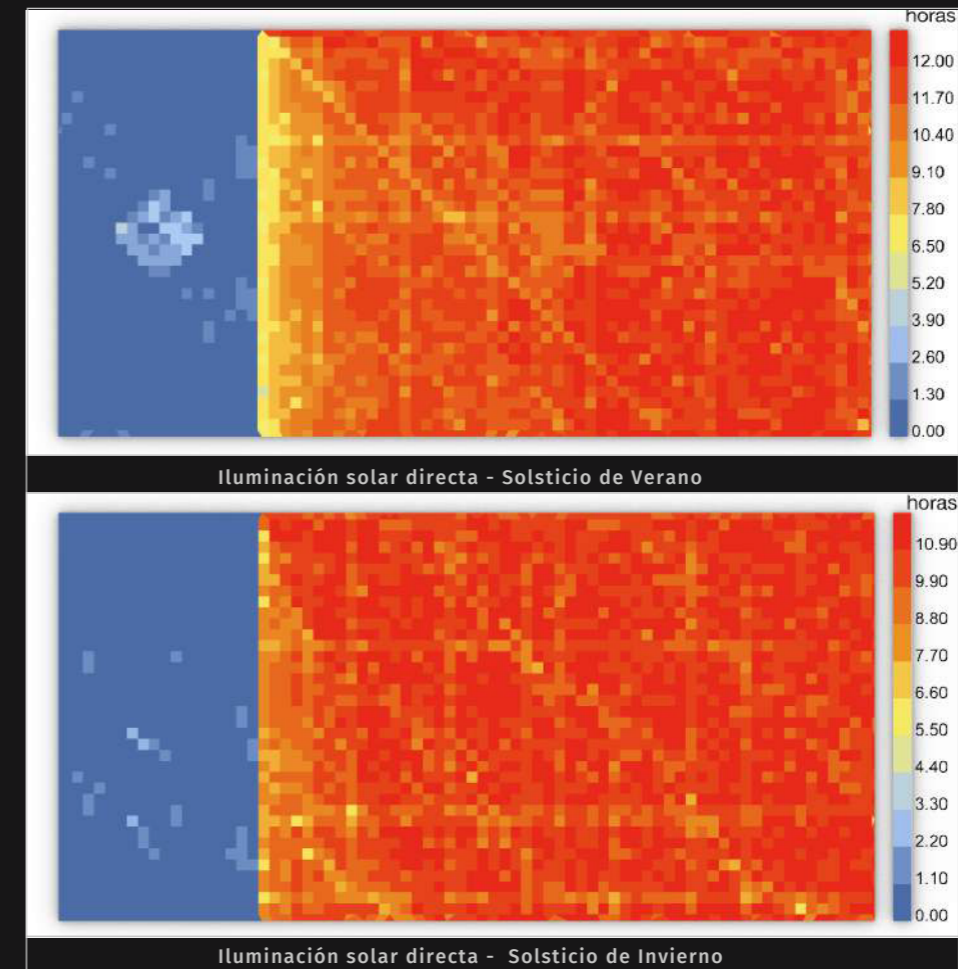


Figura 47: Análisis de exposición solar directa.

Fuente: Creado por el autor

Las simulaciones indican que la distribución de la luz solar directa en el espacio de cultivo permite evaluar su potencial para satisfacer las necesidades de las plantas en diferentes estaciones. Dado que la exposición influye en el rendimiento según la especie de cultivo, es recomendable considerar estrategias de manejo de la luz según la ubicación y sus características. En este sentido, el uso de telas de sombreado internas podría ayudar a regular la radiación y mitigar el estrés lumínico, optimizando el crecimiento y favoreciendo una producción más eficiente.

</5.2 />

00110101 00101110 00110010

</5.2.3 Configuración Final del Proyecto />

A partir de los análisis y optimizaciones realizadas en las etapas previas, se define la configuración final del Ecomercado, consolidando su implantación, organización espacial y estructura formal. La representación gráfica del proyecto permite visualizar cómo las estrategias paramétricas, ambientales y constructivas se integran en el diseño, asegurando una respuesta eficiente tanto a las condiciones del sitio como a sus requerimientos funcionales.

La implantación del Ecomercado responde a criterios urbanos, ambientales y funcionales dentro del contexto del sitio. Al estar elevado sobre pilares, la planta baja permanece libre, permitiendo una circulación abierta y fluida en relación con su entorno inmediato. En lugar de establecer accesos jerárquicos rígidos, el diseño favorece una conectividad natural con los flujos existentes, articulando la edificación con el parque público, el estacionamiento y la vialidad circundante. Los puntos de circulación vertical, conformados por escaleras y ascensores en plata baja (Fig.49), funcionan como los verdaderos accesos al primer nivel, distribuyéndose estratégicamente para garantizar accesibilidad desde diferentes direcciones. De esta manera, el proyecto refuerza su integración con el entorno, asegurando una apropiación flexible del espacio sin imponer restricciones innecesarias a la movilidad.

La configuración interna del Ecomercado responde a una lógica modular generada mediante herramientas de diseño computacional. La organización espacial se distribuye en dos niveles con funciones diferenciadas, garantizando la eficiencia del conjunto. En la planta baja (Fig.49), el espacio se configura como una superficie abierta sustentada sobre pilares, favoreciendo la circulación y la integración con el entorno. Este nivel alberga el acceso principal a la zona administrativa, conformado por un núcleo de circulación con escaleras y elevador público. Adicionalmente, se incorpora un acceso logístico, compuesto por escaleras y un elevador de carga, optimizando el transporte de productos desde la zona de cultivo. Estos núcleos de circulación vertical conectan ambos niveles, garantizando una operatividad eficiente en línea con los criterios de diseño previamente establecidos.

**Medidas
en centímetros.



IMPLANTACIÓN S/ESCALA

Figura 48: Planta de implantación
Fuente: Creado por el autor.

1 Claraboyas centralizadas

5.2

00110101 00101110 00110010

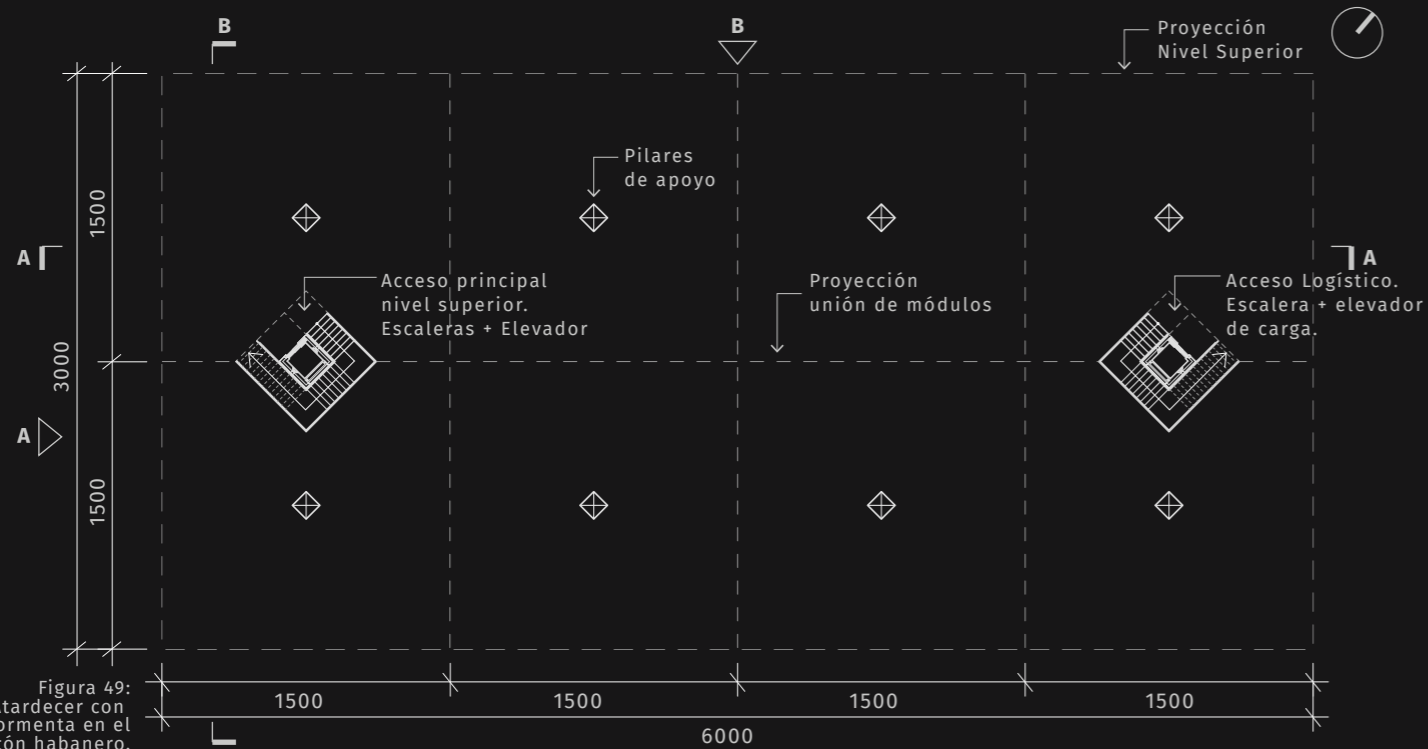


Figura 49: Atardecer con tormenta en el Malecón habanero.

Fuente: Creado por el autor.

PLANTA BAJA S/ESCALA

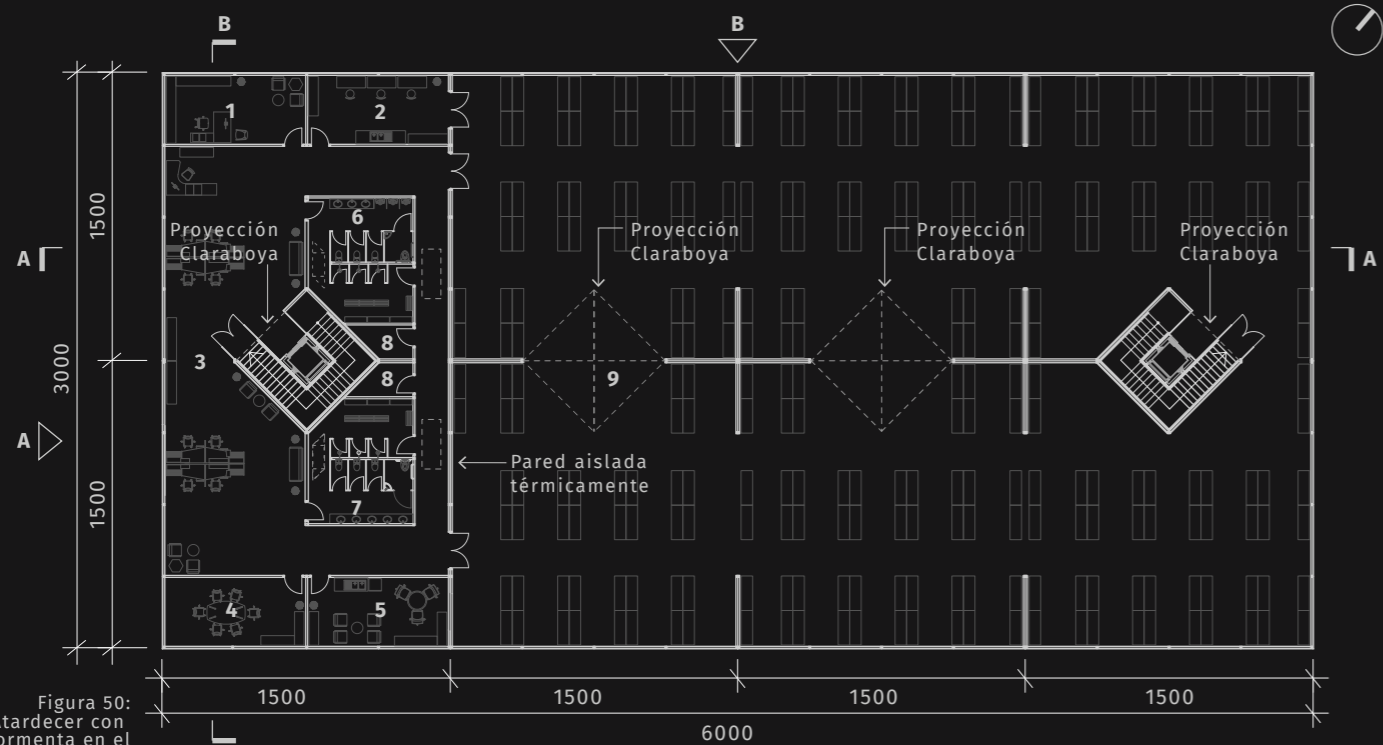


Figura 50: Atardecer con tormenta en el Malecón habanero.

Fuente: Creado por el autor.

PRIMER NIVEL S/ESCALA

**Medidas en centímetros



El primer nivel (Fig.51) constituye la zona productiva del invernadero, combinando el área de cultivo con espacios destinados a la gestión y el soporte operativo. La distribución responde a los estudios de simulación ambiental, asegurando una captación eficiente de luz natural en el área de cultivo, mientras que las zonas administrativas y de servicio se diseñan con estrategias de control térmico y lumínico.

La organización espacial se estructura en dos sectores claramente diferenciados:

1- Zona de cultivo (1335m²), numerada en planta como (9), diseñada para maximizar la exposición a la luz natural y la eficiencia térmica del invernadero.

2- Áreas de apoyo y gestión, con la siguiente numeración en planta:

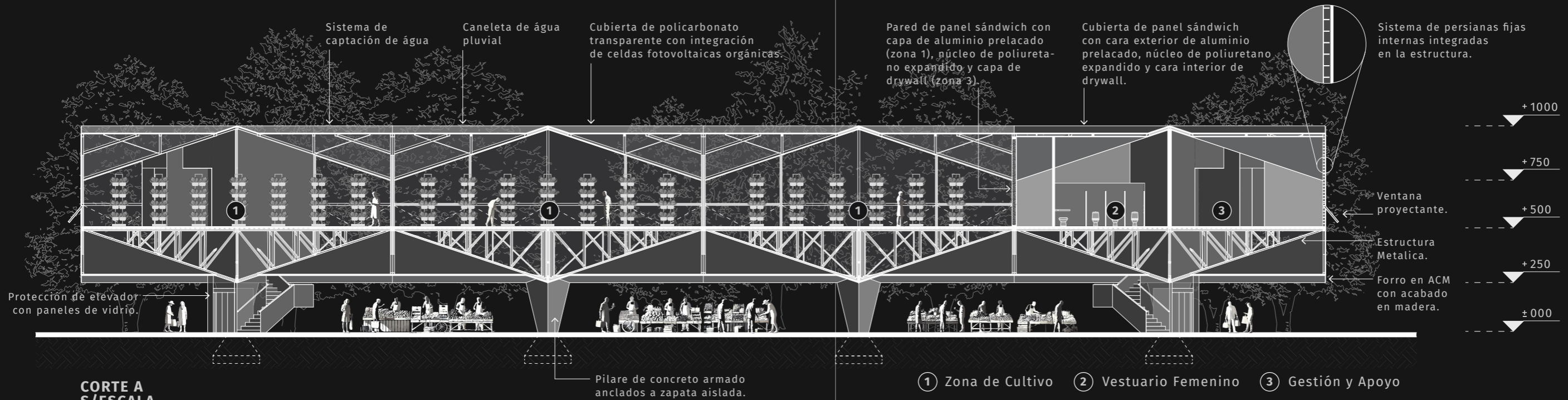
- | | |
|---|--|
| (1) Administración - 26m ² | (5) Sala de descanso - 26m ² |
| (2) Control de Calidad - 26m ² | (6) Vestuario Femenino - 34m ² |
| (3) Gestión y Apoyo - 150m ² | (7) Vestuario Masculino - 34m ² |
| (4) Sala de Reuniones - 26m ² | (8) Depósito - 4.7m ² |

Para mejorar el acondicionamiento pasivo del invernadero, se incorporan claraboyas cenitales, favoreciendo tanto la iluminación natural como la ventilación. Asimismo, la pared divisoria entre la zona de cultivo y los espacios administrativos cuenta con aislamiento térmico, regulando las condiciones ambientales sin comprometer la entrada de luz en el área productiva.

Si bien a través de las plantas se comprende la organización funcional del Ecomercado, los cortes permiten un análisis más profundo de la relación entre los espacios, las alturas, los materiales y las estrategias pasivas aplicadas para el confort ambiental y la eficiencia operativa del edificio. Para ello, se han desarrollado cortes que muestran estos aspectos con más precisión.

5.2

00110101 00101110 00110010

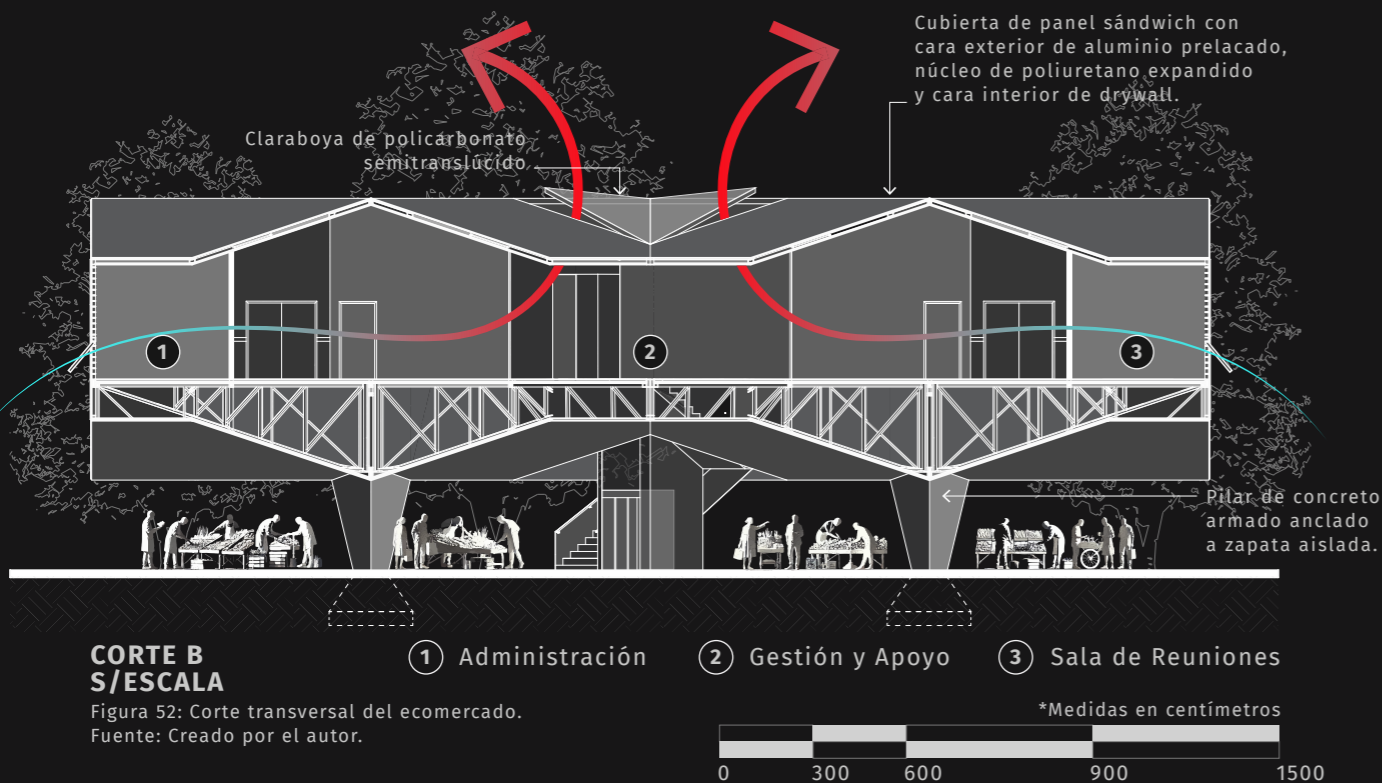


CORTE A S/ESCALA

Figura 51: Corte longitudinal del Ecomercado.
Fuente: Creado por el autor.

En el Corte A (Fig.51), se aprecia la diferenciación entre la zona de cultivo y la zona de gestión y apoyo. La primera está resuelta con una cubierta de policarbonato transparente con integración de celdas fotovoltaicas orgánicas, adhesivadas en la cara interna y dispuestas de manera intercalada, lo que permite tanto el ingreso de luz solar como la generación de energía, sin afectar la distribución lumínica en el área de producción agrícola. En contraste, el área administrativa y de apoyo requiere mayor aislamiento térmico, por lo que se utiliza una cubierta de panel sándwich con cara exterior de aluminio prelacado, núcleo de poliuretano expandido y cara interior de drywall.

Para controlar la temperatura y evitar sobrecalentamiento, la pared divisoria entre la zona de cultivo y la zona de gestión y apoyo se construye con panel sándwich con núcleo de poliuretano expandido, cara de aluminio prelacado hacia la zona de cultivo y cara de drywall hacia la zona de gestión, asegurando una barrera térmica efectiva sin comprometer la operatividad del edificio.



CORTE B S/ESCALA

Figura 52: Corte transversal del ecomercado.
Fuente: Creado por el autor.

5.2

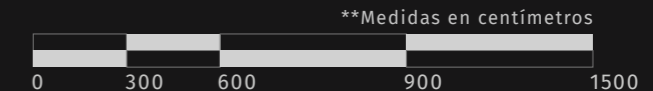
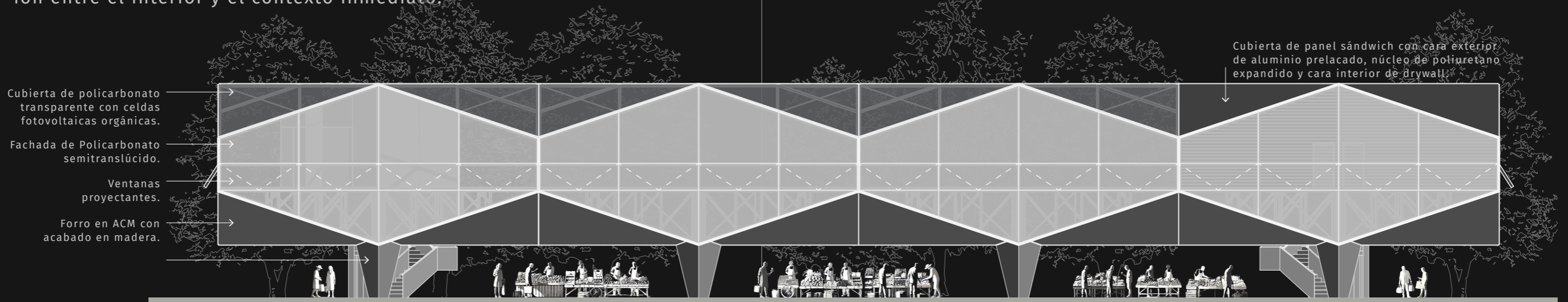
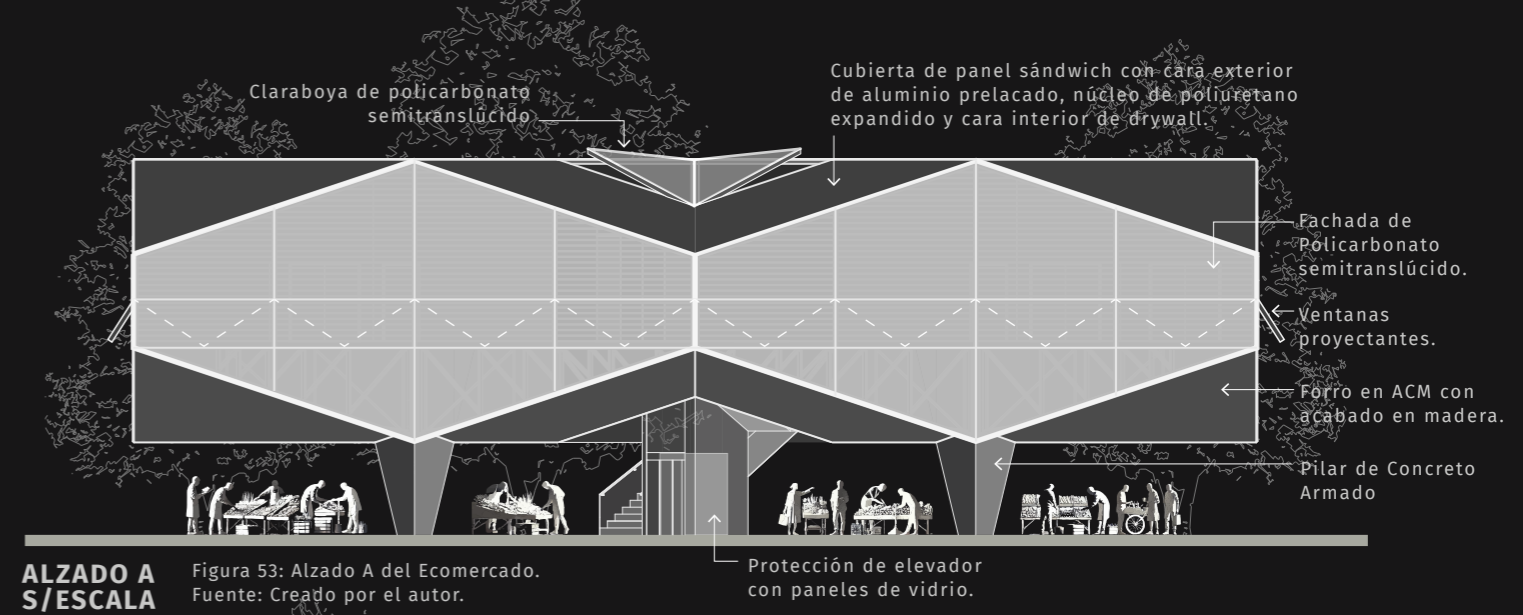
00110101 00101110 00110010

El Corte B (Fig.52) destaca la importancia de la ventilación natural en la estrategia climática del proyecto. Se incorporan claraboyas de policarbonato semitranslúcido, que funcionan como chimeneas pasivas para la extracción del aire caliente, favoreciendo la circulación del aire y optimizando el confort térmico en los espacios internos. Este sistema complementa la ventilación cruzada generada por las aberturas estratégicas en la fachada.

Para garantizar el confort en las zonas administrativas sin comprometer la uniformidad estética del edificio, se ha implementado un sistema de persianas fijas internas integradas en la estructura. Estas permiten modular la entrada de luz de manera pasiva, optimizando las condiciones de iluminación y temperatura según las necesidades de cada espacio. El diseño de la estructura elevada sobre pilares de concreto no solo favorece la circulación del aire en la planta baja sino que también contribuye a evitar el sobrecalentamiento del nivel superior, promoviendo un desempeño térmico eficiente en un clima tropical.

A partir del análisis de la distribución espacial y la materialidad en los cortes, los alzados (Fig.53)(Fig.54) permiten profundizar en la expresión formal del Ecomercado. En ellos se evidencia el carácter dinámico y modular del conjunto, donde la repetición geométrica estructura la propuesta. La composición de las fachadas responde a principios de ligereza y permeabilidad visual, asegurando la conexión entre el interior y el contexto inmediato.

En la zona productiva, el uso de policarbonato semitranslúcido unifica la volumetría filtrando el paso de la luz solar. La cubierta de policarbonato transparente con integración de celdas fotovoltaicas introduce una estrategia híbrida que optimiza la radiación solar tanto para el crecimiento de los cultivos como para la autosuficiencia energética. En planta baja, el revestimiento de ACM con acabado en madera no solo oculta la estructura metálica, sino que también establece un diálogo entre lo tecnológico y lo natural. Su resistencia a la intemperie y bajo mantenimiento lo hacen una alternativa viable dentro del contexto climático del proyecto.



</5.2 />

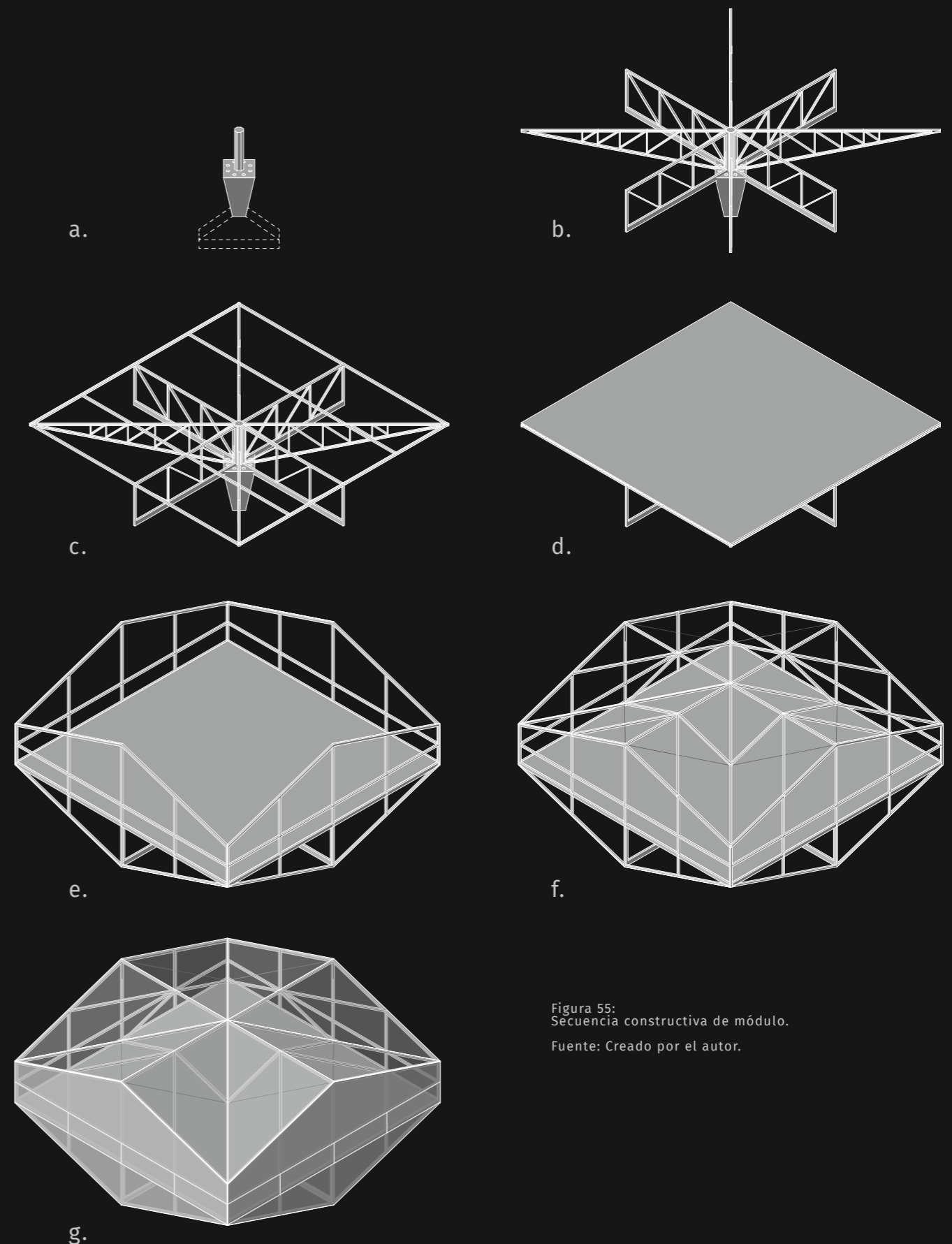
00110101 00101110 00110010

La expresión formal del Ecomercado no solo responde a criterios estéticos y funcionales, sino que está directamente vinculada a su configuración estructural. La lógica modular que define la volumetría del edificio se hace evidente en la manera en que los módulos se ensamblan y se organizan para garantizar estabilidad, flexibilidad y eficiencia constructiva. Para materializar esta propuesta, se ha desarrollado un sistema estructural preliminar basado en componentes prefabricados (Fig.55).

El proceso constructivo se inicia con el anclaje de pedestales prefabricados de concreto armado sobre zapatas aisladas. Estos elementos actúan como base para fijar los nodos de acero prefabricados, desde los cuales se extienden cerchas metálicas radiales fabricadas en taller y ensambladas en obra. Estas cerchas conforman la estructura principal del módulo, permitiendo la elevación del primer nivel. Este sistema de prefabricación no solo optimizaría el uso de materiales y reduciría desperdicios, sino que también agilizaría los tiempos de ejecución, representando una ventaja significativa en términos de rapidez y precisión.

Sobre la estructura metálica se instala un forjado ligero compuesto por láminas de steel deck y hormigón, creando una plataforma elevada que define el primer nivel. Entre esta superficie y el revestimiento inferior se reserva un espacio técnico destinado a instalaciones eléctricas, hidráulicas y otros sistemas esenciales. Esta configuración no solo facilitaría el mantenimiento, sino que también optimizaría el uso del espacio sin interferir con la operatividad del Ecomercado, buscando una integración eficiente entre funcionalidad y diseño.

Posteriormente, se incorporan los paneles de cerramiento prefabricados, los cuales incluyen marcos metálicos con revestimientos integrados, permitiendo que la cubierta y las fachadas encajen con precisión sobre la estructura. La geometría de la cubierta favorece la canalización del agua de lluvia hacia puntos específicos, donde se almacena para su uso en el sistema de riego del invernadero. Este enfoque invita a explorar cómo el diseño arquitectónico puede integrarse con ciclos naturales como el manejo del agua, para crear sistemas más sostenibles.



</5.2 />

00110101 00101110 00110010

Por último, la modulación paramétrica del proyecto, mediante el algoritmo desarrollado, permite un ajuste flexible y preciso en la cantidad de módulos utilizados. Esto facilita su adaptación eficiente a través de modificaciones en dimensiones y configuraciones (Fig. 56). Así, el diseño puede responder a demandas específicas del entorno, como condiciones del terreno, composición espacial o restricciones en distintos contextos geográficos, culturales y funcionales.

Este enfoque dota al proyecto de dinamismo y versatilidad, permitiendo soluciones personalizadas sin comprometer la coherencia estructural. En esencia, la modulación paramétrica confiere resiliencia adaptativa al diseño, permitiéndole evolucionar en función de requisitos emergentes o imprevistos, convirtiéndolo en una herramienta valiosa para afrontar desafíos contemporáneos en arquitectura y urbanismo.

Para mejorar la representación del estudio preliminar, se generaron renders realistas (Figs. 57, 58 y 59), los cuales ilustran la integración del Ecomercado con su entorno y su funcionamiento, proporcionando una visión inicial de la experiencia del usuario en el espacio.

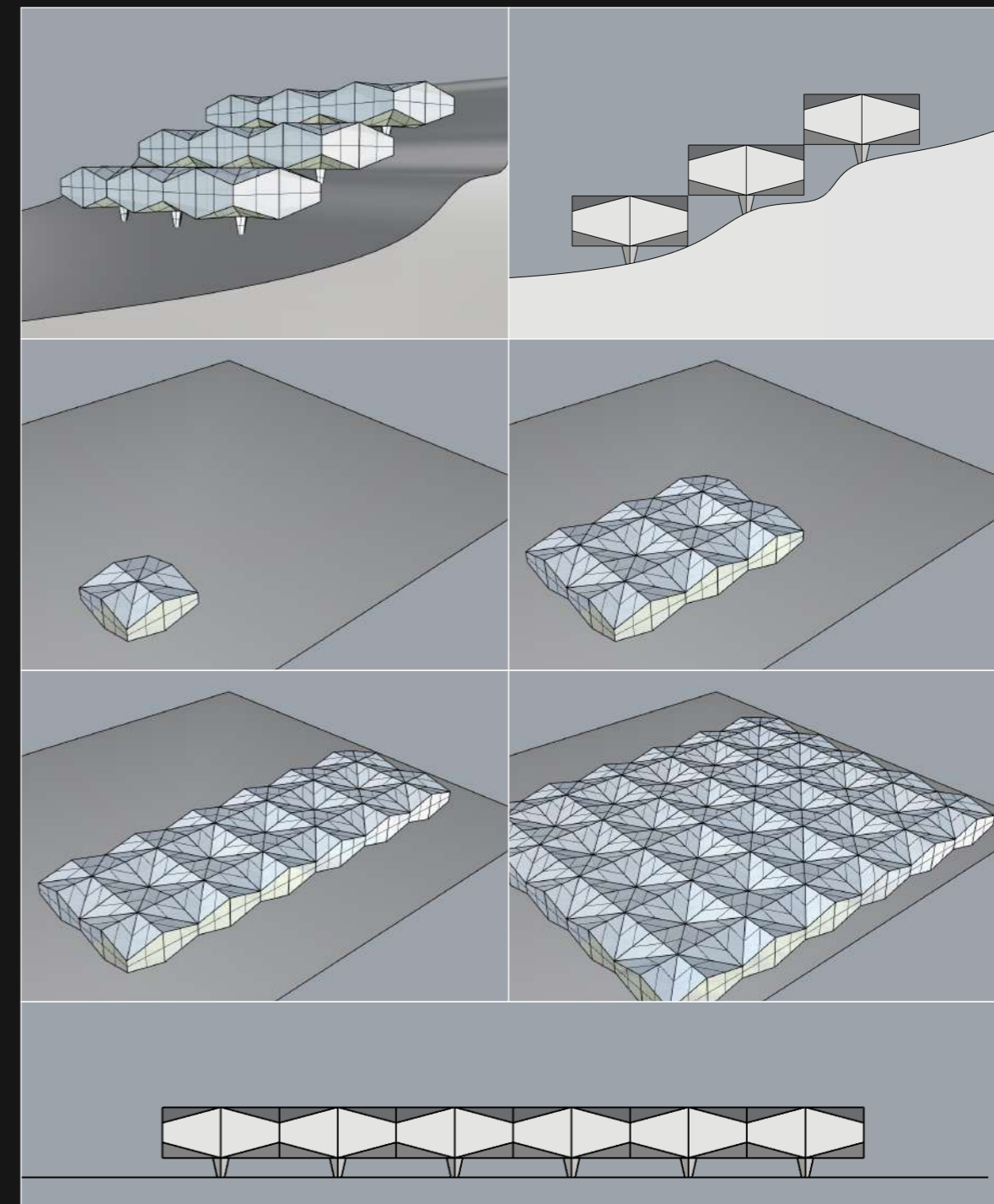


Figura 56:
Ejemplos de
configuraciones
paramétricas que
permite el algoritmo
creado.

Fuente: Creado por el autor.

</5.2 />

00110101 00101110 00110010



Fuente: Creado por el autor.
Figura 57: Render de Ecomercado en contexto.

</5.2 />

00110101 00101110 00110010



Fuente: Creado por el autor.
Figura 58: Render interior de Ecomercado.

</5.2 />

00110101 00101110 00110010



Fuente: Creado por el autor.
Figura 59: Render de Ecomercado en contexto.

◀ 6. CONSIDERACIONES FINALES ▶

01100011 01101111 01101110 01110011 01101001 01100100
01100101 01110010 01100001 01100011 01101001 01101111 01101110

El presente estudio ha explorado el potencial de las herramientas avanzadas de diseño computacional en contextos de recursos limitados, considerando el Ecomercado como un laboratorio experimental dentro del marco cubano. A través de su desarrollo, se ha investigado cómo la parametrización y la simulación podrían no solo optimizar el diseño arquitectónico, sino también contribuir a la formulación de estrategias más eficientes para la sostenibilidad y la resiliencia urbana.

El uso de herramientas avanzadas como Grasshopper, Ladybug y Honeybee ha permitido evaluar, desde las primeras fases del proyecto, variables climáticas y espaciales que, en otros enfoques, suelen resolverse en etapas posteriores. Esta anticipación podría reducir incertidumbres y facilitar una toma de decisiones más fundamentada en datos. La integración de estos análisis en la configuración del Ecomercado sugiere que el diseño algorítmico tiene el potencial de responder con mayor precisión a factores como la iluminación natural, el confort térmico y la eficiencia energética, optimizando los recursos disponibles. El sistema modular del Ecomercado favorece su replicabilidad y adaptabilidad a distintos contextos, estableciendo un modelo flexible que podría ajustarse a diferentes escalas y necesidades sin comprometer su operatividad. Asimismo, la incorporación de materiales prefabricados y técnicas de construcción optimizadas favorecería un montaje más eficiente, reduciendo tiempos de obra y costos, lo que podría mejorar su viabilidad en entornos con infraestructura limitada.

Más allá de la propuesta arquitectónica, este trabajo ha servido como una reflexión sobre el papel del arquitecto en la era digital y su capacidad para incorporar herramientas computacionales en el proceso de diseño, no solo como un medio para generar geometrías, sino como instrumentos estratégicos que relacionan eficiencia, sostenibilidad y adaptabilidad. En este sentido, el estudio ha permitido indagar en cómo la programación y el modelado paramétrico podrían contribuir a transformar las limitaciones del entorno en oportunidades de interés social, sugiriendo posibles metodologías arquitectónicas más integradas a contextos emergentes.

Sobre esta base, futuras investigaciones podrían explorar la implementación práctica de estos sistemas en proyectos piloto, evaluando su viabilidad técnica y económica en escenarios concretos. También se podría profundizar en el desarrollo de estrategias de fabricación local para componentes modulares, investigando cómo la lógica algorítmica puede vincularse con materiales y procesos constructivos específicos.

En última instancia, las herramientas avanzadas de diseño computacional, lejos de ser un privilegio de proyectos de alto presupuesto, emergen como recursos capaces de ofrecer soluciones precisas y sostenibles a problemáticas urbanas complejas. Este enfoque abre un horizonte donde el arquitecto podría incorporar el diseño computacional como un punto de encuentro entre las limitaciones del contexto y las oportunidades que ofrece la lógica algorítmica. Así, el código trasciende la mera generación de geometrías para germinar en el cultivo de nuevas formas de habitar, configurando un paisaje arquitectónico que no impone su forma, sino que evoluciona en armonía con su entorno.

</>

DEL CÓDIGO AL CULTIVO:

Diseño computacional como
catalizador de cambio social

Alexis Ojeda Marcet

</ 6. REFERENCIAS >

01110010 01100101 01100110 01100101 01110010 01100101
01101110 01100011 01101001 01100001 01110011

ACOSTA VALENCIA, Vanessa; NARVÁEZ JIMÉNEZ, Mariana. El diseño paramétrico como medio de optimización de prototipo arquitectónico sostenible. Pereira: Universidad Católica de Pereira, 2022. Disponible en: <https://repositorio.ucp.edu.co/server/api/core/bitstreams/5e6d6546-e48d-4ef6-9a7f-0e52ca33ee68/content>. Acceso en: 03/03/2024.

AUTODESK. FUSION 360: Overview. 2024. Disponible en: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>. Acceso en: 06/03/2024.

BAZAFKAN, E. Assessment of usability and usefulness of new building performance simulation tools in the architectural design process. 2017. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Ehsan-Bazafkan/publication/320931455_Assessment_of_Usability_and_Usefulness_of_New_Building_Performance_Simulation_Tools_in_the_Architectural_Design_Process/links/5b58616daca272a2d6677f60/Assessment-of-Usability-and-Usefulness-of-New-Building-Performance-Simulation-Tools-in-the-Architectural-Design-Process.pdf. Acceso en: 04/03/2024.

BLOCKEN, B. Computational Fluid Dynamics for urban physics: Importance, scales, possibilities, limitations and ten tips and tricks towards accurate and reliable simulations. Building and Environment, v. 91, p. 219-245, 2015. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.02.015. Disponible en: <https://pure.tue.nl/ws/files/7993534/687442152079717.pdf>. Acceso en: 05/03/2024.

BRADNER, Erin; IORIO, Francesco; DAVIS, Mark. Parameters Tell the Design Story: Ideation and Abstraction in Design Optimization. SimAUD 2014 Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, Tampa, Florida, USA, 2014. Disponible en: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/research/publications-assets/pdf/parameters-tell-the-design.pdf>. Acceso en: 02/03/2024.

BURRY, Mark; KOLAREVIC, Branko. Between intuition and process: Parametric design and rapid prototyping. En: KOLAREVIC, Branko (Ed.). Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing. Spon Press, 2003. p. 243-251. Disponible en: https://archive.org/stream/BrankoKolarevicArchitectureInTheDigitalAgeOk.xyz/%5BBranko_Kolarevic%5D_Architecture_in_the_Digital_Age%28b-ok.xyz%29_djvu.txt. Acceso en: 02/03/2024.

BURRY, Mark. Scripting Cultures: Architectural Design and Programming. O'Reilly Media, 2011. Disponible en: <https://learning.oreilly.com/library/view/scripting-cultures-architectural/9781119979289/OEBPS/cvi.htm>. Acceso en: 03/03/2024.

COULLERI, Agustina (Cur.). Mercado público Matamoros / Colectivo C733. ArchDaily en Español, [s.l.], 18 nov. 2021. Disponible en: <https://www.archdaily.cl/cl/972114/mercado-publico-matamoros-c733>. Acceso en: 05/03/2024.

COYULA COWLEY, Mario. Ambiente urbano y participación en la búsqueda de un socialismo sustentable. Nueva Sociedad, nro. 152, nov.-dic. 1997, pp. 20-28. Disponible en: https://static.nuso.org/media/articles/downloads/2636_1.pdf. Acceso en: 03/03/2024.

DIRECCIÓN PROVINCIAL DE PLANIFICACIÓN FÍSICA – CIUDAD DE LA HABANA (DPPF - CH); GRUPO PARA EL DESARROLLO INTEGRAL DE LA CAPITAL (GDIC); INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN FÍSICA (IPF). Regula-ciones urbanísticas: Municipio Plaza de la Revolución, Ciudad de La Habana, El Vedado. La Habana: Ediciones Unión, 2006. Disponible en: <http://www.planmaestro.ohc.cu/recursos/papel/libros/regulacionesvedado.pdf>. Acceso en: 14 feb. 2025.

EQUIPO DIGITAL TOMATER. Digitala Tomater: Förstudie. [S.l.]: Greenhouse Living AB; Kajodlingen; Göteborg Energi, 4 noviembre 2020. Disponible en: <https://www.greenouseliving.se/project/digital-to->

</ 6 >

01110010 01100101 01100110 01100101 01110010 01100101
01101110 01100011 01101001 01100001 01110011

FALCÓN, Alonso; PUEBLA, Fuentes; MARTÍNEZ, Rodríguez. ¿Cuánto ha avanzado la agricultura urbana en estos 35 años? Cubadebate, 27 de diciembre. 2022. Disponible en: <http://www.cubadebate.cu/noticias/2022/12/27/cuanto-ha-avanzado-la-agricultura-urbana-en-estos-35-anos/>. Acceso en: 11/10/2024.

FONSECA DIÉGUEZ, Lianne. Fomentan en Holguín agricultura urbana, suburbana y familiar. Periódico Trabajadores, 19 dic. 2020. Disponible en: <https://www.trabajadores.cu/20201219/fomentan-en-holguin-agricultura-urbana-suburbana-y-familiar/>. Acceso en: 09/02/2024.

FRAZER, John. An Evolutionary Architecture. Architectural Association, London, 1995. Disponible en: <https://issuu.com/aa-school/docs/an-evolutionary-architecture-webocr>. Acceso en: 03/03/2024.

FRAZER, John et al. Generative and evolutionary techniques for building envelope design. In: Generative Art 2002, 5th International Conference, 2002. Disponible en: <https://eprints.qut.edu.au/10565/1/10565a.pdf>. Acceso en: 03/03/2024.

GOLDBERG, D. E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1989. [Sin enlace disponible]

HOLZER, Dominik; HOUGH, Richard; BURRY, Mark. Parametric Design and Structural Optimisation for Early Design Exploration. International Journal of Architectural Computing, v. 5, n. 4, p. 625-640, Dec. 2007. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/30870868_Parametric_Design_and_Structural_Optimisation_for_Early_Design_Exploration. Acceso en: 02/03/2024.

MCNEEL & ASSOCIATES. Novedades en Rhino 8. Disponible en: <https://www.rhino3d.com/8/new/>. Acceso en: 03/03/2024.

NITZSCHE, Peter; REINERS, Steve; DÍAZ, Cecilia. Planificando el huerto. Rutgers New Jersey Agricultural Experiment Station, 2024. Disponible en: <https://njaes.rutgers.edu/fs129sp/>. Acceso en: 14/02/2025.

OXMAN, Rivka. Design Studies: Theory and Design in the First Digital Age. 2005. Disponible en: <https://arq510002.paginas.ufsc.br/files/2011/04/Design-Studies-Theory-and-design-in-the-first-digital-age-Rivka-Oxman-1.pdf>. Acceso en: 03/03/2024.

OXMAN, Rivka. Sharing media and knowledge in design pedagogy. Journal of Information Technology in Construction, 2010. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/228971090_Sharing_media_and_knowledge_in_design_pedagogy. Acceso en: 02/03/2024.

SILVA, André L. Os três momentos do uso da tecnologia computacional gráfica em arquitetura. 2012. Disponível em: https://www.academia.edu/67593997/Os_tr%C3%AAs_momentos_do_uso_da_tecnologia_computacional_gr%C3%A1fica_em_arquitetura. Acceso em: 15/02/2025.

TERZIDIS, Kostas. Algorithmic Architecture. 2006. Disponible en: <https://ftp.isdi.co.cu/Biblioteca/BIBLIOTECA%20UNIVERSITARIA%20DEL%20ISDI/COLECCION%20DE%20LIBROS%20ELECTRONICOS/LE-0945/LE-0945.pdf>. Acceso en: 02/03/2024.

WOODS, Lebbeus. Big Tops. Blog Lebbeus Woods, 2 dic. 2009. Disponible en: <https://lebbeuswoods.wordpress.com/2009/12/02/big-tops/>. Acceso en: 09/02/2025.