

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Implementación de la metodología BIM para el análisis de la sostenibilidad de vivienda vertical en la ciudad de Guatemala

Trabajo de graduación presentado por Oscar Eduardo Borrayo Ayala para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala,

2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



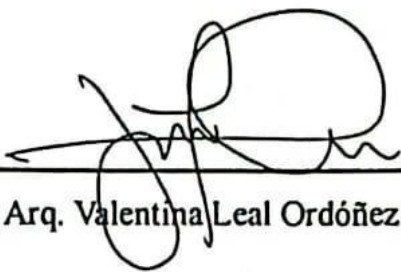
Implementación de la metodología BIM para el análisis de la sostenibilidad de vivienda vertical en la ciudad de Guatemala

Trabajo de graduación presentado por Oscar Eduardo Borrayo Ayala para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

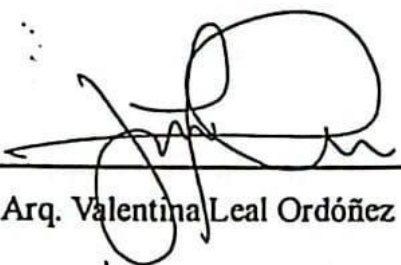
Guatemala,

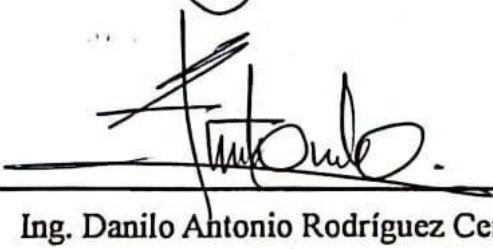
2024

Vo.Bo.:

(f) 
Arq. Valentina Leal Ordóñez

Tribunal Examinador:

(f) 
Arq. Valentina Leal Ordóñez

(f) 
Ing. Danilo Antonio Rodríguez Cerón

(f) 
Arq. Marco Vinctio Sampuel Oliva

Fecha de aprobación: Guatemala, 10 de enero de 2025

Prefacio

Este trabajo de investigación representa no solo la culminación de mi formación académica, sino también un camino lleno de aprendizajes, desafíos y momentos gratificantes. La tesis sobre el diseño bioclimático de edificios de apartamentos me permitió profundizar en un tema que considero clave para la construcción sostenible.

Mi agradecimiento se dirige a quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto; Dios, mis padres, amigos, profesores, sobre todo mi asesora, quien en todo momento estuvo conmigo ayudándome a aprender y perfeccionar el trabajo de investigación. Todos guiaron mi destino a través de esta aventura de aprendizaje.

No fue un proceso sencillo. Reconozco que algunos aspectos quedaron limitados por el tiempo y el acceso a ciertos recursos, pero cada paso me ayudó a crecer tanto profesional como personalmente.

Quiero agradecer en especial a mi asesora, Valentina Leal, por su guía y paciencia invaluable. A mi familia, gracias por su constante apoyo y comprensión, especialmente en los momentos más difíciles de este proceso. A todos los que me acompañaron y compartieron sus conocimientos, les debo una gran parte de este logro.

Este proyecto está dedicado a quienes creen que podemos construir un mundo más sostenible un edificio a la vez.

Sin nada más que añadir, gracias.

Índice general

Prefacio	III
Lista de cuadros	VI
Lista de figuras	VII
Resumen	IX
Abstract	X
I. Introducción	1
II. Justificación	2
III. Objetivos	4
IV. Marco Teórico	5
A. SOSTENIBILIDAD	5
1. Definición de sostenibilidad en la construcción	5
2. Principios de sostenibilidad	5
3. Beneficios de la sostenibilidad	6
4. Normativas y estándares de sostenibilidad	7
5. Tecnologías y prácticas sostenibles	8
6. Desafíos y oportunidades.....	9
B. CERTIFICACIONES VERDES EN LA CONSTRUCCIÓN	10
1. Definición y propósito de las certificaciones verdes	10
2. Ejemplos de certificaciones verdes relevantes.	11
3. Beneficios de obtener una certificación verde	12
C. EFICIENCIA ENERGÉTICA	13
1. Importancia de la eficiencia energética	13
2. Estrategias y prácticas para mejorar la eficiencia energética.....	14
D. MATERIALES	17
1. Tipos de materiales de construcción	17
2. Materiales sostenibles	17
3. Innovaciones en materiales de construcción.....	18
4. Impacto ambiental de los materiales de construcción.....	18
5. Normativas y estándares relacionados con materiales de construcción	19
E. ENERGÍA RENOVABLE	20
1. Definición y concepto de energía renovable.....	20
2. Importancia de la energía renovable.....	21
F. DOMÓTICA Y AUTOMATIZACIÓN	22

1.	Definición y concepto de domótica	22
2.	Principios de la domótica y automatización.....	22
3.	Beneficios de la domótica y automatización.....	23
4.	Integración de la domótica en edificios sostenibles.....	23
G.	ENTORNO INMOBILIARIO Y EDIFICIOS DE APARTAMENTOS EN GUATEMALA	24
1.	Descripción del mercado inmobiliario guatemalteco.....	24
2.	Tipología de edificios de apartamentos en Guatemala.....	24
3.	Necesidades y desafíos en la construcción de edificios de apartamentos	25
H.	BUILDING INFORMATION MODELING (BIM).....	26
1.	Beneficios de la metodología BIM.....	26
2.	Dimensiones de la metodología BIM	26
3.	Ciclo de vida de un proyecto	27
V.	Metodología	29
	Etapa 1: preparación y recopilación de información.....	30
	Etapa 2: herramientas específicas de modelado	32
	Etapa 3: propuesta de mejora y modelado	36
	Etapa 4: Análisis de resultados.....	38
VI.	Resultados y discusión	39
VII.	Conclusiones	72
VIII.	Recomendaciones	73
IX.	Referencias.....	74
X.	Anexos.....	80

Lista de cuadros

Cuadro 1. tipos de escenario y diseño. fuente: msi digital builders.....	29
Cuadro 2. condiciones de luz diurna para rangos de puntuaciones vsc.....	35
Cuadro 3. incidencia y protección de horas solares abril (antigua fachada).	43
Cuadro 4. incidencia y protección de horas solares enero (antigua fachada).	47
Cuadro 5. incidencia y protección de horas solares abril y enero (nueva fachada).....	60

Lista de figuras

Figura 1. Retos y desafíos de la construcción sostenible en Guatemala.	5
Figura 2. Bosco verticales, planos (milán)	7
Figura 3. Eficiencia energética en edificios	8
Figura 4. 5 materiales para una arquitectura sostenible.....	9
Figura 5. 12 certificaciones de construcción sostenible.	11
Figura 6. Makers quarter block d office building /bnim. LEED Platinum.	11
Figura 7. certificación leed	13
Figura 8. salud y confort en los espacios de trabajo.	14
Figura 9. bardales de gimnasio urbano.	15
Figura 10. ¿es posible una instalación de placa solar en edificios de poca altura?.	15
Figura 11. materiales aislantes térmicos para mejorar la eficiencia energética.....	16
Figura 12. esquema de gestión integral del edificio.	16
Figura 13. materiales de construcción sustentables.	18
Figura 14. la pirámide de materiales de construcción.	19
Figura 15. domótica.	22
Figura 16. el papel de la domótica en la arquitectura sostenible: cómo mejorar la eficiencia energética, el confort y la seguridad de las viviendas.	23

Figura 17. Guatemala Green Building Council.	24
Figura 18. La ventilación mecánica con recuperador de calor imprescindible para asegurar el confort y la calidad del aire interior en los edificios de alta eficiencia energética.	25
Figura 19. Bim 6d y sostenibilidad.	27
Figura 20. bim.....	28
Figura 21. relación modelo-diseño.	30
Figura 22. ubicación y entorno (zona 10, ciudad de guatemala.	31
Figura 23. vistas de renderizado, edificio gravita, zona 5.	32
Figura 24. pot zona 10.	33
Figura 25. análisis de radiación solar.	34
Figura 26. potencial de luz diurna.	34
Figura 27. análisis de viento.	35
Figura 28. análisis previo de microclima.	36
Figura 29. celosía de madera de inppa en bim.	37
Figura 31. pérgola bioclimática.	37
Figura 32. edificio con árboles su alrededor.	38

Resumen

La construcción sostenible es una necesidad es una necesidad creciente para mitigar el impacto ambiental en el desarrollo urbano. La implementación de la metodología building information modeling (BIM) se presenta como una estrategia clave para optimizar la eficiencia energética, mejorar la gestión de recursos y reducir el desperdicio de materiales en proyectos de construcción. (MCAD, 2023)

Según Forbes, BIM se distingue por su enfoque colaborativo y su capacidad para integrar múltiples disciplinas, permitiendo una planificación eficiente y reduciendo conflictos en proyectos de gran envergadura (Hughes, 2019). A nivel global, diversas naciones han adoptado esta metodología con el fin de mejorar la gestión del ciclo de vida de los edificios.

El objetivo de esta investigación fue analizar la aplicación de BIM en su sexta dimensión (6D) para evaluar y mejorar la sostenibilidad en un proyecto de edificio para apartamentos. Se realizó una simulación que integró aspectos de eficiencia energética, optimización de recursos y reducción de desperdicios, demostrando la viabilidad del uso de BIM en este tipo de construcciones.

Para ello, se utilizó el software Revit para el modelado 3D y FORMA para el análisis del sitio y la evaluación del desempeño energético. La combinación de estas herramientas permitió una visión holística del proyecto, facilitando la toma de decisiones fundamentadas en datos precisos.

Los resultados demostraron que la integración de BIM 6D no solo optimiza el diseño y la ejecución de proyectos de construcción, sino que también contribuye significativamente a la sostenibilidad y resiliencia del entorno urbano. Esta investigación aporta un enfoque innovador a la industria de la construcción en Guatemala, promoviendo la adopción de tecnologías avanzadas para un desarrollo más eficiente y sustentable.

Palabras clave: BIM, sostenibilidad, eficiencia energética, construcción, sostenible, modelado 6D, Revit, FORMA, edificios de apartamentos, optimización de recursos, reducción de desperdicios, análisis bioclimático, Guatemala.

Abstract

La construcción sostenible, impulsada por la necesidad de mitigar el impacto ambiental en el desarrollo urbano, se beneficia significativamente de la implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM). Esta investigación analiza la aplicación de BIM en su sexta dimensión (6D) para la evaluación y mejora de la sostenibilidad en un proyecto de edificio de apartamentos. Se realizó una simulación que integró aspectos de eficiencia energética, optimización de recursos y reducción de desperdicios, utilizando Revit para modelado 3D y FORMA para análisis energético. Los resultados demostraron que la integración de BIM 6D no solo optimiza el diseño y la ejecución de proyectos, sino que también contribuye a la sostenibilidad urbana. Este enfoque innovador promueve la adopción de tecnologías avanzadas en la construcción guatemalteca para un desarrollo más eficiente y sustentable.

I. Introducción

El diseño bioclimático y la construcción sostenible son pilares en el desarrollo de edificaciones que respondan a las demandas ambientales y energéticas de nuestra era. En esta investigación, se buscó explorar cómo la implementación de la metodología BIM (building information modeling) puede mejorar la sostenibilidad en la construcción de apartamentos en contextos urbanos, con un enfoque en la eficiencia energética y la optimización de recursos.

Se planteó como hipótesis que, a través del uso de herramientas de simulación avanzada, como Revit y FORMA, es posible crear un modelo que no solo permita la visualización tridimensional de la edificación, sino que facilite la toma de decisiones informadas sobre aspectos claves como la selección de materiales, el control térmico y el uso de energías renovables.

La metodología incluyó la vinculación de planos arquitectónicos con simulaciones energéticas para evaluar la viabilidad y sostenibilidad del proyecto. Mediante el análisis de escenarios, se pretendió desarrollar un modelo que sirviera de ejemplo para futuros proyectos de vivienda en Guatemala, demostrando que la sostenibilidad en la construcción es alcanzable y puede ser eficiente desde una perspectiva económica y ambiental. Finalmente, se ofrecen un análisis detallado de los resultados y se proponen conclusiones que orienten futuras investigaciones en el campo de la construcción sostenible y el uso de BIM en el diseño bioclimático.

II. Justificación

El presente trabajo de tesis surge de la necesidad de abordar la creciente demanda de profesionales capacitados en la gestión y construcción de proyectos en Guatemala. La implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM) representa una oportunidad prometedora para aprovechar el potencial de nuevas oportunidades laborales en el mercado guatemalteco. Se proyecta, según Prensa Libre, que la población alcance los 22.7 millones de habitantes para el año 2050 (Prensa Libre, 2020), impulsando así el aumento de proyectos de construcción para satisfacer las necesidades derivadas del crecimiento poblacional.

Las ventajas intrínsecas al uso de BIM, como su enfoque colaborativo, la reducción de tiempos y costos, y la anticipación de problemas en campo, se convierten en herramientas esenciales para afrontar los desafíos inherentes a la ejecución de proyectos. Cabe destacar que, en la modalidad de construcción predominante en Guatemala, la vivienda vertical, proyectos de gran envergadura como un edificio para apartamentos, pueden dar lugar a conflictos durante su desarrollo.

El propósito fundamental de esta investigación fue abordar de manera anticipada y eficaz los desafíos en la etapa de sostenibilidad de la construcción de un edificio para apartamentos con una altura modesta, precisamente de 5 niveles. Esta elección, específicamente en el contexto de los apartamentos, se derivó de la creciente demanda y preferencia por este estilo de vivienda en Guatemala (HOMES GUATEMALA, 2022), lo que confirió relevancia al estudio. En este contexto la elección de viviendas cobra relevancia por varias razones. Estas viviendas permiten una mejor optimización del espacio y promueven la interacción de distintas funciones en un mismo ambiente, lo que es crucial en una ciudad densamente poblada como Guatemala. Además, la construcción en altura minimiza la expansión horizontal y preserva áreas verdes, reduciendo así la huella ecológica y contribuyendo a la sostenibilidad urbana. Sin embargo, para garantizar la sostenibilidad en la construcción, es esencial mejorar la eficiencia energética.

La solución que esta investigación buscó aportar a la sostenibilidad en la ciudad de Guatemala radicó en la implementación de la metodología BIM con el fin de facilitar la integración y coordinación de sistemas y componentes que promueven la eficiencia energética, la optimización de recursos y la reducción de desperdicios en la fase de diseño y ejecución. Si bien estos tres aspectos son fundamentales para la sostenibilidad, se enfocó particularmente en la mejora de la eficiencia energética. Esta implementación no solo contribuyó a la viabilidad del proyecto, sino que también sentó las bases para un futuro más sostenible y resiliente en la ciudad de Guatemala, respondiendo a las necesidades actuales y futuras del entorno urbano.

En Guatemala, la eficiencia energética en la construcción es un campo poco explorado, con escasos proyectos de tesis que se centren en esta área. La mayoría de los esfuerzos se han

enfocado en otros aspectos de la construcción, y la vinculación de BIM con la eficiencia energética es aún incipiente. Este estudio propuso una perspectiva pionera que buscó avanzar en el entendimiento y la aplicación de BIM para mejorar la eficiencia energética en proyectos de construcción de este tipo. La metodología BIM se postuló como una solución integral e innovadora para optimizar la gestión y la construcción de edificios de apartamentos, beneficiando a los profesionales involucrados y contribuyendo al desarrollo sostenible de la industria de la construcción en Guatemala.

III. Objetivos

A. Objetivo general

Implementar la metodología BIM para desarrollar una simulación que integre aspectos de eficiencia energética y sostenibilidad en un edificio de apartamentos en la ciudad de Guatemala.

B. Objetivos específicos

- Analizar las características y requisitos específicos de los apartamentos en el contexto urbano de la ciudad de Guatemala, considerando su diseño, funcionalidad y demandas en relación con los criterios de eficiencia energética.
- Utilizar los software Revit y el software Forma para desarrollar un modelo de información con los parámetros necesarios para el análisis bioclimático.
- Establecer las ventajas y retos al utilizar la metodología BIM en la sostenibilidad del proyecto, centrándose en los aspectos de diseño, simulación, obtención de resultados, cálculos y el trabajo colaborativo.
- Incentivar a las nuevas generaciones en la industria de la construcción a implementar el software forma y así promoverlo en prácticas sostenibles.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Sostenibilidad

1. Definición de Sostenibilidad en la Construcción.

La sostenibilidad es la práctica de diseñar, construir y operar edificaciones de manera que se minimice el impacto negativo en el medio ambiente, se optimice el uso de recursos naturales y se promueva la salud y el bienestar de los ocupantes y la comunidad circundante. En esencia, busca satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (eurofins, 2023).

La sostenibilidad en la construcción de edificios para apartamentos implica considerar una serie de aspectos interrelacionados, que van desde la eficiencia energética y el uso de materiales sostenibles hasta la gestión del agua, la calidad del aire interior y el diseño urbano. Se trata de adaptar un enfoque holístico que abarque todo el ciclo de vida del edificio, desde la planificación y el diseño hasta la construcción, operación y eventual demolición o renovación (CGC, 2023).

Figura 1. Retos y desafíos de la construcción sostenible en Guatemala.



Fuente: CGC, 2023

La construcción sostenible en Guatemala enfrenta desafíos y oportunidades únicas, dadas las condiciones climáticas, los recursos disponibles, las normativas locales y las expectativas de la comunidad. Por lo tanto, comprender la sostenibilidad en el contexto guatemalteco implica considerar estos factores y adaptar las mejores prácticas internacionales a las necesidades y realidades locales (CGC, 2023).

2. Principios de Sostenibilidad.

En la construcción de vivienda vertical, los principios de sostenibilidad se aplican en todas las etapas del proyecto, desde la planificación y el diseño hasta la construcción y el

mantenimiento. Esto implica la adopción de prácticas que reduzcan el consumo de recursos no renovables, minimicen la generación de residuos y mitiguen los impactos negativos sobre el entorno natural y la salud humana (Slow Studio, 2022).

Algunos de los principios clave de sostenibilidad incluyen:

- La eficiencia energética, que busca reducir el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero.
- La conservación del agua, que implica la captación, reciclaje y reutilización de la misma.
- El uso de materiales ecológicos y de bajo impacto ambiental, que promueven la salud de los ocupantes y reducen el agotamiento de recursos naturales.

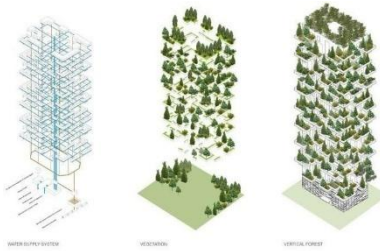
En el contexto de Guatemala, la aplicación de principios de sostenibilidad requiere tecnologías y estrategias adaptadas al clima y la geografía local, considerando las necesidades de la comunidad. La integración efectiva de estos principios en el diseño y la planificación urbana es crucial para crear espacios habitables, resilientes y equitativos.

3. Beneficios de la Sostenibilidad.

Los beneficios de la sostenibilidad en la construcción de vivienda vertical abarcan ventajas económicas, ambientales y sociales derivadas de la aplicación de prácticas y principios sostenibles durante todo el ciclo de vida del edificio.

- ✓ **Beneficios Económicos:** La adopción de prácticas sostenibles puede conducir a una reducción de los costos operativos a lo largo de un proyecto. La eficiencia energética, por ejemplo, puede resultar en facturas de servicios públicos más bajas, mientras que el uso de materiales duraderos y de bajo mantenimiento puede disminuir los gastos de reparación y mantenimiento a largo plazo. Además, los edificios sostenibles suelen tener un mayor valor de mercado y pueden atraer a inquilinos y compradores dispuestos a pagar primas por la sostenibilidad.
- ✓ **Beneficios Ambientales:** La construcción y operación de edificios representan una parte significativa del consumo de recursos naturales y la emisión de gases de efecto invernadero. La adopción de prácticas sostenibles puede ayudar a minimizar el uso de energía, agua y materiales. Además, puede fomentar la conservación de la biodiversidad y la protección de los ecosistemas locales (Peláez, 2023). Los edificios sostenibles también pueden contribuir a la mitigación del cambio climático al reducir las emisiones de carbono y otros contaminantes atmosféricos.

Figura 2. Bosco Verticales, planos (Milán).



Fuente: Urna Bios, 2024

- ✓ **Beneficios Sociales:** Los edificios sostenibles están diseñados pensando en el bienestar y la salud de los ocupantes. Esto incluye una mejora en cuanto a la calidad del aire interior, la maximización de la iluminación natural y la creación de espacios saludables y seguros. Asimismo, fomentan un mayor sentido de comunidad y pertenencia entre los residentes al proporcionar áreas comunes y oportunidades para la participación social y el intercambio cultural (ORT, 2024).

4. Normativas y estándares de Sostenibilidad.

Las normativas y estándares de sostenibilidad son reglamentos y criterios establecidos por autoridades gubernamentales, organizaciones internacionales y entidades certificadoras. Su objetivo es promover prácticas sostenibles en el diseño, construcción y operación de edificaciones residenciales (CCI, 2022).

- **Normativas gubernamentales:** Las normativas gubernamentales son leyes y regulaciones establecidas por los gobiernos locales, regionales o nacionales para regular la construcción y el desarrollo urbano. Pueden abarcar aspectos como **eficiencia energética, calidad del aire interior y gestión de residuos**. En el contexto de la sostenibilidad, estas normativas pueden ser obligatorias para proyectos de construcción de edificios residenciales (Instituto de Derecho Ambiental y Desarrollo Sustentable, 2023).
- **Estándares de Certificación:** Los estándares de certificación son sistemas de evaluación que garantizan el cumplimiento de criterios de sostenibilidad en la construcción de vivienda vertical. Ejemplos incluyen **LEED** (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental), **BREEAM** (Método de Evaluación Ambiental de Edificios de Investigación) y **EDGE** (Excelencia en Diseño para Mayores Eficiencias), que abordan aspectos como eficiencia energética y calidad del aire, así como otras prácticas ambientales (Econova, 2022).

- **Directrices Internacionales:** Además de las normativas y estándares nacionales, existen directrices internacionales que promueven la sostenibilidad en la construcción de edificios. Estas directrices pueden provenir de organizaciones como la ONU, la UE y el Banco Mundial. Estas abordan temas globales como la mitigación del cambio climático, la conservación de recursos naturales y la promoción del desarrollo sostenible.

5. Tecnologías y Prácticas Sostenibles.

Las tecnologías y prácticas sostenibles son innovaciones diseñadas para reducir el impacto ambiental, aumentar la eficiencia energética y promover la sostenibilidad en edificaciones residenciales.

Figura 3. Eficiencia energética en edificios, ¿cómo lograr la construcción sostenible?.



Fuente: Siber, 2020

Continuamente, en la gestión de residuos debe centrarse en la reducción, reutilización y reciclaje de materiales de construcción y demolición. Prácticas como la selección de materiales reciclados, la minimización de desechos en el lugar de trabajo y la adopción de sistemas de gestión de residuos eficientes contribuyen a la conservación de recursos naturales y la reducción de la contaminación ambiental (Siber, 2016).

Además, el uso de materiales implica la selección de productos y componentes de construcción que tienen un bajo impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida. Esto puede incluir materiales reciclados, materiales de origen renovable, productos certificados por estándares ecológicos y materiales de bajo contenido de VOC (compuestos orgánicos volátiles). La adopción de materiales sostenibles ayuda a reducir la huella de carbono de los edificios y promueve la salud y el bienestar de los ocupantes.

Figura 4. 5 materiales para realizar una arquitectura sostenible.



Fuente: Kozo, 2024

Por su parte, las tecnologías de aguas sostenibles deben incluir sistemas de captación de agua de lluvia, tecnologías de reciclaje de aguas grises, grifería de bajo flujo, inodoros de doble descarga y paisajismo sostenible. Estas tecnologías ayudan a conservar el agua potable, reducir la demanda de servicios públicos y mitigar el impacto de las inundaciones y la escasez de agua.

Cabe mencionar que el diseño orientado al usuario implica la creación de espacios habitables que promuevan el confort, la salud y la productividad de los ocupantes. Esto puede incluir la maximización de la luz natural, la creación de espacios verdes y áreas de recreación, la integración de sistemas de control ambiental y la consideración de las necesidades y preferencias de los usuarios finales en el diseño y la planificación de los apartamentos (Kozo, 2024).

6. Desafíos y oportunidades.

Los desafíos y oportunidades que enfrentan los desarrolladores, constructores y profesionales del sector inmobiliario al implementar prácticas sostenibles y tecnologías innovadoras en la edificación residencial son variados y abarcan aspectos financieros, regulatorios, técnicos, sociales y ambientales. Estos factores impactan tanto en el diseño como en la construcción, operación y mantenimiento de los edificios para apartamentos.

- **Aspectos financieros:** el costo inicial de implementar prácticas y tecnologías sostenibles en la edificación residencial es un desafío importante. Sin embargo, existen oportunidades financieras, como incentivos fiscales y financiamiento preferencial, junto con una creciente demanda del mercado por edificios ecológicos.
- **Regulaciones y normativas:** las regulaciones locales, regionales y nacionales establecen estándares mínimos para la eficiencia energética, calidad del aire, gestión de residuos y uso de materiales sostenibles en los proyectos. Los desafíos incluyen la complejidad y variabilidad de estas regulaciones, mientras que las oportunidades implican alinearse con políticas gubernamentales y programas de sostenibilidad, así como obtener certificaciones para los edificios.

- **Tecnología y Capacitación**: Los desafíos incluyen la falta de conocimiento y experiencia en tecnologías emergentes, así como la resistencia al cambio en de la industria. Las oportunidades radican en la formación continua del personal, la colaboración con expertos en sostenibilidad y la adopción gradual de tecnologías probadas y confiables.
- **Gestión y Mantenimiento**: Los desafíos involucran la escasez de recursos y capacidades para supervisar y mantener los sistemas sostenibles, junto con la necesidad de establecer protocolos de operación y mantenimiento. Las oportunidades incluyen la adopción de sistemas de gestión energética e hídrica, la integración de tecnologías inteligentes de monitoreo y la contratación de personal capacitado en prácticas sostenibles.
- **Participación Comunitaria**: La participación activa de la comunidad y los residentes es esencial para el éxito de los proyectos de construcción de edificios sostenibles. Desafíos como la comunicación efectiva con los interesados y la identificación de preocupaciones locales deben ser abordados. Las oportunidades incluyen la creación de espacios comunitarios sostenibles y la promoción de un sentido de pertenencia y responsabilidad compartida entre los residentes (C&C, 2024).

B. Certificaciones Verdes en la Construcción

1. Definición y Propósito de las Certificaciones Verdes.

Las certificaciones verdes son sistemas de evaluación y calificación que miden el desempeño ambiental y la sostenibilidad de los edificios. Su propósito principal es promover prácticas de construcción sostenibles y responsables, así como incentivar la adopción de medidas que reduzcan el impacto ambiental de los edificios a lo largo de su ciclo de vida.

Estas, a su vez, establecen estándares y criterios para evaluar aspectos clave de la sostenibilidad, como la eficiencia energética, la gestión del agua, la calidad del aire interior, el uso de materiales y recursos renovables, y la integración de diseños que maximicen la iluminación natural y la ventilación. Además, las certificaciones verdes suelen considerar aspectos relacionados con la ubicación del edificio, la infraestructura circundante y su impacto en el entorno local.

Una de las características más importantes de las certificaciones verdes es su enfoque holístico, que abarca desde la planificación y el diseño hasta la construcción, operación y mantenimiento de los edificios. Estos sistemas reconocen que la sostenibilidad no es un concepto estático, sino un proceso continuo que requiere un compromiso a largo plazo por parte de los propietarios, desarrolladores, diseñadores y operadores de edificios.

Figura 5. 12 certificaciones de construcción sostenible.



Fuente: Souza, 2020

Además de fomentar prácticas sostenibles, tienen como objetivo mejorar la salud y el bienestar de los ocupantes al ofrecer ambientes interiores más saludables, confortables y productivos. Asimismo, contribuyen a reducir los costos operativos a largo plazo al disminuir el consumo de energía y agua, así como los gastos asociados con el mantenimiento y la operación de las edificaciones.

Algunos ejemplos notables de sistemas de certificación incluyen LEED y BREEAM (USGBC, 2021; BRE Group, 2021), son ejemplos notables que garantizan prácticas sostenibles en la construcción y operación de edificios, siendo cruciales para este propósito.

2. Ejemplos de Certificaciones Verdes Relevantes.

Los ejemplos más destacados de certificaciones verdes a nivel mundial son LEED y BREEAM. Estas no solo establecen estándares para la sostenibilidad de los edificios e inspiran la adopción de prácticas de construcción más responsables en todo el mundo.

- ❖ **LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental):** Desarrollado por el US Green Building Council (USGBC), LEED es uno de los sistemas de certificación verde más ampliamente reconocidos y utilizado en todo el mundo. LEED evalúa el desempeño ambiental y la sostenibilidad de los edificios en diferentes áreas (Souza, 2020), como:

- ✚ Eficiencia energética
- ✚ Gestión del agua
- ✚ Materiales y recursos
- ✚ Calidad del aire interior
- ✚ Diseño innovador

Figura 6. Makers Quarter Block D Office Building /BNIM. LEED Platinum.



Fuente: Merrick, 2023

- ❖ **BREEAM (Método de Evaluación Ambiental de Edificios de Investigación):** Desarrollado en el Reino Unido por el Building Research Establishment (BRE), fue el primer sistema de certificación del mundo para evaluar, clasificar y certificar la sostenibilidad de los edificios. Sus principales focos son la energía, la salud y el bienestar, la innovación, el uso del suelo, los materiales, la administración, la contaminación, el transporte y el desperdicio (Souza, 2020).
- ❖ **EDGE (Excelencia en Diseño para Mayores Eficiencias):** Aunque no es una certificación tan conocida como LEED o BREEAM, EDGE es un sistema emergente desarrollado por el Banco Mundial que se centra en mejorar la eficiencia energética de los edificios en países en desarrollo, evaluando el desempeño ambiental de las edificaciones en términos de energía, agua y materiales, y proporcionando una certificación reconocida internacionalmente.

3. Beneficios de Obtener una Certificación Verde.

Obtener una certificación verde conlleva una serie de beneficios significativos que van más allá de la mera distinción. Estos beneficios destacan tanto a nivel ambiental como económico y social, lo que los convierte en un factor importante en la industria de la construcción sostenible. Algunos de los beneficios más relevantes incluyen:

- ★ **Mejora de la eficiencia energética:** Al adoptar prácticas y tecnologías que reducen el consumo de energía, los edificios certificados pueden experimentar una disminución significativa en los costos operativos a largo plazo.
- ★ **Aumento del valor de mercado:** Los edificios certificados a menudo disfrutan de una mayor demanda y valor en el mercado inmobiliario ya que los compradores y arrendatarios están cada vez más interesados en ocupar espacios que promuevan la sostenibilidad y la salud ambiental, lo que se traduce en una mayor rentabilidad para los propietarios y desarrolladores.
- ★ **Promoción de un entorno más saludable:** Las certificaciones verdes promueven la salud y el bienestar de los ocupantes al garantizar la calidad del aire interior, el uso de materiales no tóxicos y la optimización de la iluminación natural. Por lo tanto, se crean entornos interiores más saludables y confortables para quienes viven y trabajan en esos edificios.
- ★ **Reducción del impacto ambiental:** Al implementar prácticas y tecnologías sostenibles, los edificios certificados pueden reducir significativamente su huella ambiental a través de la conservación de recursos naturales y la mitigación de emisiones de carbono, en donde estas contribuyen de manera significativa a la protección del medio ambiente y la lucha contra el cambio climático.
- ★ **Cumplimiento de regulaciones y normativas:** en muchos lugares, las certificaciones verdes se están convirtiendo en requisitos para cumplir con regulaciones

ambientales y de construcción cada vez más estrictas. Obtener una certificación verde puede ayudar a los propietarios y desarrolladores a cumplir con estas normativas y evitar sanciones o restricciones (IntelectualORG, 2024).

Figura 7. Sello de certificación LEED adaptada de Intelectual ORG, 2024



En general, las certificaciones verdes constituyen un pilar para la construcción sostenible al reconocer y promover prácticas ambientalmente responsables y eficientes en la industria. Al priorizar la eficiencia energética, la conservación de recursos y la creación de entornos saludables, no solo benefician a los ocupantes de los edificios, sino que impulsan la innovación y el desarrollo tecnológico. Es por eso que, más allá de los estándares, representan un compromiso con un futuro más sostenible, donde los edificios no solo cumplen su función estructural, sino que contribuyen a la preservación del medio ambiente y el bienestar humano.

C. Eficiencia energética

La eficiencia energética es la optimización del consumo de energía para una tarea específica, implica reducir la cantidad de energía necesaria para una función dada, como iluminación, calefacción o refrigeración, sin sacrificar la calidad o el rendimiento.

Se logra a través de varias estrategias como la optimización del consumo energético, el uso de sistemas de climatización eficiente y la integración de fuentes de energía renovable, como paneles solares. Estas estrategias son esenciales en la construcción sostenible y pueden llevar a un ahorro significativo de costos y una reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero (IEA, 2019).

1. Importancia de la eficiencia energética

La eficiencia energética es fundamental ya que aborda desafíos críticos:

Sostenibilidad ambiental: la eficiencia energética es crucial para reducir la huella de carbono de los edificios. Al disminuir el consumo de energía, se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, ayudando así a mitigar el cambio climático y preservar los

recursos naturales. Esto es especialmente importante en el contexto actual de conciencia ambiental y esfuerzos globales para limitar el calentamiento global.

Figura 8. Salud y confort en los espacios de trabajo.



Fuente: Manca, 2020

Ahorro económico a largo plazo: Si bien puede implicar una inversión inicial más alta, la eficiencia energética ofrece ahorros significativos a lo largo del ciclo de vida de un edificio. Reducir el consumo de energía no solo disminuye las facturas de servicios públicos, sino que también aumenta el valor de mercado de la propiedad. Esto es particularmente atractivo para los propietarios e inversores, ya que contribuye a la rentabilidad y competitividad a largo plazo.

Resiliencia y seguridad energética: La eficiencia energética ayuda a mejorar la resiliencia de los edificios ante posibles interrupciones en el suministro de energía. Es decir, al reducir la dependencia de fuentes de energía externas y volátiles, los edificios eficientes pueden mantener un funcionamiento más estable y seguro incluso en condiciones adversas.

Salud y confort de los ocupantes: Los edificios eficientes en energía suelen ofrecer un ambiente interior más saludable y confortable para sus ocupantes. La optimización de la ventilación, la iluminación y la temperatura contribuye a mejorar la calidad del aire interior y el bienestar general de las personas que trabajan o viven en el edificio (Serra, 2020).

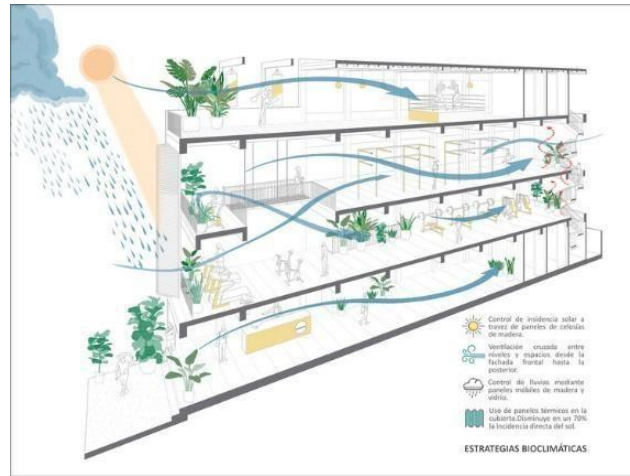
2. Estrategias y Prácticas para Mejorar la Eficiencia Energética

Para mejorar la eficiencia energética en la construcción, se aplican diversas estrategias y prácticas innovadoras que van más allá de simplemente reducir el consumo de energía. Entre las estrategias clave que se utilizan para mejorar la eficiencia energética en los edificios:

- El diseño bioclimático aprovecha las condiciones climáticas locales y las características naturales del entorno para optimizar el confort térmico y la iluminación natural. Además, tiene en cuenta aspectos como la orientación solar, la ubicación del edificio,

la forma y el diseño de las ventanas para maximizar el aprovechamiento de la luz solar y reducir la necesidad de sistemas de calefacción y refrigeración (Maiztegui, 2021).

Figura 9. Bardales gimnasio urbano.



Fuente: Casas, 2020

→ Las energías renovables, como paneles solares fotovoltaicos, turbinas eólicas o sistemas de energía geotérmica, permite generar energía limpia y reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables. Estas tecnologías pueden complementar la energía consumida de la red eléctrica y contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (ELON, 2022).

Figura 10. ¿Es posible una instalación placa solar en edificios de poca altura?.



Fuente: ELON, 2022

→ Además, la selección de materiales y aislamientos eficientes minimizan las pérdidas energéticas y mejoran el rendimiento térmico de los edificios. Por su parte, la selección de materiales con baja huella de carbono y la mejora de la envolvente térmica del edificio son aspectos clave para minimizar la transferencia de calor y mantener una temperatura interior confortable durante todo el año (Siber, 2016).

Figura 11. Materiales aislantes térmicos para mejorar la eficiencia energética.



Fuente: Siber Ventilación, 2020

- De esta manera, la optimización de sistemas de climatización e iluminación pueden ayudar a reducir el consumo de energía y mejorar el rendimiento del edificio. La utilización de sistemas de iluminación LED, sensores de movimiento y controles automatizados permite ajustar la iluminación y la temperatura según las necesidades específicas de los ocupantes y las condiciones ambientales.
- Habiendo mencionado esto, cabe mencionar que la gestión inteligente de la energía es fundamental ya que al implementar los sistemas de gestión energética y monitoreo en tiempo real permite identificar oportunidades de ahorro y optimización del consumo energético. La recopilación y análisis de datos sobre el uso de energía en el edificio pueden ayudar a identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas para reducir los costos operativos y mejorar la eficiencia energética a largo plazo (Olaizola y Mateos, 2019).

Figura 12. Esquema de gestión integral del Edificio.



Fuente: Olaizola y Carreton, 2019

D. Materiales

1. Tipos de materiales de construcción

Los materiales de construcción son sustancias utilizadas para erigir estructuras y edificaciones, comprendiendo una amplia gama de materiales, desde hormigón y acero hasta madera, vidrio y plásticos. Así mismo, cada tipo de material posee propiedades específicas que determinan su idoneidad para diferentes aplicaciones constructivas. Por ejemplo, **el hormigón** es valorado por su resistencia y durabilidad, siendo comúnmente utilizado en cimientos y estructuras de edificios. **El acero**, por otro lado, es apreciado por su alta resistencia y maleabilidad, lo que lo hace ideal para vigas y columnas estructurales. **La madera** se destaca por su versatilidad y estética, siendo utilizada en revestimientos, pisos y elementos decorativos. **El vidrio**, por su transparencia y capacidad para permitir el paso de la luz, se emplea en ventanas y fachadas de edificios modernos. **Los plásticos**, debido a su bajo peso y versatilidad, encuentran aplicaciones en una amplia variedad de componentes de construcción, desde tuberías hasta aislamientos.

La selección del tipo de material de construcción adecuado depende de diversos factores, incluyendo las características del proyecto, las condiciones ambientales, los requisitos de diseño y las consideraciones presupuestarias. Para ello, es fundamental evaluar las propiedades físicas, mecánicas y ambientales de cada material para garantizar su idoneidad y eficacia en la construcción de edificaciones sostenibles y eficientes energéticamente (La casa de hormigón, 2024).

2. Materiales sostenibles

Los materiales sostenibles son aquellos que se obtienen, utilizan y desechan de manera que minimizan el impacto ambiental y promueven la conservación de recursos naturales. Estos materiales están diseñados para reducir la huella ecológica a lo largo de su ciclo de vida, desde su producción hasta su disposición final.

La sostenibilidad de los materiales se evalúa considerando varios criterios, como su origen renovable o reciclado, su eficiencia energética durante la fabricación, su durabilidad y su capacidad de reciclaje o reutilización al final de su vida útil. Además, se tienen en cuenta factores ambientales y sociales, como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la protección de ecosistemas naturales, el respeto a los derechos laborales y la equidad social en la cadena de suministro.

Estos materiales pueden incluir una variedad de opciones, como maderas certificadas, productos reciclados, materiales de construcción de bajo impacto ambiental, como el bambú y el corcho, y materiales que minimizan la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV). La utilización de materiales sostenibles en la construcción puede contribuir significativamente a la reducción del consumo de recursos naturales, la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático. Además, puede mejorar la calidad de vida

de los ocupantes al reducir la exposición a sustancias tóxicas y promover ambientes interiores saludables (AlphaHardin, 2023).

Figura 13. Materiales de construcción sustentables.



Fuente: Alpha Hardin, 2024

3. Innovaciones en materiales de construcción

Son evidentes los avances y desarrollos tecnológicos que buscan mejorar las propiedades, la eficiencia y la sostenibilidad de los materiales empleados en la industria de la construcción. Estas innovaciones pueden abarcar una amplia gama de aspectos, desde la composición química y la estructura molecular hasta las propiedades físicas y mecánicas de los materiales.

La búsqueda de materiales de construcción innovadores se centra en encontrar alternativas que sean más duraderas, resistentes, eficientes energéticamente y respetuosas con el medio ambiente en comparación con los materiales convencionales. Esto incluye el desarrollo de materiales que reduzcan el consumo de energía durante su fabricación, transporte e instalación, así como aquellos que minimicen su impacto ambiental durante su vida útil y al final de su ciclo de vida.

Algunas de las innovaciones en materiales de construcción incluyen el uso de materiales compuestos, materiales reciclados y reciclables, materiales bio-based derivados de fuentes renovables, materiales inteligentes que responden a cambios en el entorno, y materiales con propiedades térmicas y acústicas mejoradas. Estas innovaciones buscan transformar la forma en que se diseñan, construyen y mantienen los edificios, promoviendo la sostenibilidad y la eficiencia en toda la industria de la construcción (Pinto, 2024).

4. Impacto ambiental de los materiales de construcción

El impacto ambiental de los materiales de construcción se refiere a las consecuencias que la extracción, fabricación, transporte, uso y disposición final de los materiales de construcción tienen en el medio ambiente. Este impacto puede manifestarse a través de la emisión de gases de efecto invernadero, el consumo de recursos naturales, la generación de residuos, la contaminación del aire y del agua, así como la degradación del entorno natural.

La evaluación del impacto ambiental de los materiales de construcción es fundamental para comprender y mitigar su huella ecológica a lo largo de su ciclo de vida completo. Esto implica analizar los procesos de producción, la energía incorporada, las emisiones de CO₂, el agotamiento de recursos naturales, la toxicidad de los materiales y su capacidad para ser reutilizados, reciclados o compostados al final de su vida útil (ecozap, 2023).

Figura 14. La pirámide de materiales de construcción.



Fuente: CINARK, 2023

En la actualidad, existe una creciente conciencia sobre la importancia de reducir el impacto ambiental de los materiales de construcción y promover prácticas de construcción más sostenibles. Esto ha llevado al desarrollo de certificaciones ambientales, normativas más estrictas y la adopción de prácticas de diseño y construcción que priorizan la selección de materiales de bajo impacto ambiental y la optimización del rendimiento ambiental de los edificios (AlphaHardin, 2023).

5. Normativas y estándares relacionados con materiales de construcción

En la ciudad de Guatemala, las normativas y estándares relacionados con materiales de construcción se establecen y regulan principalmente a través de diferentes instituciones gubernamentales y entidades de normalización. Algunas de las normativas y estándares más relevantes incluyen:

- o Normas Técnicas Guatemaltecas (NTG): dentro de las normas relacionadas con materiales de construcción, destaca la norma NTG 41001, la cual establece los requisitos para el cemento Portland ordinarios, que es uno de los materiales fundamentales en la construcción de estructuras de concreto.

La norma NTG 41003 establece las especificaciones para el acero de refuerzo utilizado en estructuras de concreto armado, incluyendo requisitos de composición química,

propiedades mecánicas y tolerancias dimensionales. Además, la NTG 41004 define muros y paredes, incluyendo dimensiones, resistencia a la compresión y absorción de agua. Cabe mencionar la norma NTG 41005, la cual establece las especificaciones para la madera aserrada utilizada en la construcción de estructuras de madera y carpintería, incluyendo requisitos de humedad, dimensiones y resistencia mecánica.

- o Reglamentos de Construcción: dentro de los reglamentos de construcción de Guatemala, algunas normas destacadas que regulan los materiales son:
 - I. Reglamento Nacional de Construcción: el cual establece los requisitos y estándares técnicos que deben cumplir los materiales de construcción utilizados en proyectos en Guatemala. Define aspectos como resistencia, durabilidad, seguridad y calidad de los materiales.
 - II. Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA): Los RTCA incluyen normativas técnicas aplicables a varios aspectos de la construcción, incluyendo materiales. Por ejemplo, el RTCA 11.01.52:07 establece los requisitos de calidad para los bloques y ladrillos de concreto utilizados en la construcción.
 - III. Reglamento de Uso y Aprovechamiento de Materiales Pétreos: Este reglamento regula el uso y la explotación de los materiales pétreos, como la grava y la arena, utilizados en la construcción de carreteras, edificaciones y otras obras de infraestructura.
 - IV. Reglamento Técnico de Edificaciones Sismo Resistentes: Este reglamento establece normas relacionadas con la resistencia sísmica de las edificaciones, incluyendo los requisitos para los materiales estructurales, como el concreto armado y el acero de refuerzo.
 - V. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas: Este reglamento establece las normas y especificaciones técnicas para la instalación de sistemas eléctricos en edificaciones, incluyendo los materiales utilizados en conductores, cables, tableros eléctricos y dispositivos de protección.

E. Energía renovable

1. Definición y Concepto de Energía Renovable

La energía renovable se refiere a aquella obtenida de fuentes naturales que son virtualmente inagotables y que se regeneran de forma continua. A diferencia de los combustibles fósiles, como el petróleo y el carbón, que se agotan con el tiempo y generan impactos ambientales negativos, las fuentes de energía renovable son sostenibles a largo plazo y no contribuyen significativamente a las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las fuentes de energía renovable incluyen la energía solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica y biomasa:

- ✓ La energía solar se obtiene del sol a través de paneles solares fotovoltaicos o térmicos.

- ✓ La energía eólica se produce mediante la captura del viento a través de aerogeneradores.
- ✓ La energía hidroeléctrica se genera mediante el aprovechamiento del flujo de agua en ríos y presas.
- ✓ La energía geotérmica proviene del calor del interior de la Tierra.
- ✓ Y la energía de biomasa se deriva del aprovechamiento de materia orgánica, como residuos agrícolas o forestales.

Estas fuentes de energía renovable son fundamentales en la transición hacia un modelo energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Además de ser limpias y abundantes, las energías renovables ofrecen la oportunidad de reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar los impactos del cambio climático. Su aplicación en la construcción y otros sectores contribuye al desarrollo de una economía más verde y sostenible (UN, 2024).

2. Importancia de la Energía Renovable

La importancia de la energía renovable radica en su capacidad para proporcionar una fuente de energía limpia, sostenible y respetuosa con el medio ambiente. A diferencia de los combustibles fósiles, que contribuyen al calentamiento global y la contaminación del aire, las energías renovables no emiten gases de efecto invernadero durante su producción y uso.

Además de su impacto positivo en el medio ambiente, la energía renovable también es importante por su capacidad de diversificar la matriz energética y reducir la dependencia de los recursos no renovables. Al utilizar fuentes de energía como el sol, el viento, el agua, la tierra y la biomasa, se promueve la seguridad energética y se mitigan los riesgos asociados con la volatilidad de los precios del petróleo y otros combustibles fósiles.

Otro aspecto relevante es el potencial económico y social de las energías renovables. La creación de empleo en el sector de las energías renovables, la reducción de los costos de energía a largo plazo y el acceso a la energía en áreas remotas son algunas de las ventajas económicas y sociales que ofrecen estas tecnologías (Acciona, 2023).

F. Domótica y automatización

1. Definición y Concepto de Domótica

La domótica es un conjunto de tecnologías aplicadas en el hogar para automatizar y controlar diversos sistemas y dispositivos, como la iluminación, la climatización, la seguridad y el entretenimiento. Esta automatización permite gestionar de forma centralizada y remota las funciones del hogar, mejorando la comodidad y eficiencia de los residentes.

Además, los sistemas de domótica pueden ser controlados mediante dispositivos móviles, interfaces de usuario o comandos de voz, lo que proporciona un mayor nivel de control sobre el entorno doméstico. La integración de la domótica en los hogares modernos está destinada a mejorar la calidad de vida de los residentes al ofrecerles un ambiente más cómodo, seguro y eficiente (rpizarro i, 2014).

Figura 15. Domótica.



Fuente: rpizarro, 2014

2. Principios de la Domótica y Automatización

Estos principios incluyen la interconexión de dispositivos y sistemas, la centralización del control, la programación y la automatización de tareas.

- ❖ La interconexión permite que diferentes dispositivos y sistemas se comuniquen entre sí, lo que facilita la integración y la coordinación de las funciones del hogar.
- ❖ La centralización del control implica la consolidación de la gestión de los sistemas domésticos en una interfaz centralizada, como un panel de control o una aplicación móvil, que proporciona a los usuarios un acceso fácil y conveniente a todas las funciones del hogar.
- ❖ La programación permite establecer horarios y rutinas automáticas para las diversas funciones domésticas, como la iluminación y la climatización, lo que optimiza el uso de los recursos y mejora la eficiencia energética.
- ❖ La automatización de tareas permite que los sistemas domóticos realicen acciones de manera autónoma en respuesta a ciertos eventos o condiciones predefinidas, lo que brinda conveniencia y ahorro de tiempo a los usuarios.

Estos principios son fundamentales para el diseño y la implementación efectiva de sistemas de domótica y automatización en los hogares.

3. Beneficios de la domótica y la automatización

Entre los beneficios se encuentran la comodidad y conveniencia para los usuarios, ya que les permite controlar y monitorear diferentes funciones del hogar desde un solo lugar, como la iluminación, la climatización, la seguridad y los electrodomésticos, a través de interfaces intuitivas como aplicaciones móviles o paneles de control centralizados.

Además, pueden mejorar la eficiencia energética al optimizar el uso de recursos, como la electricidad y el agua, mediante la programación de horarios y la regulación inteligente de los dispositivos. Esto puede conducir a un ahorro significativo en los costos de energía a largo plazo.

Otro beneficio importante es la seguridad, ya que los sistemas domóticos pueden incluir funciones de monitoreo y detección de intrusiones, incendios o fugas de gas, lo que permite una respuesta rápida y eficaz ante emergencias.

Por otra parte, la domótica puede mejorar la accesibilidad para personas con discapacidades o movilidad reducida al proporcionar controles y dispositivos adaptativos que facilitan su vida diaria (Lora Arquitectos, 2023).

Figura 16. Papel de la domótica en la arquitectura sostenible.



Nota. Adaptada de Lora Arquitectos (2023)

En resumen, los beneficios de la domótica y la automatización incluyen la comodidad, la eficiencia energética, la seguridad y la accesibilidad, lo que mejora la calidad de vida en el hogar.

4. Integración de la domótica en edificios sostenibles

Se refiere a la incorporación de sistemas de automatización y control inteligente en la infraestructura de edificaciones enfocadas en la sostenibilidad. Esta integración busca mejorar la eficiencia energética, la comodidad y la seguridad de los usuarios, al tiempo que

reduce el impacto ambiental del edificio. Los sistemas domóticos pueden controlar y monitorear diversos aspectos, como la iluminación, la climatización, la gestión del agua, la seguridad, la gestión de residuos, entre otros.

De esta manera, al utilizar tecnologías avanzadas y dispositivos conectados, la domótica permite optimizar el consumo de energía y recursos, adaptando automáticamente el funcionamiento de los sistemas según las necesidades específicas y las condiciones ambientales. La integración de la domótica en edificios sostenibles contribuye a crear entornos habitables más eficientes, confortables y respetuosos con el medio ambiente, al tiempo que promueve la adopción de prácticas responsables en el uso y gestión de recursos.

G. Entorno Inmobiliario y Edificios de Apartamentos en Guatemala

1. Descripción del Mercado Inmobiliario Guatemalteco

El mercado inmobiliario de la Ciudad de Guatemala se destaca por su diversidad y dinamismo, ofreciendo una amplia variedad de propiedades en venta o alquiler. La ciudad se encuentra dividida en diferentes áreas, cada una con su propio carácter y encanto distintivo. Las zonas más atractivas para inversiones inmobiliarias son la Zona 10, la Zona 14 y la Zona 15, conocidas por sus vecindarios de alto nivel, infraestructura moderna y su proximidad a centros comerciales y culturales.

De acuerdo a estadísticas recientes, el precio promedio por metro cuadrado de una propiedad residencial en Ciudad de Guatemala se sitúa en torno a los mil doscientos dólares. No obstante, es importante destacar que los costos pueden fluctuar considerablemente dependiendo de la ubicación, las dimensiones y la condición de la propiedad. Además, es relevante mencionar que existe una alta demanda de viviendas amuebladas en un mercado de alquiler robusto. (Kurby, 2023)

Figura 17. Fuente: Guatemala Green Building Council.



Elaboración propia

2. Tipología de Edificios de Apartamentos en Guatemala

Una de las principales bondades de optar por un apartamento radica en su practicidad y, por lo general, en su costo más asequible en comparación con una residencia convencional. Esta elección resulta ideal si se está preparado para establecer un patrimonio, pero no se

requiere tanto espacio y se carece de los recursos temporales y financieros necesarios para mantener una vivienda tradicional.

Es por eso por lo que, actualmente, existen distintos tipos de departamentos que varían en tamaño, precio y propósito de uso, de los cuales se pueden elegir según el estilo de vida al que se esté acostumbrado o bien se aspire obtener.

Tipos de departamento:

- Estudio/estudio convertible
- Departamento de interés social
- Loft
- Duplex o Triplex

3. Necesidades y Desafíos en la Construcción de Edificios de Apartamentos

Hoy en día, la construcción vertical principalmente para vivienda ha venido evolucionando cada vez más, por todas las facilidades y comodidades que implica vivir en comparación con las casas. Sin embargo, uno de los principales desafíos es garantizar que estos proyectos estén bien ubicados y asequibles para los usuarios. (Planos, 2012)

Además, uno de los desafíos más destacados es la necesidad de integrar prácticas de sostenibilidad y eficiencia energética en estos proyectos. A medida que la conciencia ambiental y la legislación en torno a la sostenibilidad se vuelven más estrictas, los constructores deben adaptarse para cumplir con estas normativas y satisfacer las expectativas de los compradores conscientes del medio ambiente.

Esto incluye la implementación de tecnologías y materiales de construcción sostenibles, así como la optimización de los sistemas de gestión de energía y residuos. Además, la eficiencia energética y la calidad del aire interior son aspectos cruciales para la habitabilidad de los edificios de apartamentos, y garantizar estos estándares es un desafío constante.

Figura 18. La ventilación mecánica con recuperador de calor imprescindible para asegurar el confort y la calidad del aire interior en los edificios de alta eficiencia energética.



Fuente: Vega, 2018

H. Building Information Modeling (BIM)

1. Beneficios de la Metodología BIM

La Metodología BIM aporta ventajas fundamentales en la construcción de edificios de apartamentos en Guatemala. En primer lugar, **mejora la colaboración** al permitir que profesionales diversos, es decir desde arquitectos e ingenieros hasta contratistas y proveedores de materiales, compartan un modelo digital centralizado en tiempo real, reduciendo demoras y errores costosos.

En segundo lugar, BIM **optimiza el diseño y la eficiencia energética**. Los edificios de apartamentos deben ser eficientes en términos de espacio y recursos, y deben cumplir con estándares cada vez más estrictos en eficiencia energética. BIM permite a los diseñadores evaluar el rendimiento energético de un edificio durante todas las etapas del proyecto, lo que incluye la identificación de soluciones de diseño que minimizan el consumo de energía y la maximización del uso de energías renovables.

Por su parte, BIM no solo beneficia la fase de diseño, sino que también **optimiza la planificación y reduce costos y tiempos de construcción**, anticipando posibles problemas en el sitio de construcción. En resumen, BIM mejora la colaboración, promueve la eficiencia energética y optimiza los procesos para la construcción de viviendas más sostenibles y eficientes (LAZKANO, 2023).

2. Dimensiones de la Metodología BIM

A. BIM 3D (Diseño Tridimensional)

Es la representación tridimensional de todos los elementos de un edificio, incluyendo su estructura, instalaciones, interiores y exteriores. Permite a los profesionales involucrados visualizar el proyecto de manera más realista, lo que facilita la detección temprana de conflictos de diseño, mejorando la precisión y reduciendo errores costosos. Además, esta dimensión sirve como base para la simulación de eficiencia energética y planificación de la construcción.

B. BIM 6D (Sostenibilidad y Eficiencia Energética)

Esta dimensión integra información sobre rendimiento ambiental, gestión de energía y ciclo de vida del edificio. Esto es esencial para la construcción de edificios de apartamentos en Guatemala, donde la sostenibilidad y la eficiencia energética son prioritarias. Con BIM 6D, los profesionales pueden optimizar el uso de recursos, energía y materiales a lo largo del ciclo de vida del edificio, incluyendo construcción, operación, mantenimiento y desmantelamiento.

Figura 19. BIM 6D y sostenibilidad.



Fuente: Editorial Team, 2021

La sexta dimensión del BIM implica la creación de un modelo energético integral que detalla los sistemas clave del edificio. A través de este análisis, se calculan y evalúan parámetros técnicos como la demanda de energía, la eficiencia de los sistemas y las emisiones de carbono. La evaluación del ciclo de vida se centra en la huella de carbono, el uso de recursos y la durabilidad de los materiales.

Estos datos son fundamentales para tomar decisiones cruciales en la selección de materiales y sistemas energéticos, así como el diseño de interiores, buscando optimizar recursos y minimizar el impacto ambiental (BibLus, 2021).

3. Ciclo de vida de un Proyecto

El ciclo de vida de un proyecto en la construcción de edificios de apartamentos en Guatemala es una consideración fundamental para garantizar la sostenibilidad y la eficiencia energética a lo largo del tiempo. Este ciclo se divide en varias fases, cada una con sus propias particularidades:

I. Fase de Diseño y Planificación

En esta etapa inicial, se definen los objetivos del proyecto y se establecen los parámetros de diseño. Es crucial considerar la eficiencia energética y la sostenibilidad desde el principio. Se deben tener en cuenta las estrategias de diseño bioclimático, la selección de sistemas de climatización eficiente y la integración de energías renovables. También se establecen los estándares de sostenibilidad que el proyecto debe cumplir.

II. Fase de Construcción

Durante esta fase, se materializa el diseño del edificio. La eficiencia energética se vuelve relevante a través de prácticas constructivas que minimizan el desperdicio de materiales y energía. La coordinación precisa entre los equipos de construcción se facilita mediante la metodología BIM, lo que ayuda a garantizar la implementación de estrategias de eficiencia energética y sostenibilidad.

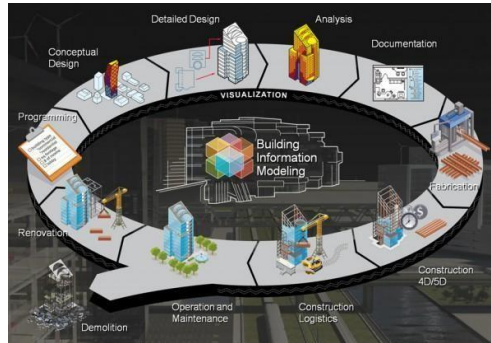
III. Fase de Operación y Mantenimiento

Una vez que el edificio de apartamentos está en funcionamiento, esta fase es crítica para mantener los niveles de eficiencia energética. La monitorización constante de los sistemas de climatización, la gestión de residuos y el mantenimiento preventivo son esenciales para garantizar un rendimiento sostenible a lo largo del tiempo.

IV. Fase de Fin de Vida y Desmantelamiento

Finalmente, cuando un edificio llega al final de su vida útil, es crucial gestionar su desmantelamiento y la eliminación de sus componentes de manera sostenible. Esto incluye la recuperación de materiales y la minimización de residuos (Solop, 2024).

Figura 20. ¿Qué es el BIM?.



Fuente: KAIZEN, 2024

V. METODOLOGÍA

La implementación de la metodología BIM para la etapa de sostenibilidad en la construcción de vivienda vertical en la ciudad de Guatemala dio la oportunidad de conocer el comportamiento de un edificio desde el punto de vista energético. Aunque existen múltiples desafíos en la construcción vertical, como la ubicación adecuada y la accesibilidad para los usuarios, la necesidad de integrar prácticas de sostenibilidad y eficiencia energética se destaca.

Uno de los puntos fuertes de Revit desde el punto de vista del 6D es que permite introducir cambios en cualquier etapa del ciclo de vida de un edificio, en este caso de apartamentos, gracias a un flujo de trabajo a seguir que es el siguiente:

1. Modelado
2. Configuración energética
3. Modelo energético

Cada etapa dependió una de la otra ya que a cada una le correspondió un análisis previo y en la segunda etapa es donde se verificó si el modelo que se estaba considerando cumplía con las afirmaciones que nos brindaba la herramienta de Autodesk: Forma.

Por lo tanto, estos escenarios son los que marcaron cómo se introdujo la información, la forma en que se integró el análisis bioclimático con el fin de determinar si las horas solares, el estado del viento, el confort y entre otros factores, fueran los adecuados para el modelo. Sin embargo, se presentaron casos contrarios y, por lo tanto, se justificó el por qué no está bien y qué se debía hacer para su mejora, ya sea interiores o exteriores para que el arquitecto o ingeniero analice y corrija o bien cambiar planos (Rodríguez, 2019).

Cada escenario está compuesto por fases en las que se manejó el progreso de este tipo de vivienda. Para tener un mejor concepto sobre lo mencionado anteriormente, se llevó a cabo en 4 etapas de la siguiente manera:

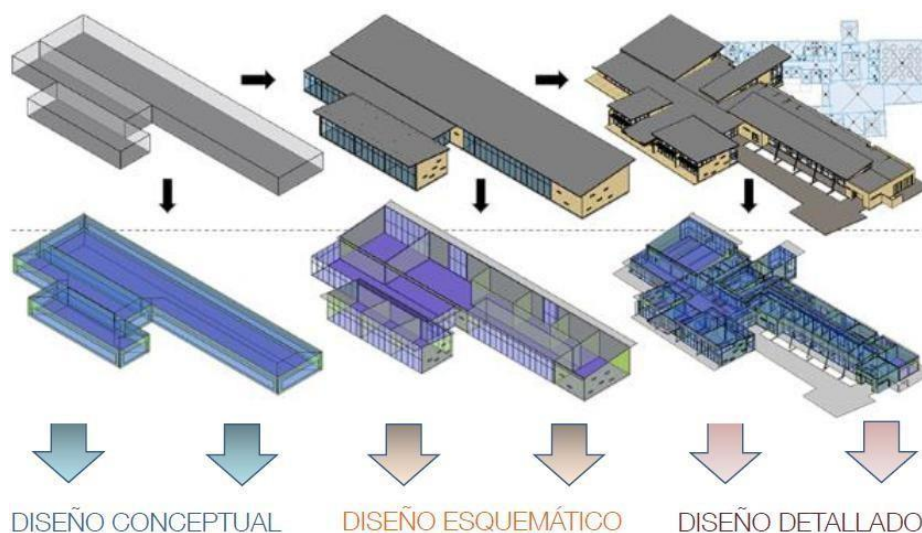
Cuadro 1. Tipos de escenario y diseño.

ESCENARIO 1	Fases iniciales del proyecto donde encontramos muy poca información sobre el edificio.	Diseño conceptual	Masas y gran parte de la información será predefinida por Revit
ESCENARIO 2	En esta fase ya es posible tener el edificio más definido por lo que será posible introducir más parámetros en el edificio.	Diseño esquemático	Elementos constructivos a partir de masas, o no, e información volcada por el usuario y predefinida.
ESCENARIO 3	En esta fase, el proyecto ya tendrá toda la información real del edificio, en cuanto a materiales que lo componen, instalaciones, etc.	Diseño detallado	Elementos constructivos detallados, información real volcada por el usuario.

Fuente: MSI Digital Builders, 2024

Estos resultados no solo proporcionan una comprensión profunda de la sostenibilidad del proyecto, sino que también guían decisiones fundamentales en la selección de materiales, sistemas de energía y diseño de interiores. Es esencial destacar que, para llevar a cabo estos análisis detallados, se emplearon herramientas y un software especializado en modelado energético y evaluación de sostenibilidad.

Figura 21. Relación modelo-diseño.



Fuente: MSI Digital Builders, 2024

Etapa 1: Preparación y Recopilación de Información

Es bien sabido que antes de llevar a cabo un proyecto constructivo debe haber un análisis previo al modelado, y este diseño no es la excepción ya que es bien importante resaltar:

1. **La ubicación** del edificio de apartamentos en el software Forma, establecido sobre la 11 calle de la Avenida Reforma, en zona 10, ciudad de Guatemala. Se garantiza que el análisis energético utilice los datos climáticos adecuados y predominantes para el procedimiento bioclimático.

Se optó por ajustar la inclinación o bien el traslado del edificio a una zona con mayor precisión para las condiciones del sitio, optimizando así el desempeño energético del mismo.

2. En cuanto al **entorno**, no se encontró rodeado por grandes edificaciones, lo que facilitó la entrada de luz natural y ventilación cruzada. A su vez, presentó vegetación y áreas verdes en sus alrededores, lo que contribuyó a la reducción de la contaminación

acústica y mejora la calidad del aire.

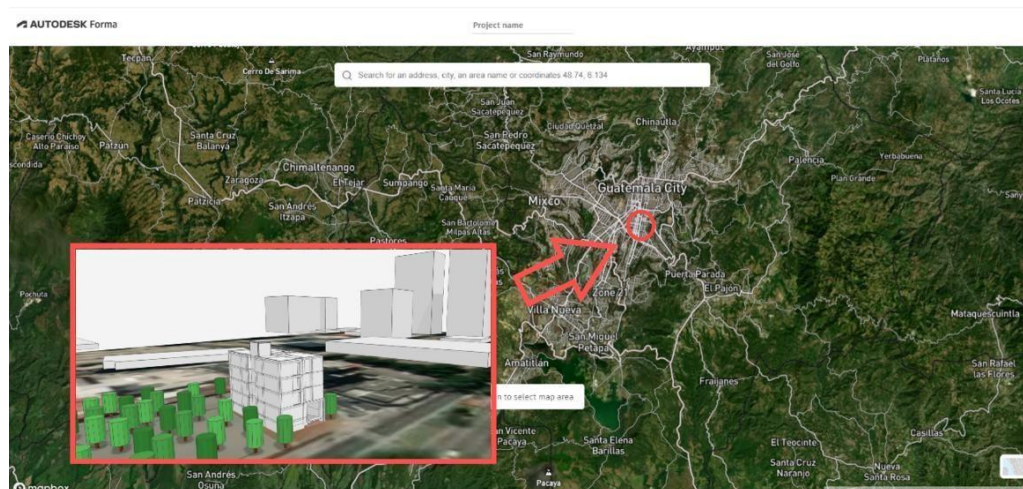
Esta bascosidad del entorno natural circundante no solo fue beneficiosa para el análisis energético y ambiental, sino que también promovió un entorno saludable y agradable para los residentes, aumentando la calidad de vida dentro del complejo habitacional.

3. La **definición del edificio**, el cual es un complejo residencial de apartamentos de 5 niveles, con dimensiones de 20.25 metros de largo por 9.74 metros de ancho. En total, cuenta con 20 unidades habitacionales distribuidas de manera eficiente a lo largo de los cinco pisos. Cada nivel alberga 4 apartamentos que varían en tamaño y configuración, optimizando el espacio disponible.

Los datos de configuración energética se introdujeron en esta etapa, y aunque algunos aspectos específicos podrían ajustarse conforme avance el proyecto, se incluyó la información más precisa disponible para realizar los análisis energéticos iniciales.

Como no se disponían de todos los detalles técnicos definitivos, se utilizaron datos estimados para realizar comparaciones entre distintas opciones de diseño, permitiendo la evaluación de la eficiencia energética de diferentes enfoques, con el fin de seleccionar la solución más adecuada para el rendimiento energético y el confort térmico de los futuros habitantes del edificio.

Figura 22. Ubicación y Entorno (Zona 10, Ciudad de Guatemala).



Fuente: elaboración propia

Como se ha mencionado anteriormente, el proyecto consistió en un edificio multifamiliar en el que se buscó determinar si era eficiente o si cumplía con los requisitos necesarios para un determinado sello o certificación energética.

De esta manera, no se desaprovecharon las grandes ventajas que las herramientas específicas, que se presentaron anteriormente, pueden aportar al edificio con el fin de realizar análisis y pruebas en etapas tempranas del proyecto puesto que cuanto más avanzado se encuentre el proyecto, más caras y menos efectivas serán las intervenciones en él.

Cabe mencionar que ya se optaba con el material de apoyo necesario de GRAVITA, gracias a los permisos solicitados y aprobados por el arquitecto Marco Sampuel: planos, renders, modelado, instalaciones eléctricas, etc. (Rodríguez, 2019)

Figura 23. Vistas de Renderizado, Edificio Gravita, Zona 5.



Fuente: Sampuel, 2024

Etapas 2: Herramientas Específicas de Modelado

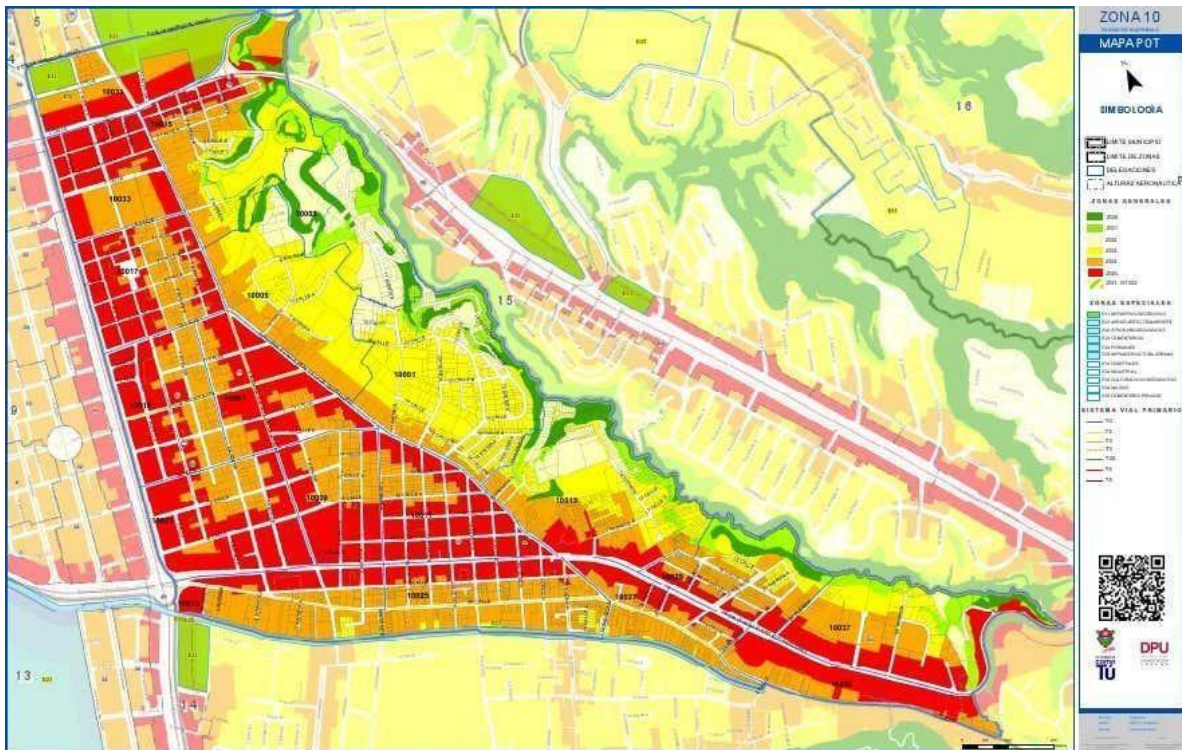
A lo largo de todo el proyecto se manejaron dos herramientas en específico, una especializada de Autodesk: Forma, y la herramienta de Revit para llevar a cabo las modificaciones necesarias conforme se obtenían resultados preliminares de estudios solares, de viento, de la evaluación de cargas energéticas del edificio y un análisis general de la insolación solar que contendrá la estructura.

Estas herramientas, a su vez, permitieron una representación precisa de todos los aspectos técnicos involucrados en la gestión de la eficiencia energética y la sostenibilidad a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Para representarlo de una mejor manera, se detalla a continuación el proceso *general* en el software Forma, el cual permitió comparar los análisis energéticos en diferentes escenarios que tendrá el complejo de apartamentos:

1. Primero, se ubicó dónde se quiere analizar el modelo de apartamentos; en este caso, una zona que contuviera un Plan de Ordenamiento Territorial (POT) G5. Por eso, se trabajó sobre la 11 calle de la Avenida Reforma, zona 10, Ciudad de Guatemala (Municipalidad de Guatemala, 2024).

Figura 24. Plan de Ordenamiento Territorial zona 10.



Nota. Adaptada de Secaida (2017).

2. Luego, se buscó el día más caluroso y el más frío a lo largo del año, medido en °C, y se configuró en Forma. Se corrió el análisis de sun hours y el programa calculó cuántas horas de luz solar recibía la estructura en ambas fechas.

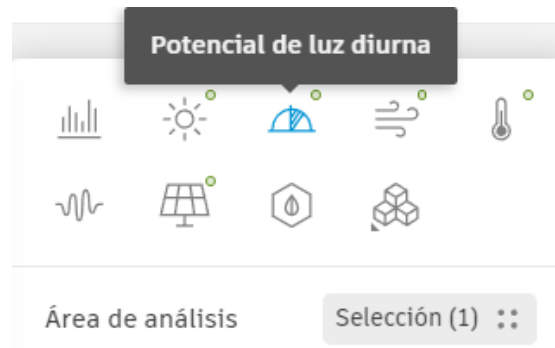
Figura 25. Análisis de radiación solar.



Nota. Elaboración propia.

3. Asimismo, se llevó a cabo el análisis de Daylight potential (Potencial de luz diurna) para ver qué fachadas recibían la suficiente luz para tener iluminación natural.

Figura 26. Potencial de luz diurna.



Nota: Elaboración propia.

Cabe resaltar que dentro de este análisis se tomaron en cuenta condiciones de luz diurna esperadas para diferentes rangos de puntuaciones VSC (Vertical Sky Component), el cual representó la cantidad de cielo visible desde el punto central de una ventana; con el fin de respaldar y confirmar la información obtenida en los resultados:

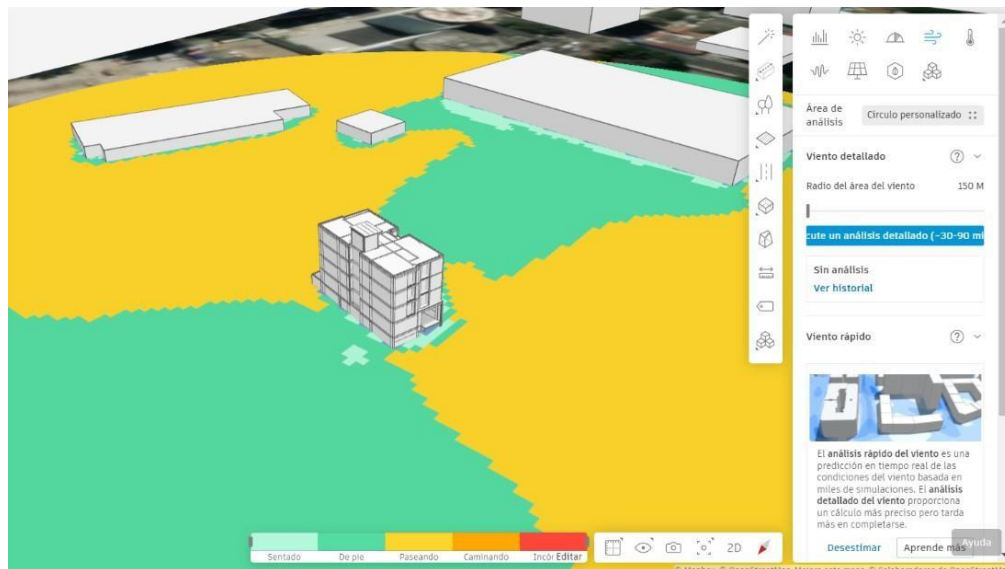
Cuadro 2. Condiciones de luz diurna para rangos de puntuaciones VSC.

Umbral predeterminado de Vertical Sky Component (VSC) - para puntos en fachadas	Condiciones de luz diurna
$VSC \geq 27\%$	El diseño convencional de ventanas suele ser satisfactorio
$15\% < VSC < 27\%$	Por lo general, se necesitan ventanas/cambios de diseño más grandes
$5\% < VSC < 15\%$	Difícil de proporcionar luz diurna adecuada
$VSC < 5\%$	Lograr una luz del día razonable a menudo es imposible

Fuente: Autodesk Forma, 2024

- Se procedió con el análisis de viento, el cual duró un poco más que los demás, pero que indicó si las aperturas eran correctas y si estaba bien orientado el edificio con el fin de crear confort exterior generado por el mismo viento.

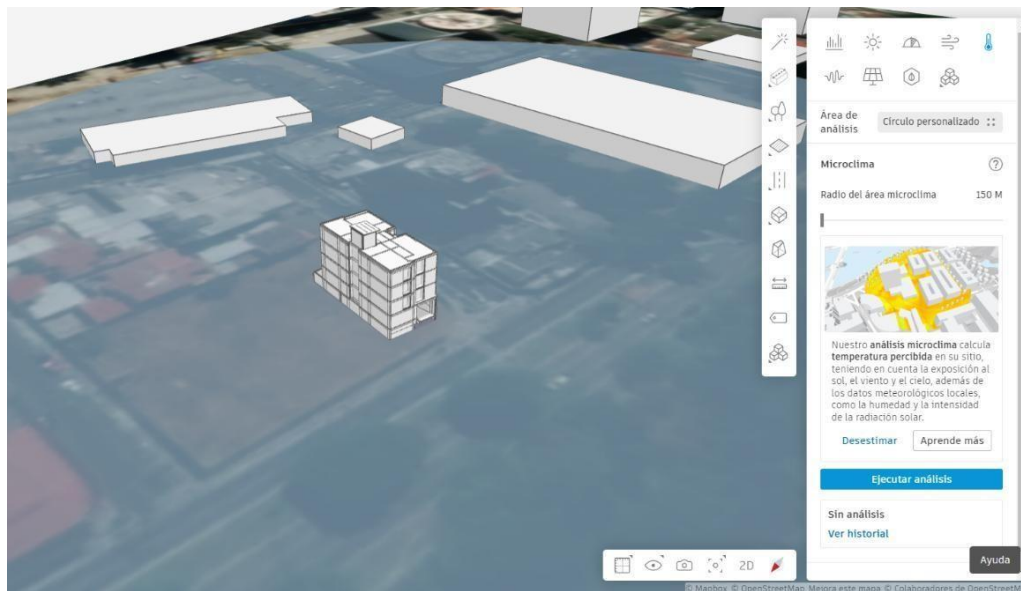
Figura 27. Análisis previo de viento.



Nota: Elaboración propia.

5. Finalmente, se llevó a cabo el análisis de microclima, el cual nos ayudó a entender el exterior y cómo las temperaturas dependiendo de lo externo podían elevarse.

Figura 28. Análisis previo de microclima.



Nota: Elaboración propia.

Etapa 3: Propuesta de Mejora y Modelado

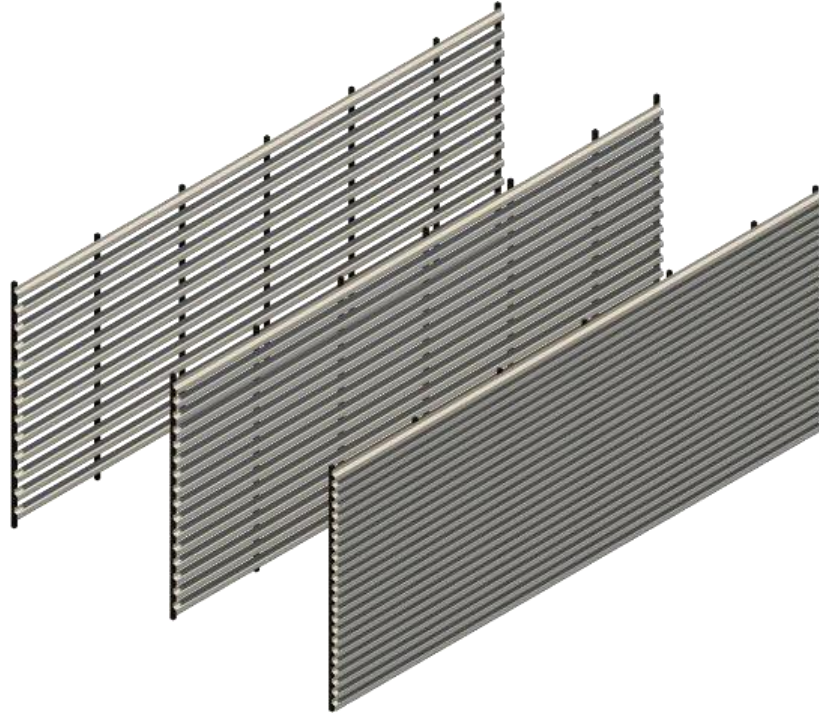
Se presentó una propuesta de mejora, validada y respaldada por la asesora a este caso, para cada tipo de análisis y se compararon las mejoras de propuestas anteriores con remodelaciones aplicadas en las fachadas del modelo.

Esto no solo permitió observar ambos casos, sino que también determinó si cada zona cumplía con las siguientes afirmaciones a continuación y también proponer soluciones específicas para reducir el consumo de energía y promover prácticas sostenibles.

La propuesta de mejora que se propuso para llevar a cabo la mejora a la edificación fue la siguiente:

Existe protección solar a través de parteluces y voladizo lo que hace que las paredes y la ventanería trasera no reciban más de 5 horas solares (confort asegurado). Por lo tanto, en las fachadas noroeste y suroeste se agregaron parteluces como protección solar con el fin de dar una nueva vida a la ventanería, iluminadas y ventiladas, así como espacios que renovaron el confort del residente.

Figura 29 y 30. Celosía de madera de INPPA en BIM.



Fuente: catálogoarquitectura, 2024

Además, se optó por una pérgola bioclimática como cubierta para la entrada de iluminación directa en las fachadas suroeste y sureste ya que comprende un diseño minimalista estando pensada para responder al deseo de combinar dos ventajas: protección y bienestar.

Figura 31. Pérgola bioclimática.



Fuente: acristalia, 2024

Se consideró, a su vez, que la vegetación y las áreas verdes en los alrededores contribuiría a la reducción de la contaminación acústica y mejora en la calidad del aire.

Ejemplo de arbolado circundante

Figura 32. Un edificio con árboles creciendo a su alrededor.



Nota: Elaboración propia.

Etapa 4: Análisis de Resultados

Una vez analizado el modelo en Forma y habiendo hecho los análisis de horas solares, luz diurna, de viento y de microclima, se procedió a realizar los cambios respectivos y necesarios por medio de Revit ya que la finalidad de realizar todo con esta herramienta, integrando BIM claramente, es poder generar un modelo integrado con ingeniería civil, hidráulico, eléctrico, especialistas, etc. con la finalidad de que luego de que se corran los análisis se les indique qué cambios deben de hacerse, ya sea interiores o exteriores para que ellos puedan analizar y corregir o cambiar planos.

Asimismo, se logró ver cuánto se pudo ahorrar y ver qué mejoras se pudieron hacer respecto a, por ejemplo, materiales que tuvieran mucho aislamiento y baja transmisión térmica (U) ya que mientras más baja sea mejor aislamiento van a tener las fachadas de la edificación. Además, el análisis de viento nos indicó si la orientación es la adecuada y se implementó una mejora con la instalación ya sea de parteluces, voladizos, ventanería, entre otros.

Por lo tanto, se logró cumplir con el objetivo general desplegando a detalle los objetivos específicos con el fin de demostrar que es posible optimizar la distribución interna reduciendo el consumo energético y, como consecuencia, mejorar el confort de los habitantes.

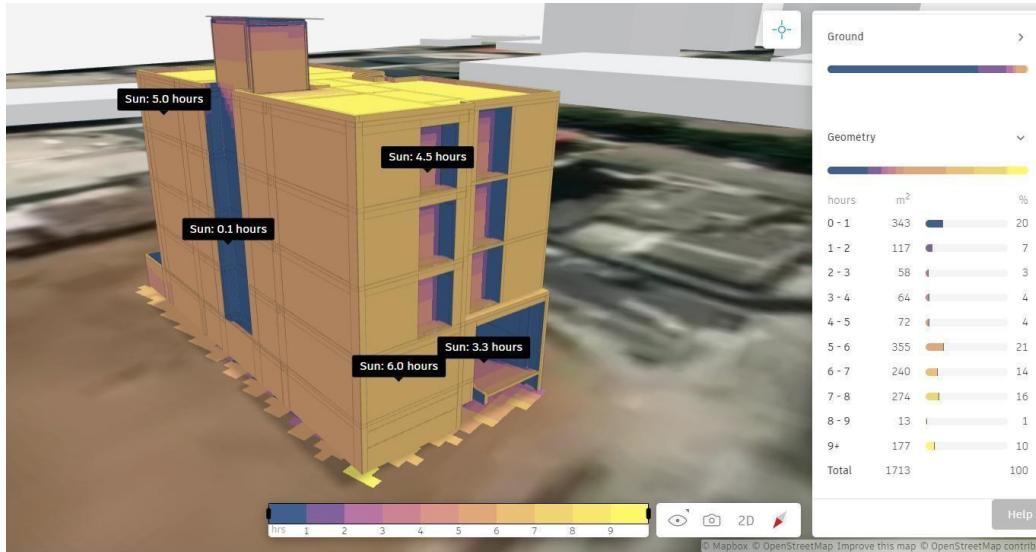
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados previos a la propuesta de mejora demostrando el proceso de análisis y modelado bioclimático del edificio de apartamentos:

Incidencia solar en fachadas en abril (15 abril temperatura 27°C)

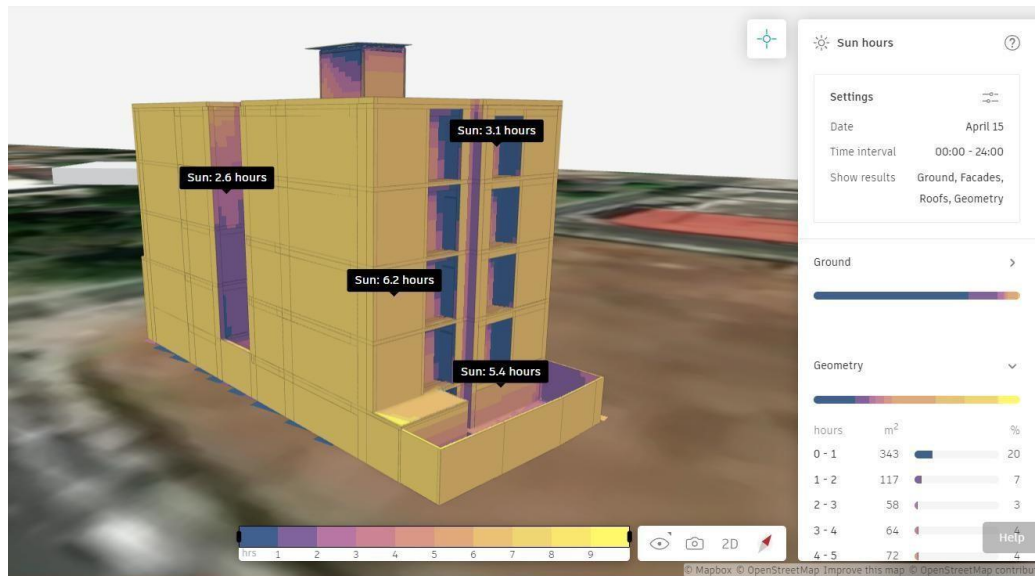
Fachada Frontal Noreste y noroeste

ANTIGUA FACHADA 15 abril



Análisis de horas solares. Nota: Elaboración propia.

Fachada Trasera Sureste y suroeste

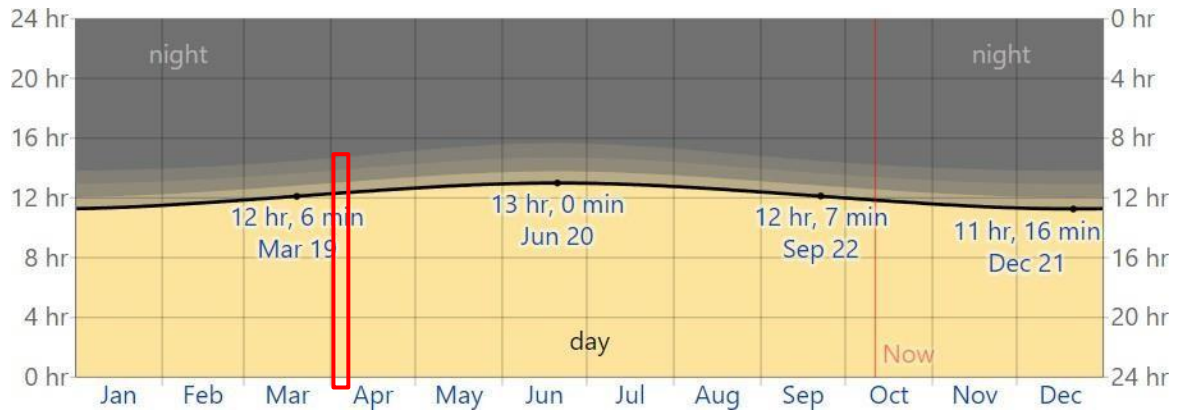


Análisis de horas solares. Nota: Elaboración propia.

Fachadas Críticas (Noroeste y suroeste)

Época de Verano

Tiempo solar: 6:00 am – 18:00 hrs. = 12 horas solares



Tiempo solar verano. Nota: Elaboración propia.

Fachadas Noroeste – 6 hrs / 12



Fachada crítica Noroeste. Nota: Elaboración propia.

Fachada Suroeste – 6.2 hrs / 12



Fachada crítica suroeste. Nota: Elaboración propia.

Fachadas No críticas (Noreste y sureste)

Tiempo solar: 6:00 am – 18:00 hrs. = 12 horas solares

Fachada Noreste – 3.4 hrs / 12



Fachada no crítica Noreste. Nota: Elaboración propia.

Sureste – 4.4 hrs / 12



Fachada no crítica Sureste. Nota: Elaboración propia.

Cuadro 3. Tabla de Incidencia y Protección de Horas Solares Abril (Antigua Fachada).

FACHADA	HRS SOLARES	% INCIDENCIA	% PROTECCIÓN
SURESTE	4.4	36.7%	BAJO
SUROESTE	6.2	51.7%	ALTO
NORESTE	3.4	28.3%	BAJO
NOROESTE	6.0	50.0%	ALTO

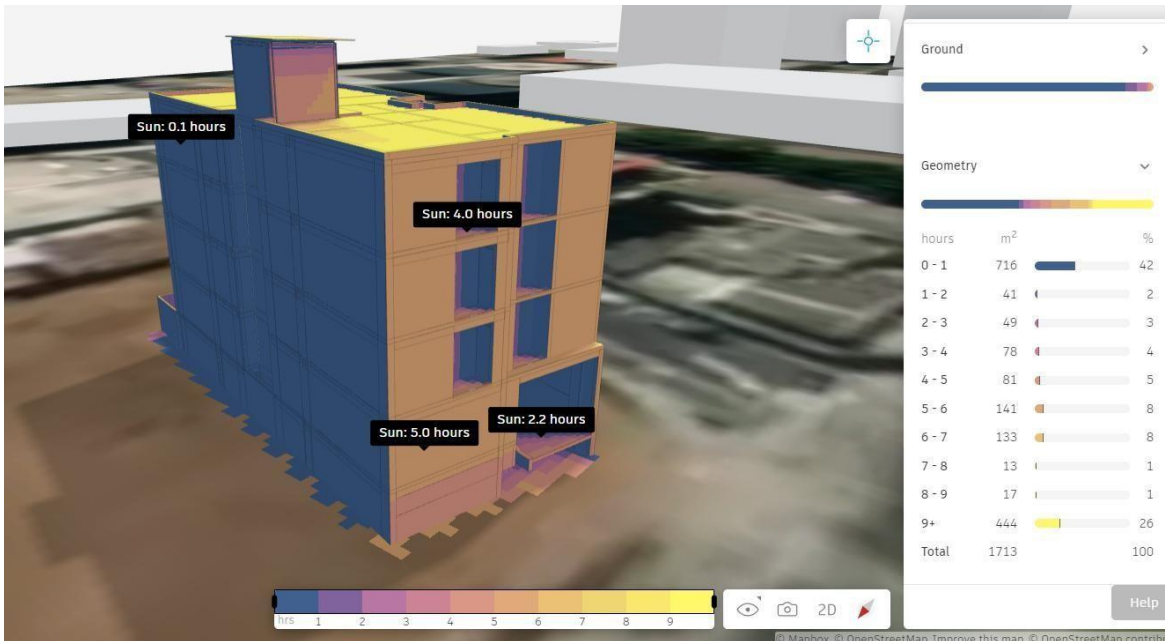
Fuente: Excel.

*Se debe de considerar una buena protección solar (*Parteluces, voladizos, buen cerramiento y ventanería con baja transmitancia térmica (U)*) al tener más de 5 horas solares en fachada.

Incidencia solar enero (14 enero temperatura 23°C)

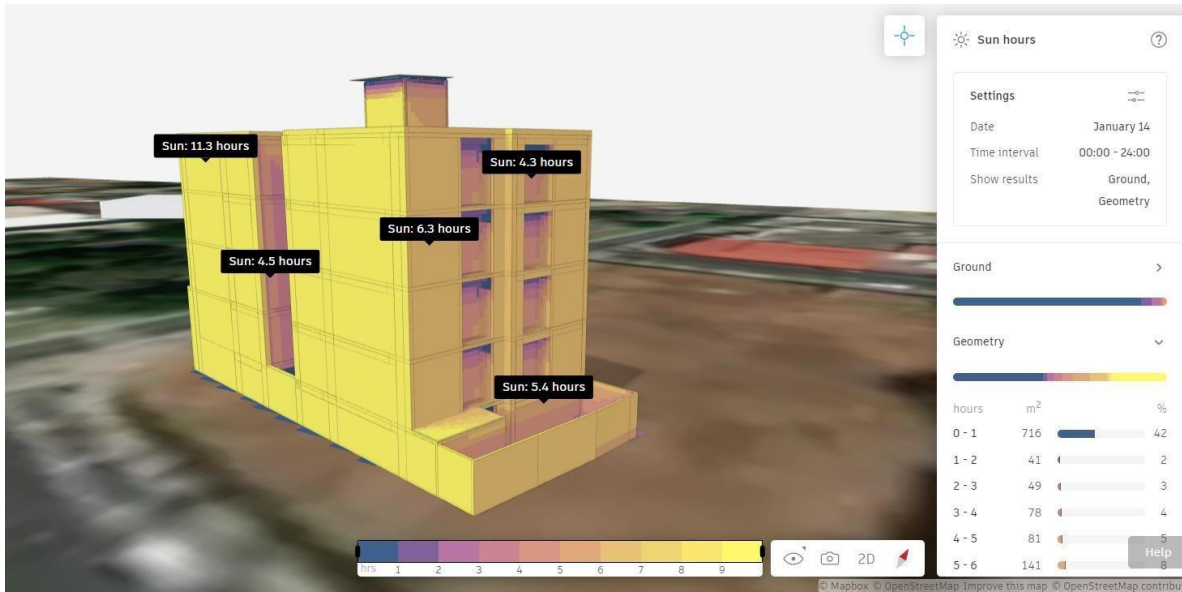
ANTIGUA FACHADA 14 enero

Fachada Frontal Noreste y noroeste



Análisis Solar Fachada Frontal. Nota: Elaboración propia.

Fachada Trasera Sureste y suroeste



Análisis Solar Fachada Trasera. Nota: Elaboración propia.

Fachadas Críticas (Suroeste)

Época de Invierno

Tiempo solar: 6:00 am – 17:00 hrs. = 11 horas solares



Tiempo solar invierno. Nota: Elaboración propia.

Fachada Suroeste – 6.3 hrs / 11



Análisis Solar Fachada Suroeste. Nota: Elaboración propia.

Fachadas no críticas (noreste y noroeste)

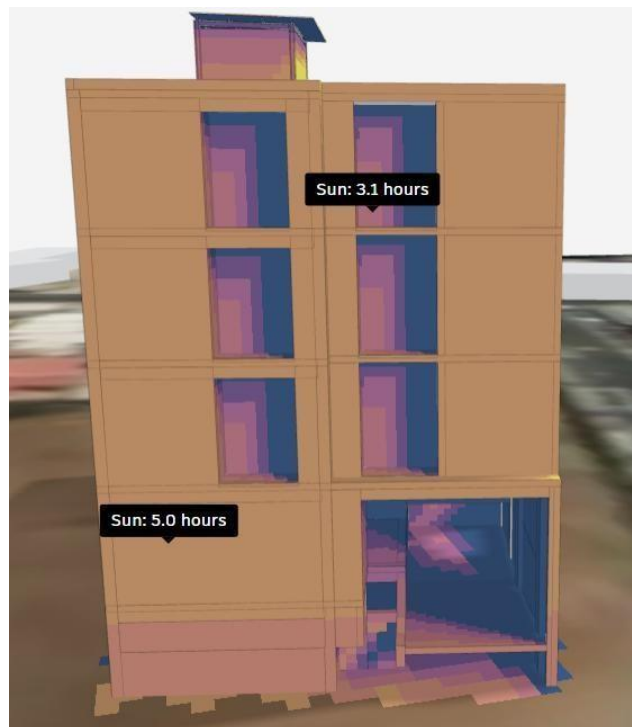
Tiempo solar: 6:00 – 18:00 h. = 12 horas solares

Fachada noreste – 0.1 h / 11



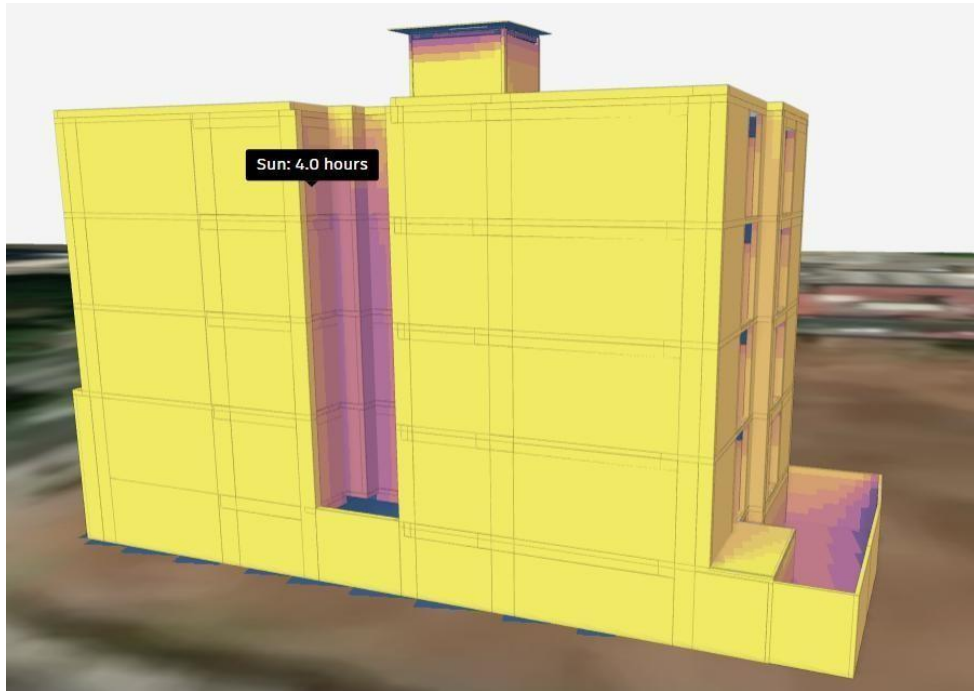
Análisis solar fachada noreste. Nota: Elaboración propia.

Fachada noroeste – 5 h / 11



Análisis solar fachada noroeste. Nota: Elaboración propia.

Fachada Sureste – 4.0 h / 11



Análisis Solar Fachada Sureste. Nota: Elaboración propia.

Cuadro 4. Tabla de Incidencia y Protección de Horas Solares Enero (Antigua Fachada).
Fuente: Excel.

FACHADA	HRs SOLARES	% INCIDENCIA	% PROTECCIÓN
SURESTE	4.0	36.4%	BAJO
SUROESTE	6.3	57.3%	MEDIO
NORESTE	0.1	0.9%	BAJO
NOROESTE	5.0	45.5%	MEDIO

*Tener en cuenta que el material de cerramiento debe de tener un buen aislante térmico para no generar ganancias térmicas internas (revisar comparativo de materiales de cerramiento)

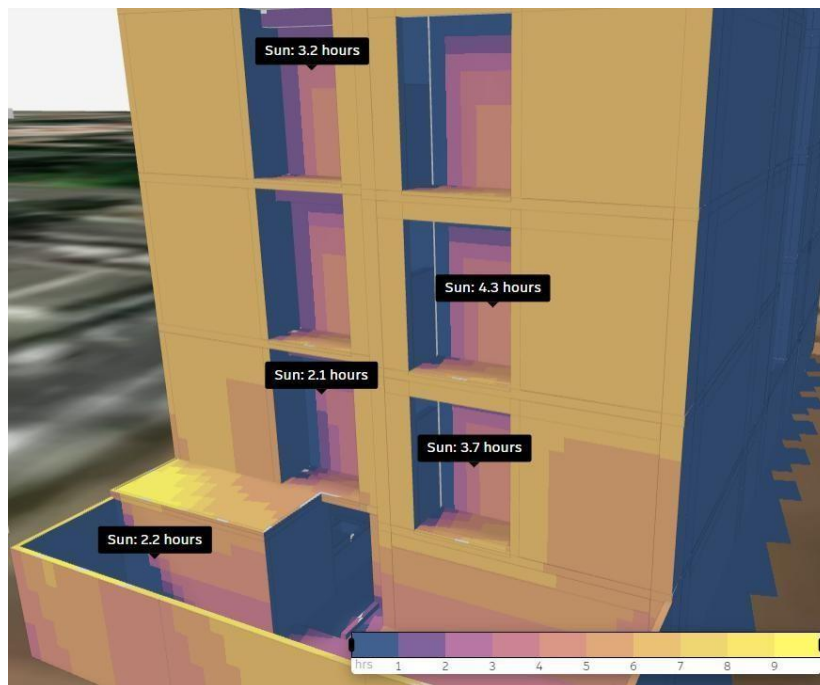
De acuerdo a los análisis obtenidos de ambas fechas, las fachadas del 15 de abril presentan una mayor radiación solar en comparación al 14 de enero ya que presenta menos horas solares debido a la época del año. Por lo tanto, se debe tener en consideración que las fachadas al suroeste y al noroeste son las más propensas a recibir mayor radiación solar por el día. Fachadas que reciben más de 5 horas solares y, de esta manera, deben ser protegidas por parteluces/voladizos y materiales con baja transmitancia térmica.

Además en algunas zonas de ventanería se vuelven críticas las horas solares y tanto la propuesta de mejora como los cambios a realizar son cruciales ya que estos resultados serán importantes para comprender las condiciones de vida futuras de los residentes del edificio.

Debido a algunos voladizos y ventanas que presenta el edificio, se puede asegurar que el interior no recibe radiación solar directa, considerándolo un espacio de confort.



Horas solares Fachada frontal interna. Nota: Elaboración propia.



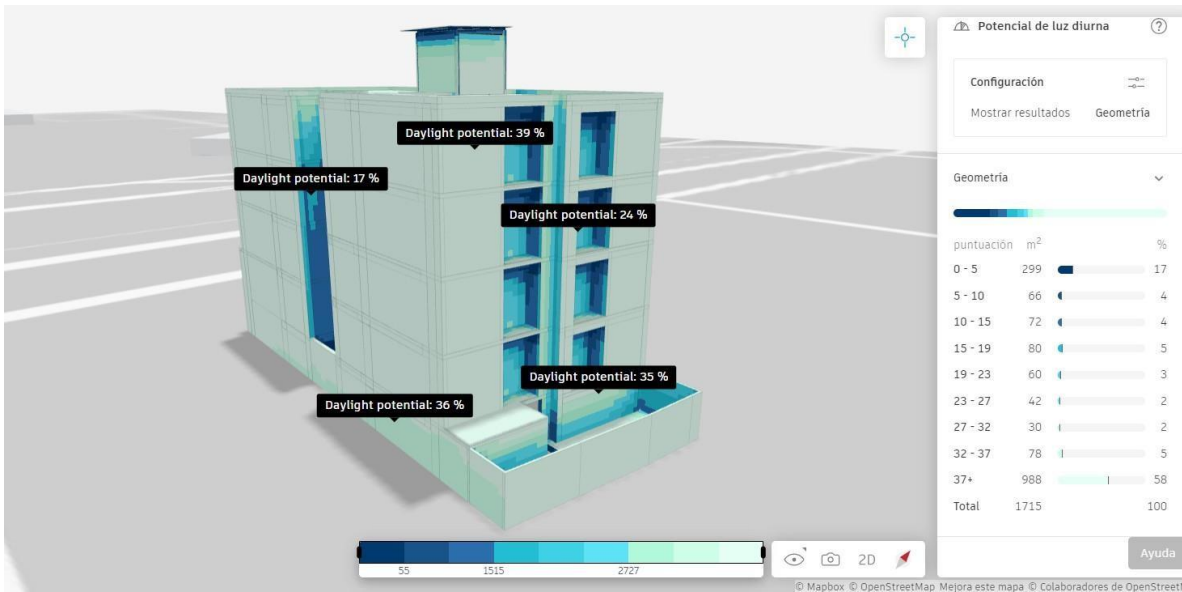
Horas solares Fachada trasera. Nota: Elaboración propia.

Fachada Frontal Noreste y noroeste



Porcentajes de luz diurna Fachada frontal. Nota: Elaboración propia.

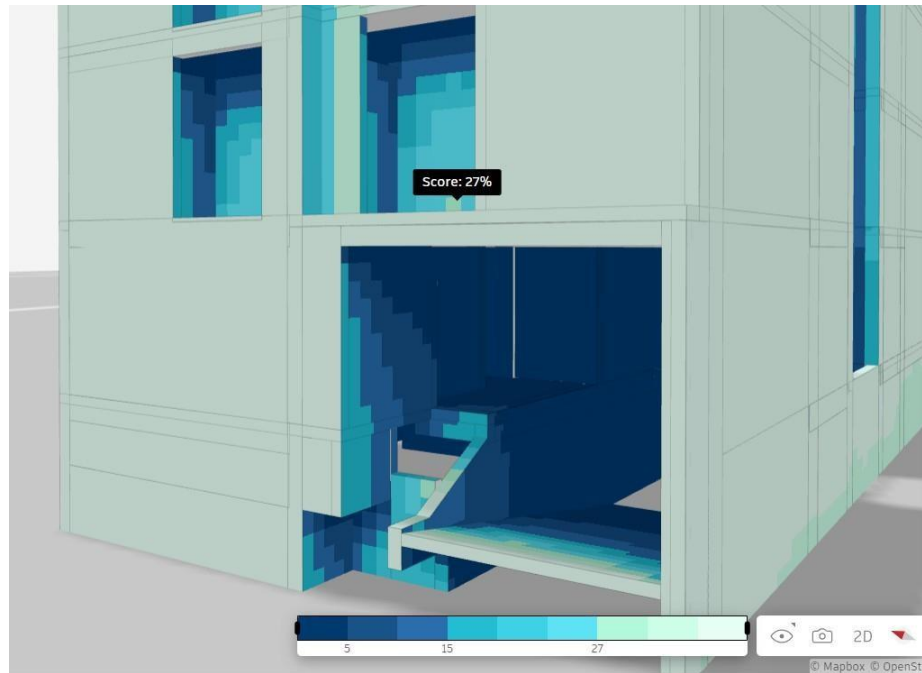
Fachada Trasera Sureste y suroeste



Porcentajes de luz diurna Fachada trasera. Nota: Elaboración propia.

Con el análisis de potencial de luz solar podemos establecer si las áreas reciben suficiente radiación solar para poder generar iluminación natural en su interior.

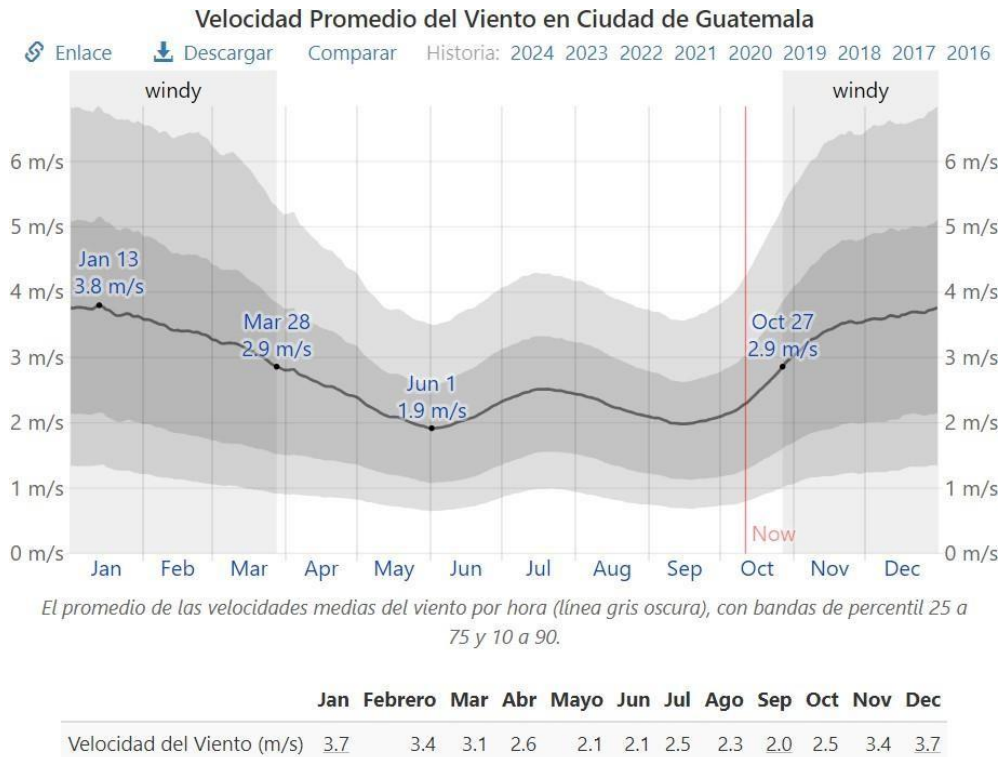
Según el análisis las fachadas con mayor radiación solar (suroeste y noroeste) tiene un potencial de luz natural del 39%-40% lo cual indica que al generar las aperturas en fachada sureste y noreste ayudará a brindar iluminación natural generando eficiencia energética al no tener que tener iluminación artificial 24/7.



Demostración para generar iluminación natural. Nota: Elaboración propia.

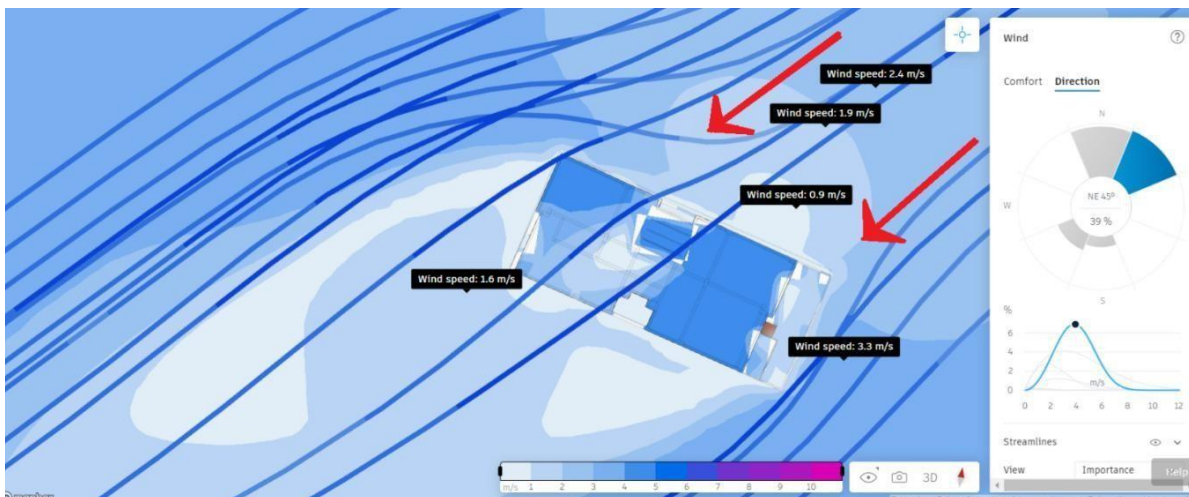
Análisis de Vientos Predominantes y Confort del suelo

ANTIGUO ANÁLISIS



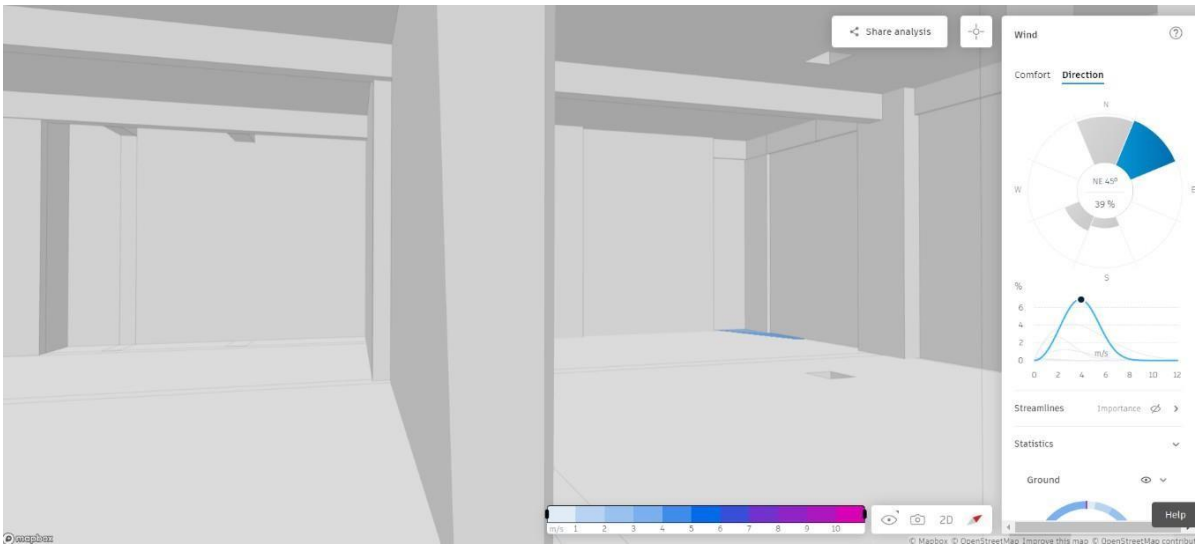
Velocidad del Viento. Nota: Elaboración propia.

Análisis de Viento Predominante (Noreste hacia Sureste)



Análisis de viento predominante. Nota: Elaboración propia.

Vientos a 1.9 m/s lo cual es considerado como viento sentado (estancado). Por ello es recomendable generar aperturas en la fachada del Oeste para generar ventilación cruzada en la nave industrial.



Análisis de viento interno. Nota: Elaboración propia.

En el análisis de vientos se puede observar que debido a la falta de accesos del edificio de apartamentos, el interior no recibe ventilación a través de las aperturas ya que desde un principio se ingresó el modelo sin ventanería. Sin embargo no se tiene información si dicha ventanería se podrá abrir (lo cual se debe de considerar).

Confort del suelo mediante el Viento



Análisis de confort de suelo. Nota: Elaboración propia.

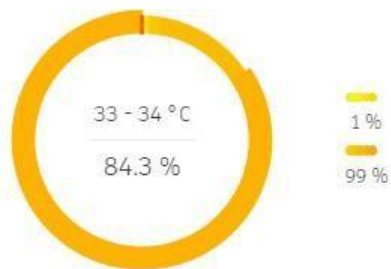
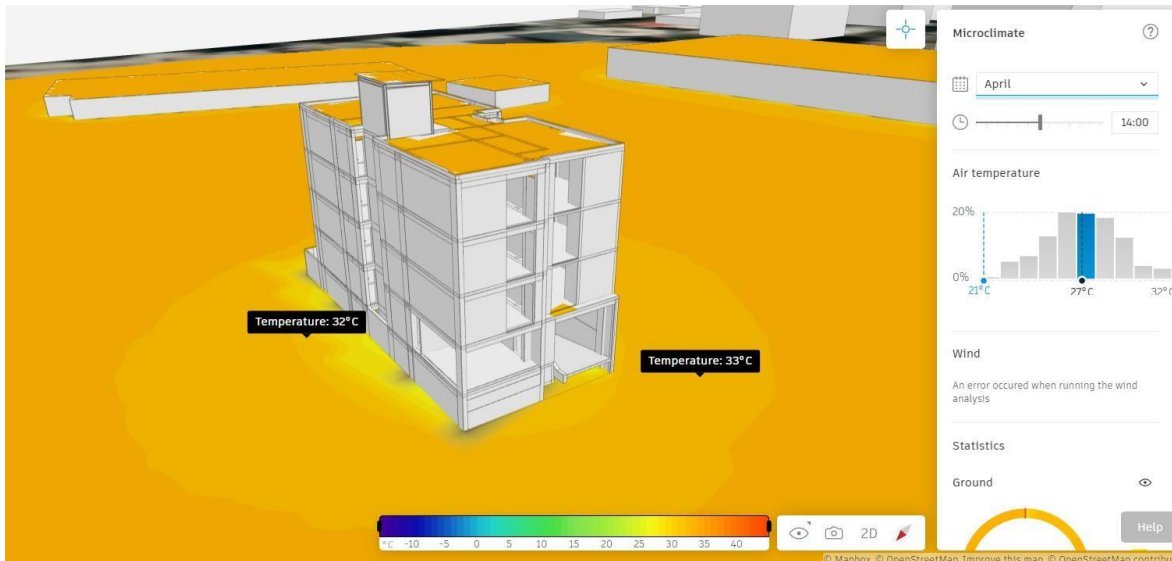
Lo que demuestra el análisis de confort Lawson LDDC son las áreas que se pueden tornar incómodas para el peatón. En este caso, previo a la propuesta de mejora, se puede ver que el 8% son áreas “sitting”, lo cual indica que el aire no tiene tanta fuerza y genera confort. Sin

embargo, es necesario utilizar los árboles para guiar el viento hacia las entradas de parqueo y banquetas alrededor del edificio con el fin de mejorar la ventilación y confort.

Análisis de microclima

Fecha: abril (verano – hora 14:00 h)

ANTIGUO ANÁLISIS



Thermal comfort indices (UTCI) ?

Strong heat stress	97 %
Moderate heat stress	3 %

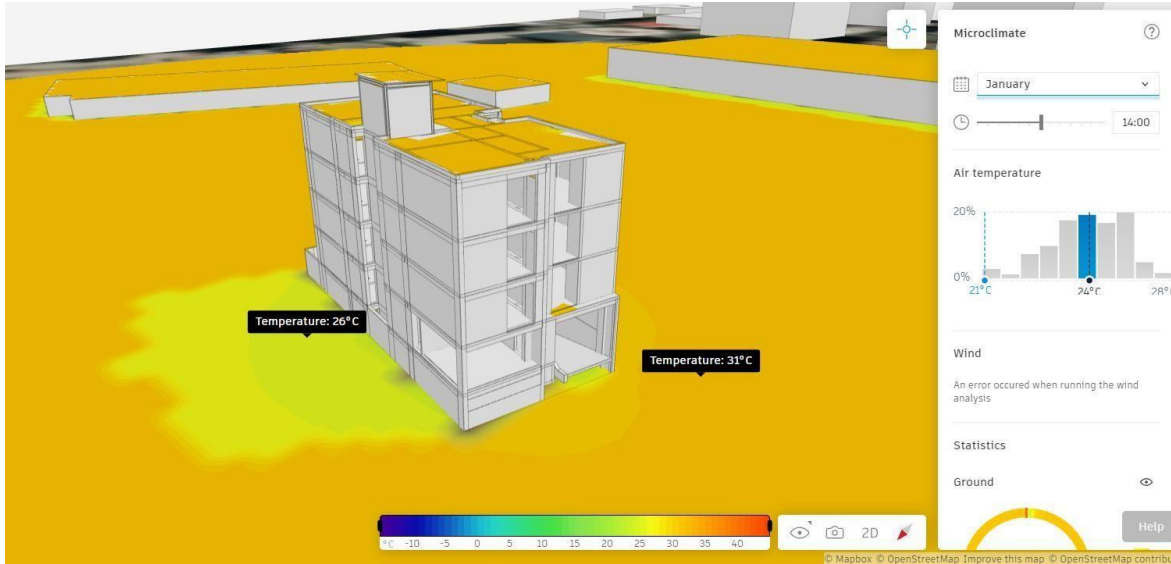
Roof 👁

Weather data

Data source	Copernicus ERA5
Humidity	36 %
Cloud cover	70 %
Direct solar radiation	492 W/m ²
Diffuse solar radiation	194 W/m ²
Infrared atmospheric radiation	406 W/m ²

Análisis de microclima en verano. Nota: Elaboración propia.

Fecha: Enero (invierno – hora 14:00 hrs)



Análisis de microclima invierno. Fuente: elaboración propia



Thermal comfort indices (UTCI) ⓘ

Moderate heat stress	98 %
No thermal stress	2 %

Roof ⓘ

Weather data

Data source	Copernicus ERA5
Humidity	39 %
Cloud cover	52 %
Direct solar radiation	660 W/m ²
Diffuse solar radiation	149 W/m ²
Infrared atmospheric radiation	379 W/m ²

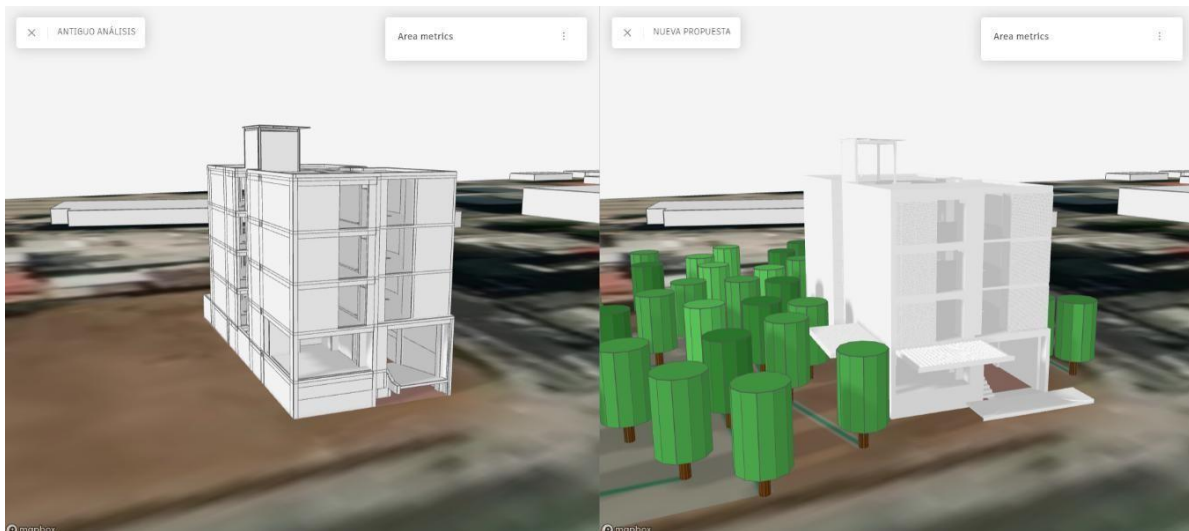
El confort del suelo se mide a través de los m/s del viento, esto puede generarse incómodo en el momento que la velocidad del viento llega a ser muy alto. Al tener solamente 1.9 m/s de viento los espacios alrededor son confortables para el ser humano.

Sin embargo, al realizar el análisis de microclima, debido a la falta de viento y alta temperatura genera que el espacio exterior llegue a un nivel de estrés muy alto. Subiendo la temperatura exterior +4°C.

Por ello se debe de integrar un buen diseño de landscaping para lograr reducir la temperatura exterior provocada por las altas temperaturas y converge de mejor manera hacia el complejo de apartamentos. Tener presente que dicho Master Plan es parte de Leed Campus, por lo tanto, el diseño de jardín debe de tener automatización de riesgo y fauna local.

Respecto a los resultados por parte de los análisis y, de acuerdo a las recomendaciones brindadas por parte de la asesora, se agregaron elementos eficientes en las fachadas noreste y suroeste, específicamente:

- o 2 pérgolas bioclimáticas de 4.2m de ancho X 6.2m de largo X 3.5m de altura
- o 7 ventanas de 1.70m de ancho X 2.30m de largo
- o 6 ventanas de 1.70m de ancho x 2.54m de largo
- o 7 parteluces de 2.34 x 2.28
- o 7 parteluces de 2.66 x 2.55
- o Arbolado circundante



Nueva propuesta de mejora. Nota: Elaboración propia.

Se escogieron estos cambios principalmente porque en la primera fase del proyecto, el mayor problema fue la radiación solar en las fachadas frontales y traseras, principalmente donde los residentes habitan; las dimensiones y cantidades se hicieron en base a la estética pensando en la comodidad del usuario con las distintas vistas que se pueden tener, sobre todo en el interior del edificio.

A continuación se detallan los cambios aplicados en el modelo y el impacto que generó en cada uno de los análisis:

Comparativo de incidencia solar en fachadas en abril (15 abril temperatura 27°C)

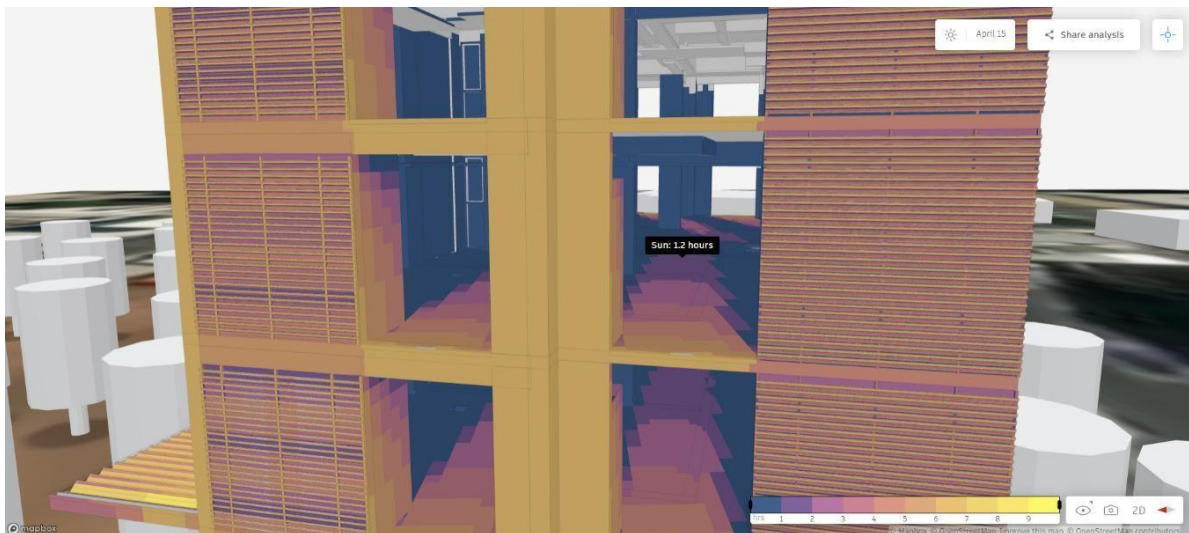
Fachada Frontal Noreste y noroeste



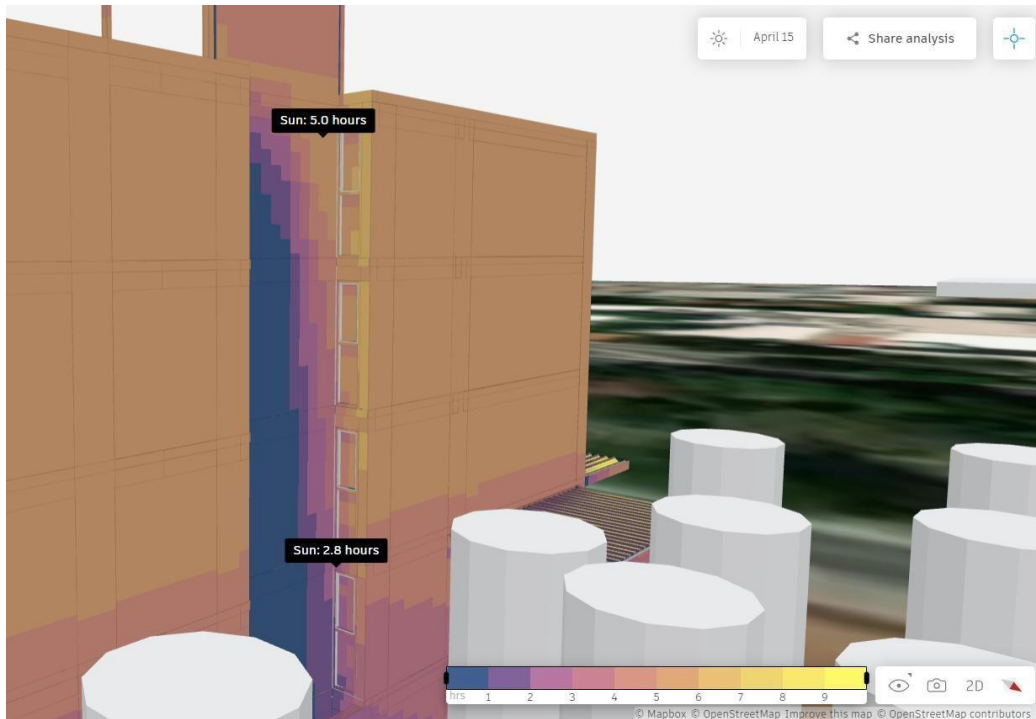
Comparativo incidencia solar fachada frontal. Nota: Elaboración propia.

Existe protección solar a través de pérgolas bioclimáticas, lo que hace que las paredes y, por lo tanto la ventanería, no reciban más de 5 horas solares (confort asegurado). Interiores con 1.2 de horas solares promedio de radiación solar, generando un espacio fresco.

Gracias a las lamas orientables motorizadas se puede bloquear la entrada directa de radiación solar en cualquier momento del día.



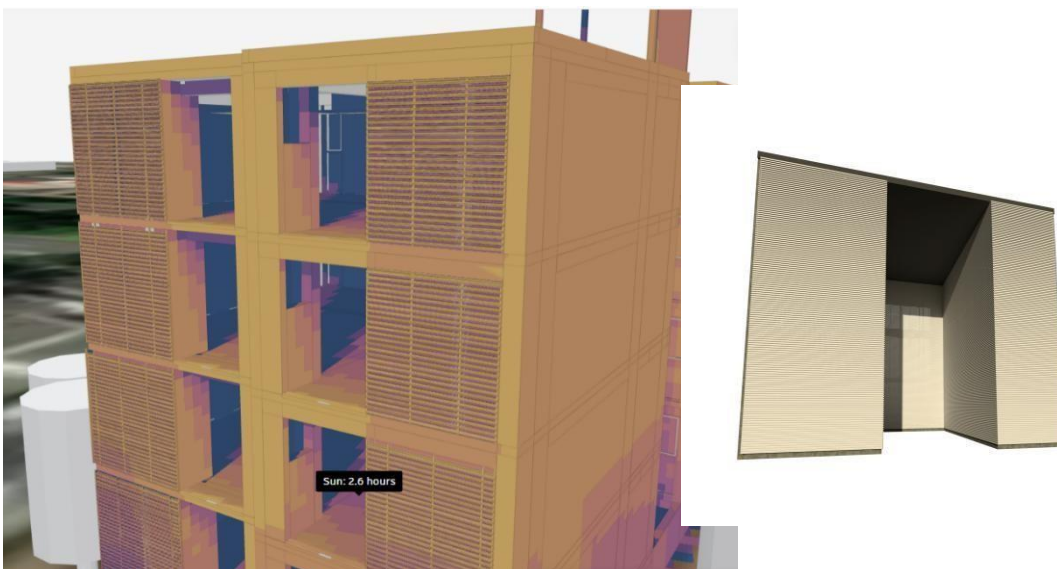
Parteluces de madera como protección solar en fachadas. Nota: Elaboración propia.



Reducción de horas solares en fachadas críticas. Nota: Elaboración propia.

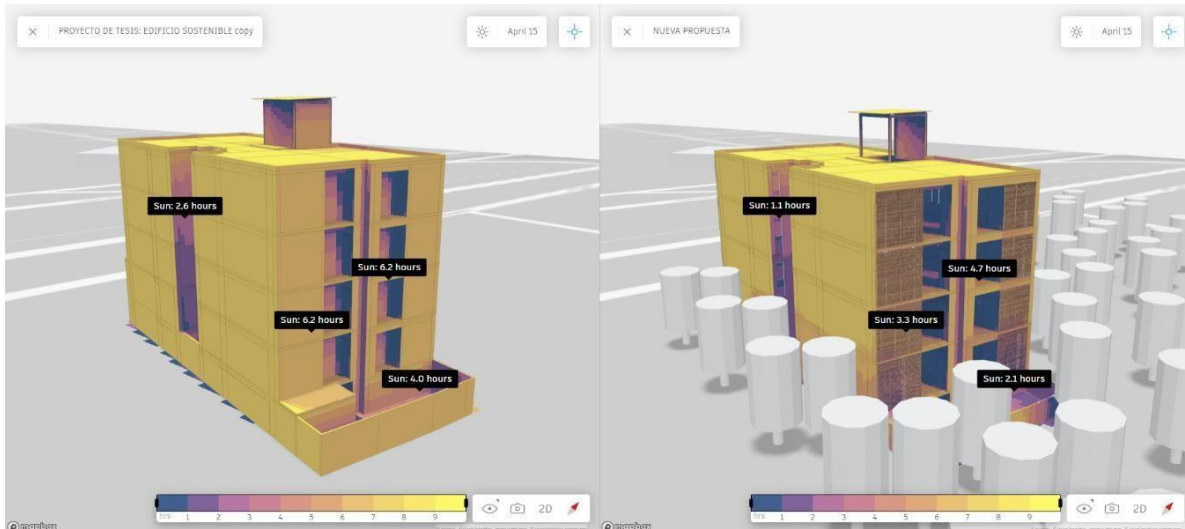
Ventanería y fachadas al noroeste y noreste no necesitaron tanta protección solar, por lo que se puede ver en el análisis. La fachada que da al noroeste tiene las mismas condiciones que la ventanería que da el noreste. Se asegura mayor protección al colocar parteluces en ventanas.

Se puede considerar que los parteluces de madera pueden ser retractiles, con la finalidad que el residente puede decidir el nivel de soleamiento que desee que penetre a su departamento. Por su ubicación este puede retraerse por la mañana y colocarse por la tarde sin problema.



Parteluces de madera. Nota: Elaboración propia.

Fachada Trasera Sureste y suroeste



Comparativo incidencia solar fachada trasera. Nota: Elaboración propia.

Igualmente se logra apreciar una mejor protección en las fachadas sureste y suroeste con parteluces y con áreas de vegetación como arbolado en los espacios exteriores. De esta manera, se logró una buena protección con espacios verdes, áreas que no generan un efecto invernadero el cual pueda sobrecalentar la estructura.



Arbolado circundante. Nota: Elaboración propia.

Considerar vegetación como arboleda circundante resultó ser una excelente propuesta para mitigar la cantidad de horas que pegaba el sol a las fachadas. Los árboles no solo absorben el calor, sino que también hacen posible que se mantenga fresca la estructura y que regule la temperatura de su entorno.

Se aseguró del distanciamiento al momento de la colocación para prevenir el levantamiento de asfalto.

Comparativo de incidencia solar

Antiguo análisis, 15 abril

Geometry ▼



hours	m ²	%
0 - 1	343	20
1 - 2	117	7
2 - 3	58	3
3 - 4	64	4
4 - 5	72	4
5 - 6	355	21
6 - 7	240	14
7 - 8	274	16
8 - 9	13	1
9+	177	10
Total	1713	100

Nueva Propuesta, 15 abril

Geometry ▼



hours	m ²	%
0 - 1	1383	47
1 - 2	303	10
2 - 3	133	5
3 - 4	154	5
4 - 5	150	5
5 - 6	265	9
6 - 7	176	6
7 - 8	189	6
8 - 9	15	1
9+	188	6
Total	2956	100

Reducción de incidencia solar en el edificio. Nota: Elaboración propia.

Se puede observar que efectivamente se redujo la incidencia en horas solares del rango entre 5-6 horas, 6-7 horas, 7-8 horas. Por otro lado, aumentó el porcentaje de horas solares No críticas en fachadas esenciales donde residirán los habitantes del complejo.

Por lo tanto, se confirma la reducción en un 12% para el rango de horas críticas y un aumento de un 27% para el rango de horas no críticas, lo que significa que se ha reducido con éxito la radiación solar en los exteriores e interiores en todo el edificio.

15 de abril temperatura 27°C			
FACHADA	HRS SOLARES	% INCIDENCIA	% PROTECCIÓN
SURESTE	1.1	9.2%	BAJO
SUROESTE	3.3	27.5%	BAJO
NORESTE	4.4	36.7%	BAJO
NOROESTE	2.3	19.2%	BAJO

14 de enero temperatura 23°C			
FACHADA	HRS SOLARES	% INCIDENCIA	% PROTECCIÓN
SURESTE	3.3	30.0%	BAJO
SUROESTE	3.7	33.6%	BAJO
NORESTE	0.0	0.0%	BAJO
NOROESTE	3.4	30.9%	BAJO

Cuadro 5. Tabla de Incidencia y Protección de Horas Solares Abril y Enero (Nueva Fachada). Fuente Excel

Comparativo de potencial de luz solar en fachadas

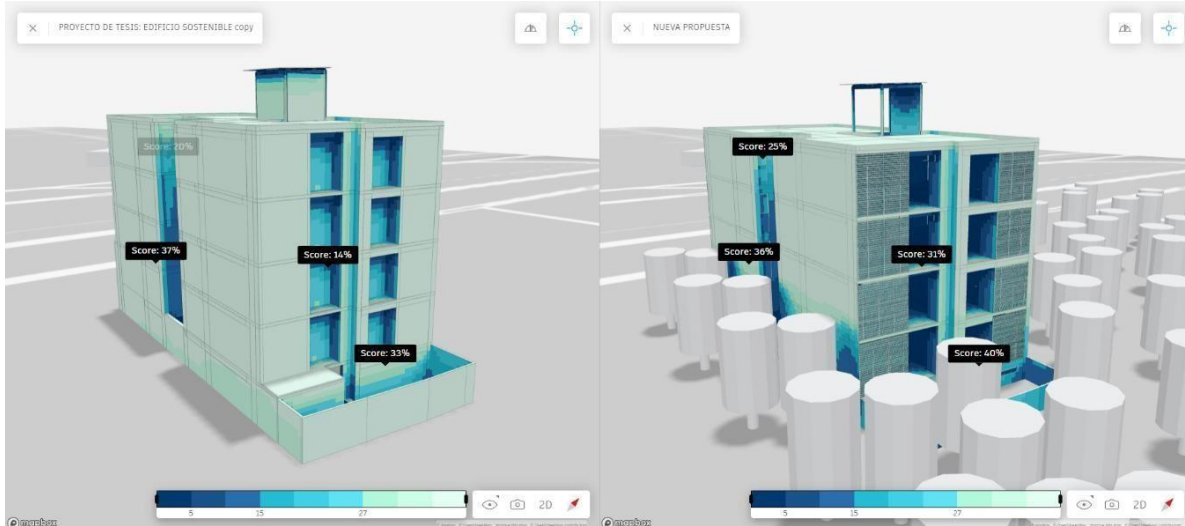
Fachada Frontal Noreste y noroeste



Comparativo de Daylight potential fachada frontal. Nota: Elaboración propia.

Como se ha mencionado anteriormente, la cantidad de luz llega a la fachada desde el cielo en forma de porcentaje, esto indica cuánta luz brilla a través de una ventana ubicada en esos puntos.

Fachada Trasera Sureste y suroeste



Comparativo de daylight potential fachada trasera. Nota: Elaboración propia.

Umbral predeterminado de Vertical Sky Component (VSC) - para puntos en fachadas	Condiciones de luz diurna
VSC \geq 27%	El diseño convencional de ventanas suele ser satisfactorio
15% < VSC < 27%	Por lo general, se necesitan ventanas/cambios de diseño más grandes
5% < VSC < 15%	Difícil de proporcionar luz diurna adecuada
VSC < 5%	Lograr una luz del día razonable a menudo es imposible

Requisitos Vertical Sky Component (VSC). Nota: Elaboración propia.

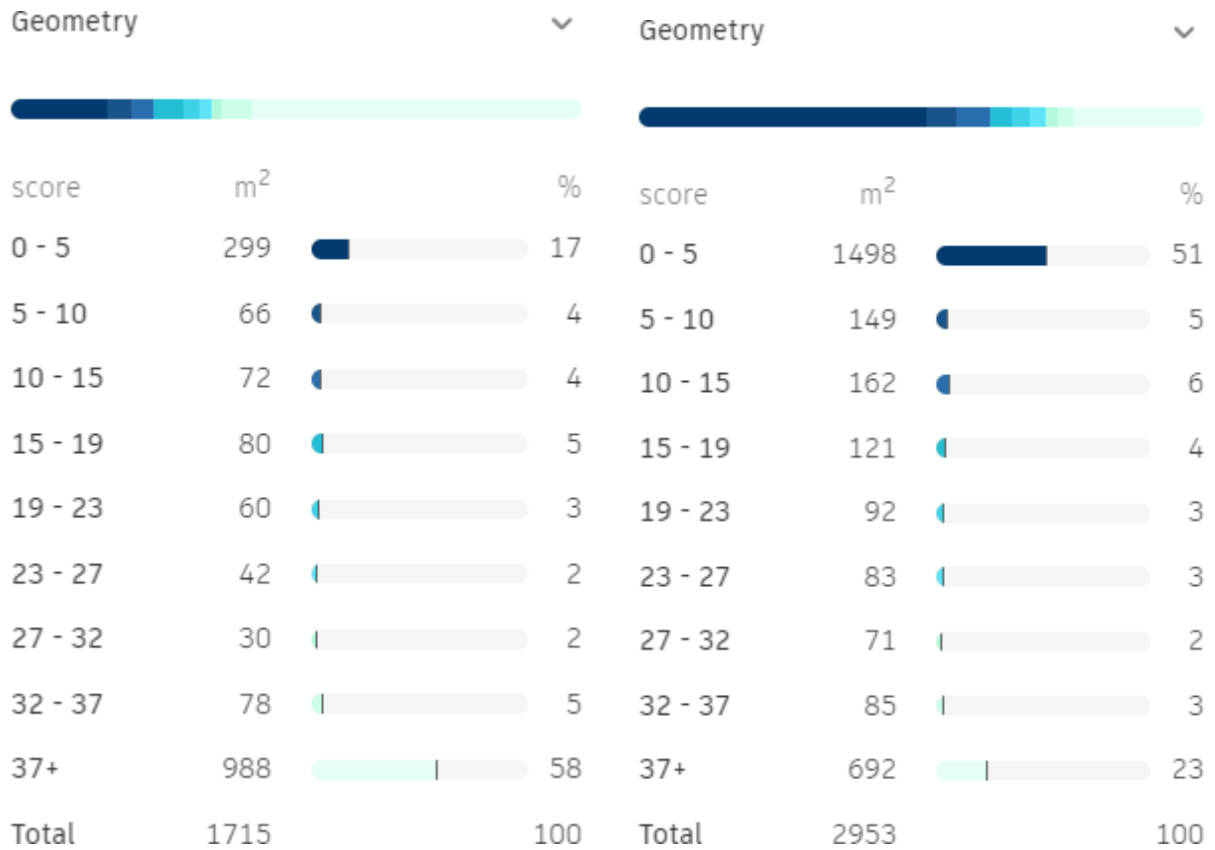
En promedio en el análisis se puede observar que la mayoría se encuentran arriba del 27% dando como resultado que el tamaño del orificio de la ventana es el adecuado para poder asegurar la iluminación natural durante el día.

En los espacios donde el resultado es menor a 27% son aquellos donde el voladizo está colocado para protección solar, sin embargo, tienen un gran ventanal asegurando el paso de iluminación.

Comparativo de incidencia solar

Antiguo análisis, 15 abril

Nueva Propuesta, 15 abril



Aumento de iluminación natural. Nota: Elaboración propia.

Evidentemente se puede observar que hubo una reducción de la iluminación natural en los interiores pero esto fue debido a la protección de radiación solar que se implementó en esta nueva propuesta, con el fin de contrastar el paso de incidencias.

Ahora bien, la ventaja es que el usuario puede permitir cuánta cantidad de luz solar puede entrar a su apartamento a través del acceso de parteluces, o bien reducir ese tiempo de iluminación.

Por lo tanto, es de las mayores mejoras en el proyecto ya que ahora se tiene mejor luz natural de día, lo que ayuda a mitigar gastos de iluminación, calefacción, etc. Como desventaja se tiene que en la época de verano, se deberá hacer mayor uso de equipo de aire acondicionado.

Comparativo de confort del suelo y vientos predominantes

Confort del suelo mediante el viento



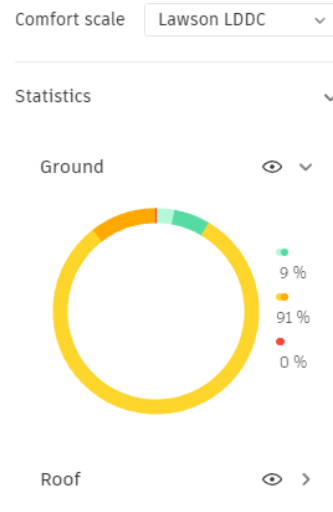
Comparativo confort del suelo. Nota: Elaboración propia.

Como se comentó, lo que demuestra el análisis de confort Lawson LDDC son las áreas que se pueden tornar incómodas para el peatón. De esta manera, la propuesta de mejora evidencia que, al agregarse vegetación (arbolado circundante), se mejoró el impacto en la fachada crítica que se mostró en el análisis previo. Es decir, todas las fachadas mejoraron ligeramente ya que esto generó un gran impacto dentro de las áreas circundantes y, por ende, en el confort de los vecinos colindantes que circulan por esas áreas.

Antiguo análisis, (15 de abril)

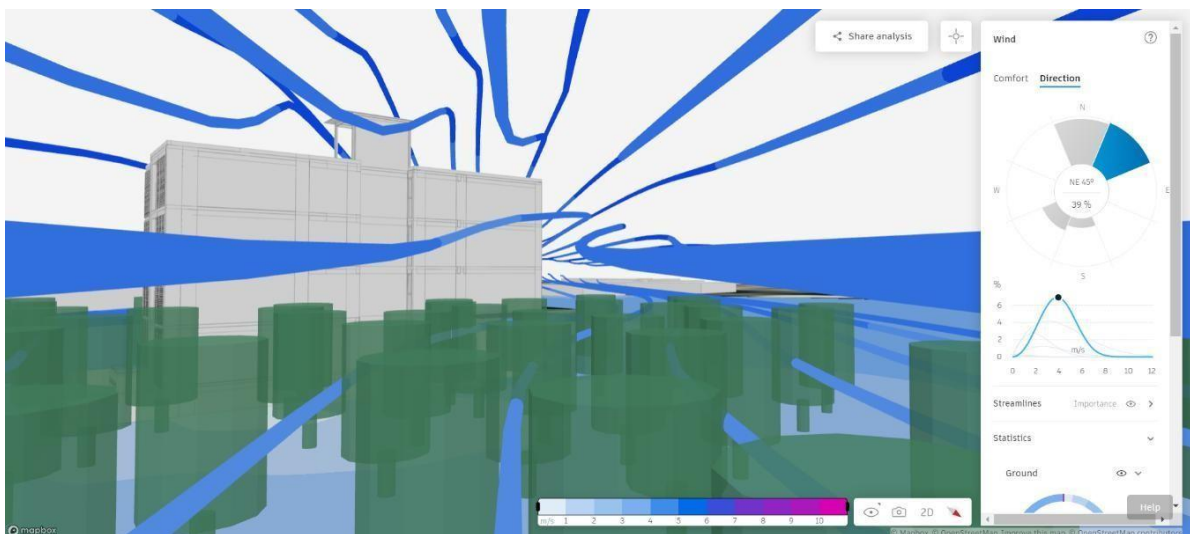
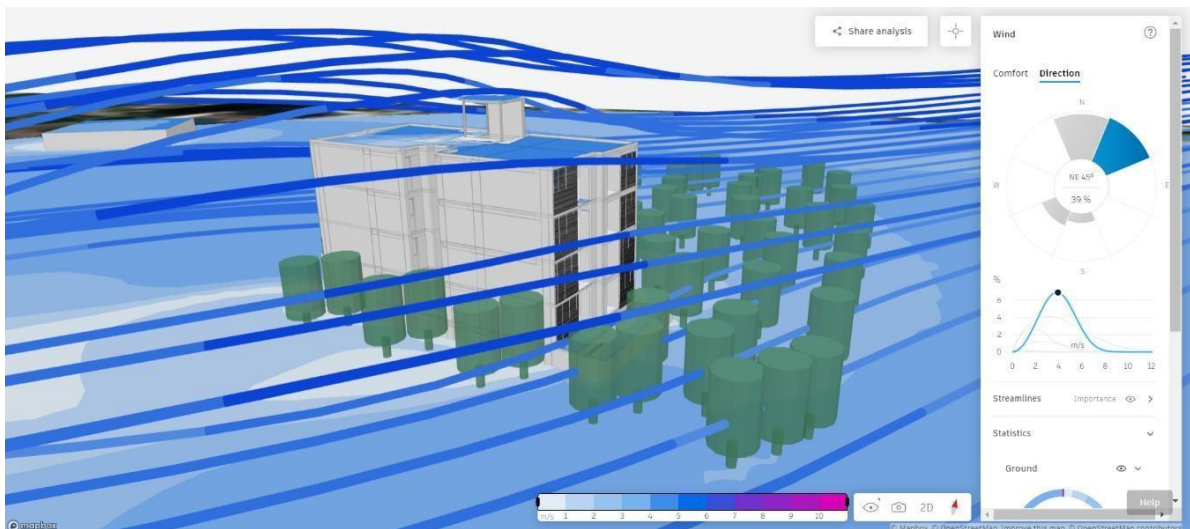
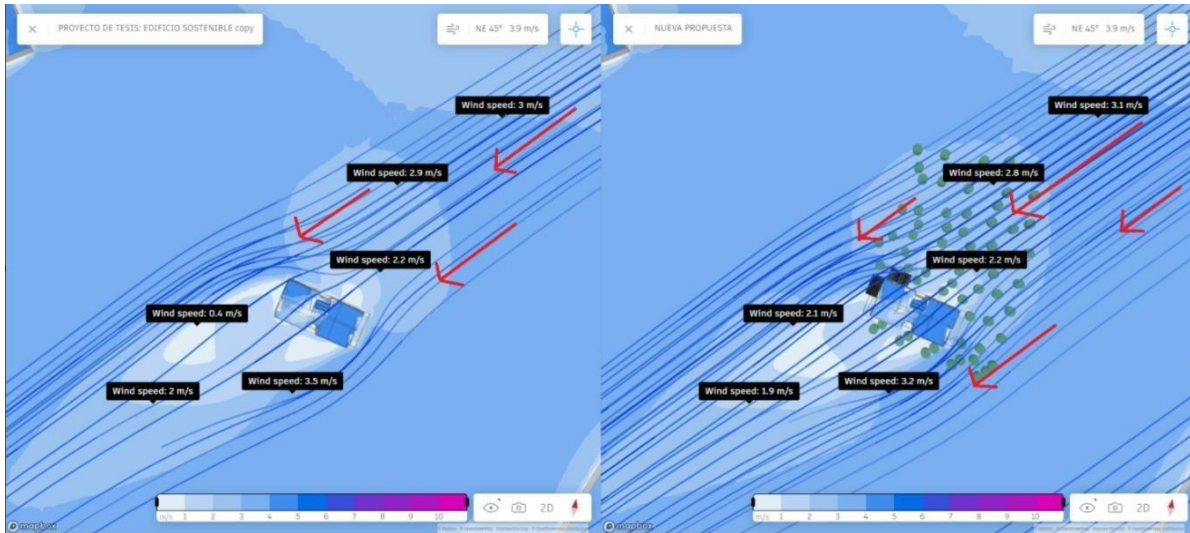


Nueva propuesta, (15 de abril)



Nota: Elaboración propia.

Vientos Predominantes



Diagramas de Viento predominante. Nota: Elaboración propia.

Este análisis brinda resultados sobre cómo fueron las condiciones del viento para el proyecto. Y para este caso, este análisis detallado del viento es excelente como entrada para nuestro análisis del microclima.

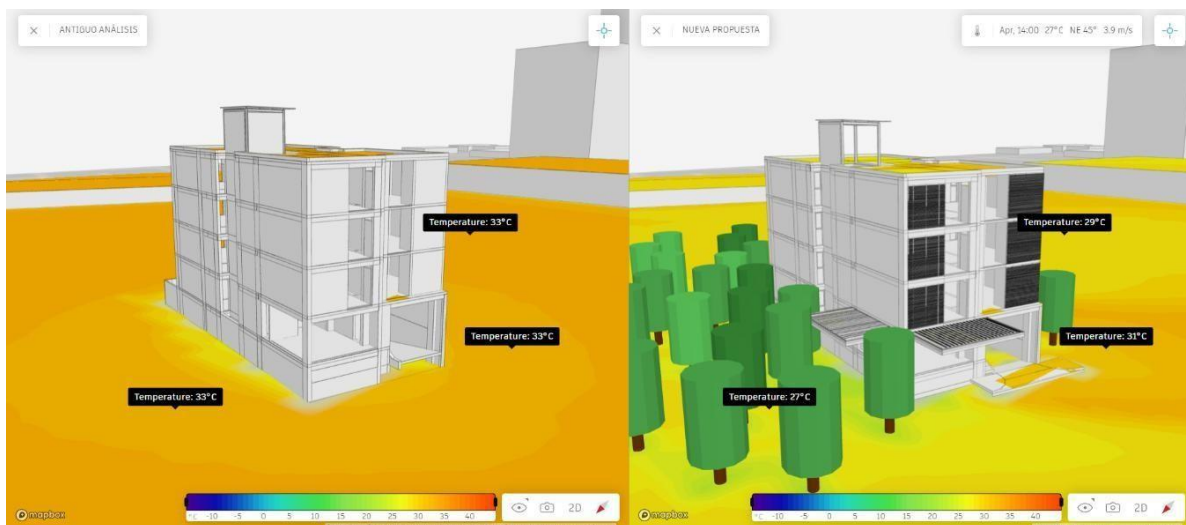
Se puede observar que no existen sombras de viento o remolinos interiores en patios internos, lo cual nos indica que hay confort en dichas áreas. Sin embargo, las ventanas se pueden abrir sin problemas y esto asegura el paso del viento.

Además con el tema de la ventilación, la pérgola **permite rotar las lamas para crear un flujo de aire favorecido por el efecto de convección**, de abajo a arriba, que regula la temperatura de forma natural.

Cabe mencionar que el impacto del viento en este proyecto dado la altura y los datos de vientos obtenidos, no son de tanta relevancia. El viento que entra por el sureste (39 por ciento) puede ayudar en la calefacción.

Comparativo de Microclima

Fachada Frontal Noreste y noroeste

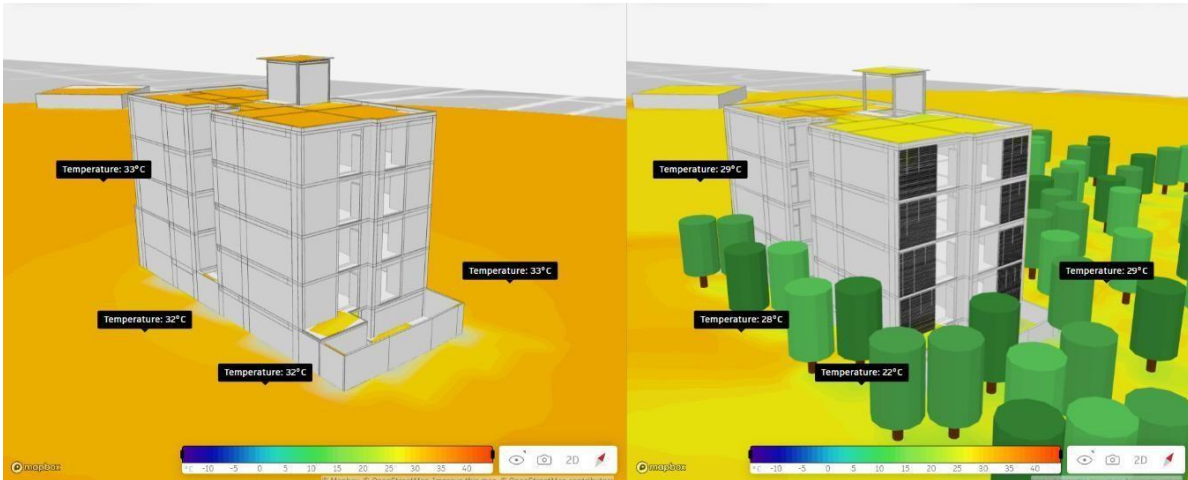


Comparativo microclima fachada frontal. Nota: Elaboración propia.

Como se logra apreciar, la vegetación y la pureza del arbolado circundante provocó que se redujeran las temperaturas percibidas en verano en los sitios señalados, logrando así integrar un buen diseño de landscaping exterior.

Cabe resaltar que la pérgola bioclimática presenta un sistema funcional de **lamas regulables que favorece el disfrute del espacio exterior durante todo el año**, estableciendo así el ajuste del microclima deseado por ventilación natural.

Fachada Trasera Sureste y suroeste

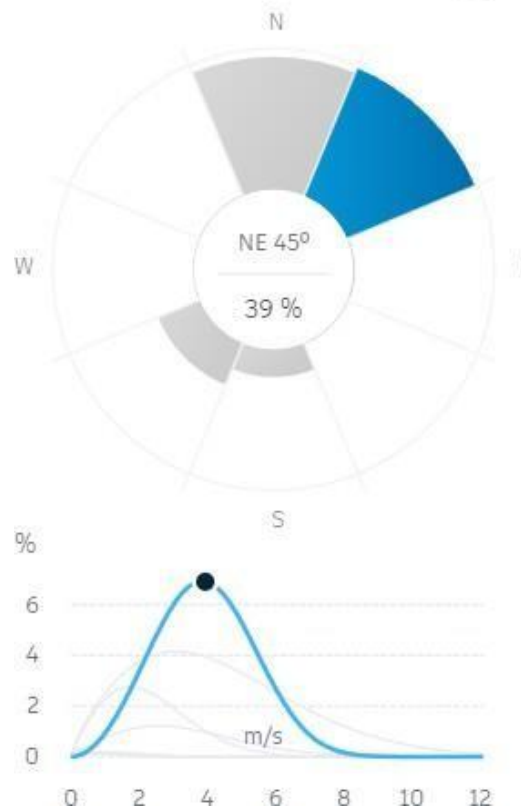


Comparativo microclima fachada trasera. Nota: Elaboración propia.

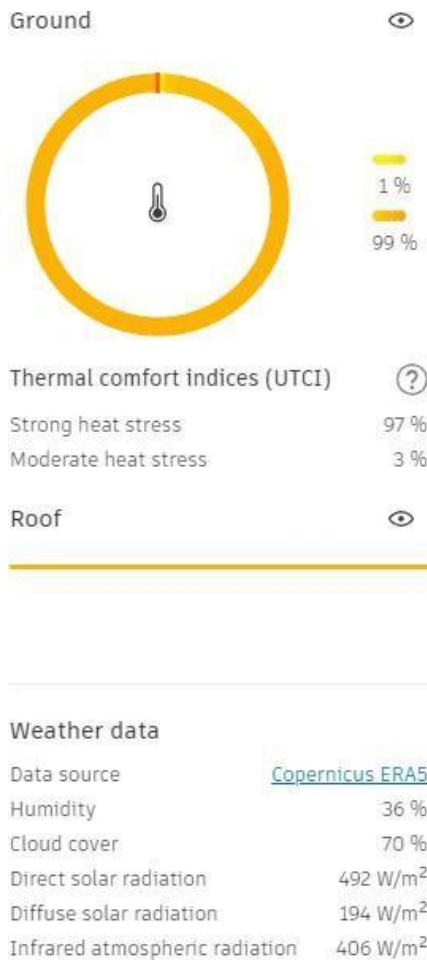
Wind

An error occurred when running the wind analysis

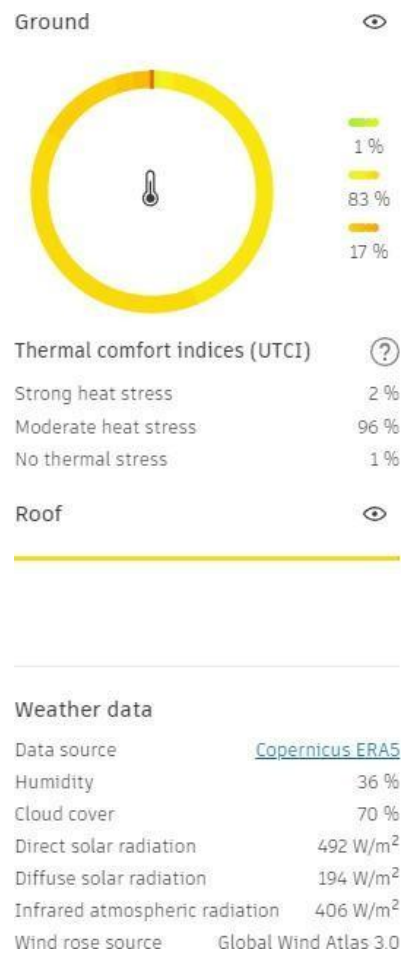
Wind



Antiguo análisis, 15 abril



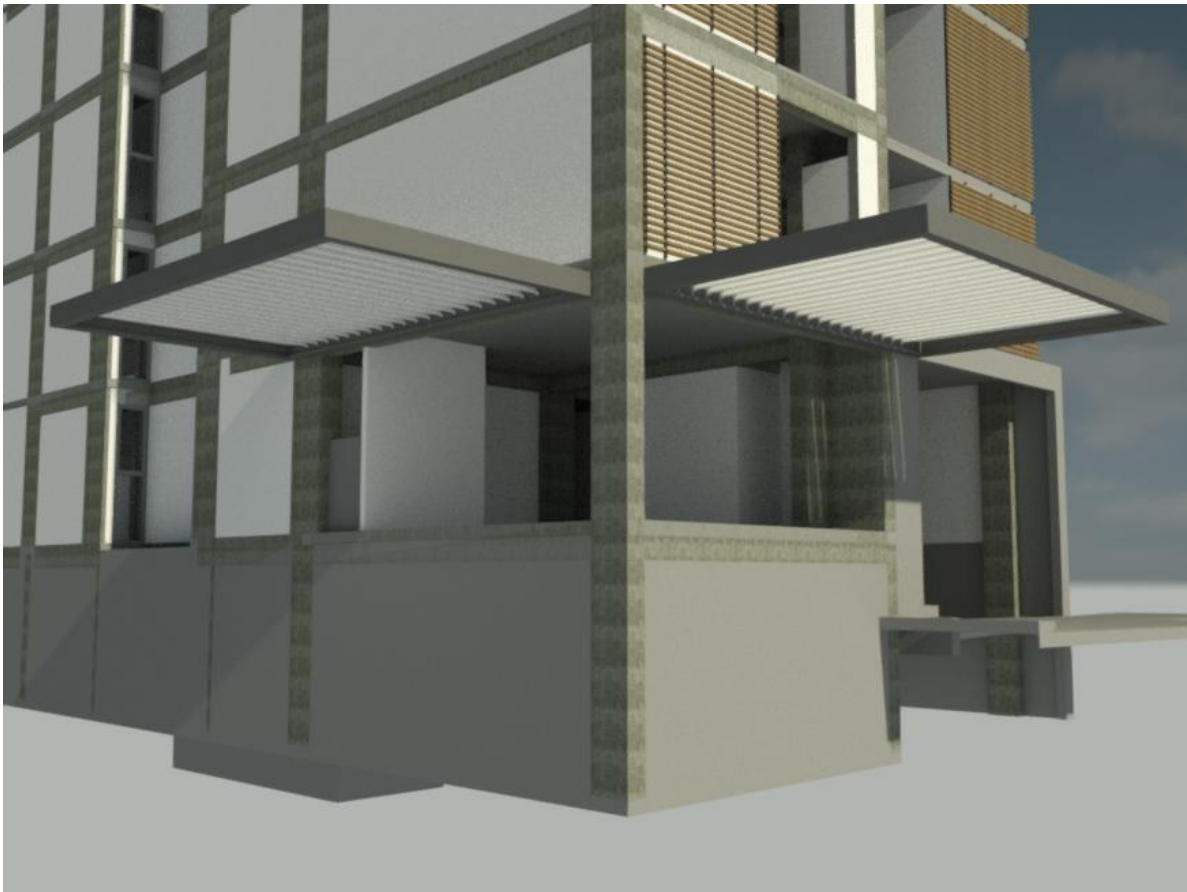
Nueva Propuesta, 15 abril



Aumento y mejora de microclima circundante al edificio. Fuente: elaboración propia

El rango entre 30 a 35 °C se redujo de un 99% a un 17%; el rango entre 25 y 30 °C aumentó de 1 a 83%, lo que significa que hubo un aumento significativo gracias a la vegetación; por último se encontró un 1% entre el rango de temperatura de 20 a 25 °C. Respecto a la temperatura del aire, no se demostró mejoría alguna.

Componentes y Materiales

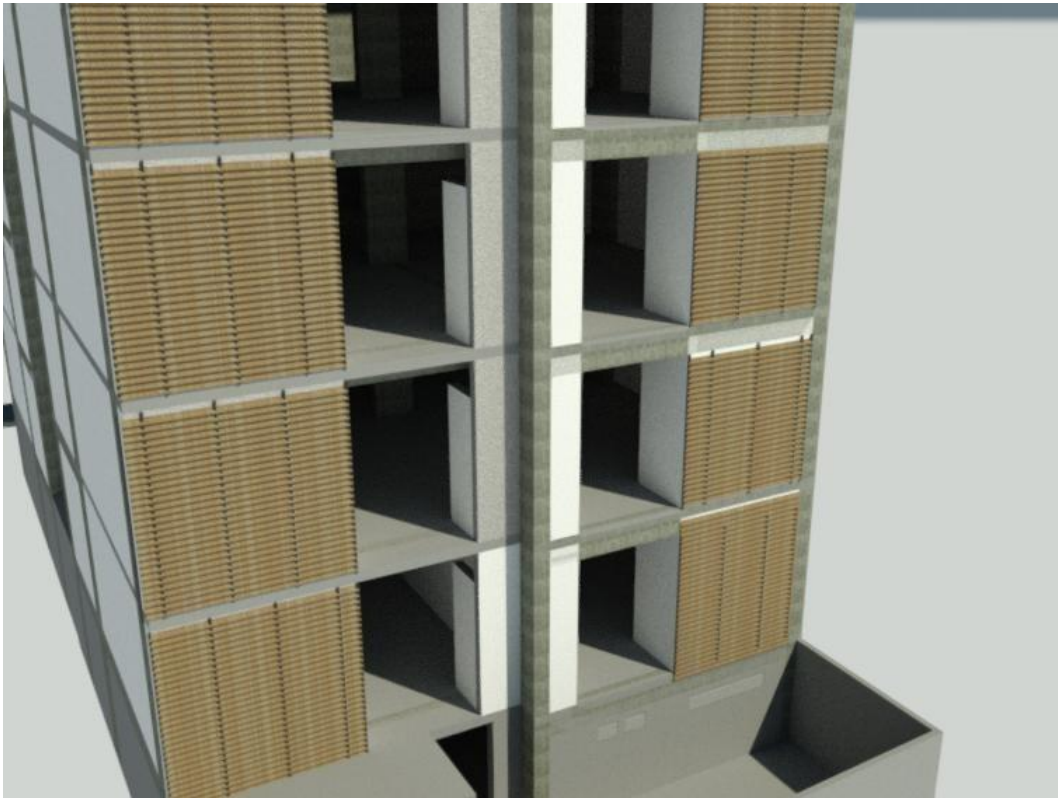


Pérgola bioclimática vista en Revit. Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta que la pérgola bioclimática de aluminio proporciona un control pasivo del clima, ayudó a reducir la demanda energética del sistema de climatización en el local comercial. Al ajustar la orientación de las lamas, se pudo controlar el flujo de radiación solar, lo que disminuyó la carga térmica y mejora del confort de los ocupantes. Sin embargo, la transmitancia térmica del aluminio por sí solo no es baja, por lo que su efectividad radica en su capacidad para gestionar la radiación solar más que en su capacidad de aislamiento térmico.

Cabe aclarar que contribuye significativamente a mejorar la eficiencia energética y el confort térmico, actuando como una barrera controlada frente a la radiación solar directa.

Pérgola Bioclimática
<ul style="list-style-type: none">• Material principal Aluminio• Material secundario Aluminio anodizado
5.0 W/m ² K (dependiendo del acabado y sistema de lamas)



Parteluces de madera vistas en Revit. Fuente: elaboración propia

Asimismo, las lamas conformadas del muro cortina son de madera, el cual es un material con una baja conductividad térmica en comparación con otros materiales, como el aluminio de la pérgola bioclimática. Esto permite que los parteluces de madera sirvan de aislamiento térmico adicional, impidiendo la transmisión rápida de calor hacia el interior de los apartamentos. Además, la textura y orientación de los listones de madera pueden permitir una ventilación natural controlada, mejorando la circulación de aire sin comprometer la privacidad.

Comparado con la pérgola bioclimática de aluminio, cuya **transmitancia térmica es de aproximadamente $5.0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$** , la **madera tiene una transmitancia térmica mucho menor**, estimada entre **0.12 y $0.20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$** . Esto significa que los parteluces de madera ofrecen un mejor aislamiento térmico que la pérgola, aunque su capacidad para regular la luz solar no es tan dinámica como la de la pérgola bioclimática de lamas ajustables.

Parteluz de madera
<ul style="list-style-type: none"> • Madera
0.12 – 0.20 $\text{W/m}^2\text{K}$ (dependiendo del acabado y sistema de lamas)

(menor el valor U, mayor resistencia)

Discusión General de Resultados

En base a los análisis realizados sobre la propuesta arquitectónica y de eficiencia energética del edificio de apartamentos, se han obtenido resultados que confirman la viabilidad y efectividad de las estrategias aplicadas para mejorar el confort interior y reducir las cargas térmicas, sin sacrificar la iluminación natural. A continuación se presenta un resumen general de los principales hallazgos.

Primeramente, en cuanto a incidencia solar y protección en fachadas se habla, la inclusión de pérgolas bioclimáticas y parteluces de madera permitieron una protección solar efectiva, reduciendo las horas de incidencia solar directa en las fachadas más expuestas (sureste y suroeste). Las fachadas con orientación noreste y noroeste no requirieron de protección significativa, y el uso de parteluces retráctiles ofrece flexibilidad a los residentes, permitiéndoles ajustar el nivel de soleamiento. Las pérgolas y los parteluces fueron eficaces al reducir las horas solares críticas en un 12%, lo que se traduce en un ambiente interior más fresco, con una exposición solar interior reducida a 1.2 horas promedio, manteniendo así el confort térmico.

Por otro lado, el análisis del potencial de luz solar en fachadas demostró que, en promedio, el 27% de luz natural alcanzó las superficies de ventanas, lo que es adecuado para garantizar una buena iluminación natural. Si bien hubo una ligera reducción de luz en interiores debido a las protecciones solares, se ha logrado un equilibrio que permite al usuario ajustar la cantidad de luz que entra, lo que contribuye a reducir el uso de iluminación artificial durante el día. Esta ventaja es particularmente relevante en cuanto a la eficiencia energética, ya que permite mitigar el consumo eléctrico para iluminación. No obstante, es probable que en verano sea necesario aumentar el uso de aire acondicionado.

Además, el análisis de confort térmico y viento ("Lawson LDDC") muestra que las adiciones de vegetación y el uso de elementos bioclimáticos mejoraron la experiencia peatonal en los alrededores del edificio. Es decir, la vegetación no solo contribuyó a reducir el impacto del viento, sino que también mejoró el microclima circundante, mitigando el calor y proporcionando sombra. Esto significa que el diseño permitió una correcta ventilación cruzada en las viviendas, sin problemas de remolinos de viento en los patios internos. De igual forma, la pérgola bioclimática contribuyó a mejorar la circulación de aire natural, creando un efecto de convección ascendente que ayudó a regular la temperatura en los espacios exteriores.

Si bien el impacto del microclima fue significativo, la integración de vegetación como arboleda circundante, contribuyó a reducir las temperaturas percibidas durante el verano. La pérgola bioclimática, con su sistema de lamas regulables, demostró ser clave para crear un microclima más confortable, permitiendo la ventilación natural y el control del nivel de

sombra. Se observó una notable reducción de las temperaturas en el rango de 30-35°C, disminuyendo de 99% a 17%, mientras que el rango de 25-30°C aumentó considerablemente, lo que indica un espacio más habitable y fresco en general.

Cabe mencionar que en cuanto a los materiales, el aluminio anodizado de las pérgolas bioclimáticas mostró un excelente desempeño en la gestión de la radiación solar, disminuyendo la carga térmica sobre el edificio. Sin embargo, su alta transmitancia térmica (5.0 W/m²K) implica que su capacidad de aislamiento térmico es limitada. En cambio, los parteluces de madera, con una transmitancia térmica de 0.12 a 0.20 W/m²K, proporcionaron un aislamiento superior, reduciendo significativamente la transferencia de calor hacia los interiores. Esta combinación de materiales optimiza el control solar y la eficiencia energética, ya que la pérgola bioclimática permite una regulación dinámica de la luz, mientras que la madera actúa como barrera térmica.

En general, los resultados demuestran que la nueva propuesta arquitectónica y de diseño bioclimático ha logrado cumplir con los objetivos de reducir la incidencia solar, mejorar el confort térmico y aprovechar la iluminación natural de forma eficiente. Las estrategias combinadas de pérgolas bioclimáticas, parteluces de madera y vegetación circundante han reducido considerablemente la exposición solar en las fachadas más críticas, mejorado la circulación de aire natural y creando un microclima favorable en los espacios exteriores. Además, se ha asegurado una mayor eficiencia energética, optimizando el uso de la luz natural y reduciendo la demanda de climatización en verano, proponiéndolo así en futuras construcciones de vivienda vertical en la ciudad de Guatemala.

VII. CONCLUSIONES

1. Los resultados confirmaron que integrar BIM 6D en el diseño bioclimático no solo es efectivo para el desempeño energético del edificio de apartamentos, sino que también minimizó su impacto ambiental. Las herramientas como Revit y Forma permitieron la toma de decisiones informada en cuanto a la selección de materiales, el control térmico y el uso de energías renovables. Por lo tanto, esto validó la hipótesis original y demostró que el análisis bioclimático sí puede generar soluciones sostenibles y eficientes en contextos urbanos a largo plazo.
2. La implementación de elementos bioclimáticos, como cubiertas eficientes, parteluces de madera y vegetación tal como arboleda circundante, fueron de gran ayuda para la reducción de incidencia solar en fachadas críticas y mejoró el confort térmico interior. De esta manera, mantuvieron un equilibrio entre la protección solar y el acceso a la luz natural. Este balance optimizará el confort de los residentes y contribuirá a una mayor eficiencia energética al reducir la necesidad de sistemas de climatización artificial durante el verano, como aire acondicionado.
3. El análisis de confort térmico y microclima confirmaron que la integración de vegetación y la ventilación natural son clave para mitigar los efectos del calor en zonas exteriores e interiores. Es decir, las simulaciones demostraron una reducción significativa de las temperaturas percibidas en los espacios circundantes del edificio, mejorando las condiciones habitables y reduciendo la demanda energética. Por lo tanto, ratifican la eficacia de las estrategias bioclimáticas propuestas, confirmando que el diseño sostenible no solo es viable, sino que también destaca su potencial para futuras aplicaciones en viviendas verticales en Guatemala.
4. La eficiencia energética en la construcción es un campo poco explorado con escasos proyectos de tesis que se centran en esta área. Por ello, este estudio propuso una perspectiva pionera para avanzar en el entendimiento y aplicación del modelado de información para edificaciones (BIM), con el objetivo de mejorar la eficiencia bioclimática en proyectos de construcción. La implementación del software Forma permitió realizar análisis detallados sobre la incidencia solar, el potencial de luz natural y el confort térmico, lo cual facilitó la toma de decisiones informadas en el diseño bioclimático. De esta manera, la metodología BIM, complementada con herramientas avanzadas como Forma, se consolidó como una solución integral e innovadora para optimizar la gestión y construcción de edificios de apartamentos, beneficiando a los profesionales involucrados y contribuyendo al desarrollo sostenible de la industria de la construcción en la ciudad de Guatemala.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que los profesionales del sector de la ingeniería civil y la construcción en general continúen explorando las capacidades de BIM en el diseño bioclimático, no solo para visualizar el impacto energético de cada edificio, sino también para prever y optimizar la selección de materiales con mejor transmitancia térmica y sistemas automatizables de domótica, con el fin de permitir la toma de decisiones más informadas y sostenibles desde las fases iniciales de los proyectos.
2. Los profesionales deben recurrir a herramientas avanzadas para el análisis bioclimático, como Revit y Forma, para probar diferentes escenarios de diseño antes de la construcción. Esto garantizará la elección de soluciones óptimas para el confort térmico, la iluminación natural y la eficiencia energética; de esta manera, se asegurará así un desempeño ambiental adecuado del edificio.
3. Se debe promover la investigación del BIM para el análisis de la sostenibilidad en universidades e instituciones de Guatemala para fomentar la importancia que tiene construir eficientemente. Así, permitirá generar más conocimientos y aplicaciones prácticas en un campo aún incipiente, contribuyendo a que más proyectos futuros adopten tecnologías y prácticas sostenibles en su desarrollo.
4. Finalmente, de forma personal, recomiendo que los proyectos de vivienda vertical a futuro, así como otros desarrollos urbanos, adopten un enfoque bioclimático y sostenible en su diseño. Es fundamental este estudio porque si se incorporan estas tecnologías, pueden mejorar la calidad de vida de los residentes, hacer que el edificio respire y contribuir a un desarrollo urbano más eficiente y respetuoso con el medio ambiente en la Ciudad de Guatemala.

IX. REFERENCIAS

- 360 en concreto. (2023). *Soluciones verdes, innovación consciente*. Recuperado de <https://formacion.360enconcreto.com/index.php?informacion=curso&idcurso=1030&tit=solucionesverdesinnovacion-consciente-repo>.
- 3d repo. (2021). *What are bim dimensions?*. Recuperado de <https://3drepo.com/resources/news-andevents/what-are-bim-dimensions/>
- Acciona. (2023). *La importancia de las energías renovables*. Recuperado de <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>
- Admagazine. (2022). *Estas son las tendencias en arquitectura sustentable del 2022*. Recuperado de <https://www.admagazine.com/articulos/estas-son-las-tendencias-en-arquitectura-sustentable-del-2022>
- Alcaldía de Medellín. (2023). *¿Qué es la arquitectura sostenible y cómo impacta en el diseño de un futuro mejor?*. Recuperado de <https://www.medellin.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias/que-es-la-arquitectura-sostenible-y-como-impacta-en-el-diseno-de-un-futuro-mejor/>
- Alpha Hardin. (2024). *7 materiales de construcción sustentables*. Recuperado de <https://www.alpha-hardin.com/7-materiales-de-construccion-sustentables/>
- Archdaily. (2020). *Edificios en evaluación: 12 certificaciones de construcción sostenible*. Recuperado de <https://www.archdaily.cl/cl/946382/edificios-en-evaluacion-12-certificaciones-de-construccion-sostenible-que-debes-conocer>
- Archdaily. (2021). *Estrategias bioclimática en la arquitectura contemporánea de Ecuador*. Recuperado de <https://www.archdaily.co/co/956276/estrategias-bioclimaticas-en-la-arquitectura-contemporanea-de-ecuador>
- Atena. (2023). *Desafíos y oportunidades de desarrollo sostenible: contribuciones desde diferentes dimensiones de la empresa*. Recuperado de <https://www.atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/desafios-y-oportunidades-de-desarrollo-sostenible-contribuciones-desde-diferentes-dimensiones-de-la-empresa>
- Autodesk. (2024). *Autodesk Forma: Software basado en la nube para la planificación y el diseño en etapa inicial*. Recuperado de <https://www.autodesk.com/products/forma/overview?Term=1-YEAR&tab=subscription>

- Ávila, j. (2022). *Guía técnica para el diseño y construcción sostenible*. Recuperado de https://issuu.com/tecnicoggbcc/docs/20220705_gu_a_tcnica_de_dise_o_y_construcci_n_so_s#google_vignette
- Biblusbim. (2021). *Bim 6d y sostenibilidad de la construcción*. Recuperado de <https://biblus.accasoftware.com/es/bim-6d-y-sostenibilidad-de-la-construccion/>
- Bimnd. (2019). *Eficiencia energética de edificaciones: bim 6d*. Recuperado de <https://www.bimnd.es/6d-bim/>
- Bimobject (2024). *Pérgola bioclimática*. Recuperado de <https://www.bimobject.com/es/acristalia/product/ pergola-roof?software=revit>
- Bimtool. (2023). *Bim, las 7d (dimensiones del bim)*. Recuperado de <https://www.bimtool.com/article/15199783/las-7d-dimensiones-del-bim>
- C&c. (2024). *Invertir en guatemala: guía completa para el mercado inmobiliario en 2024*. Recuperado de <https://cycguate.com/invertir-en-guatemala-guia-completa-para-el-mercado-inmobiliario-en-2024/>
- Catálogoarquitectura (2024). *Celosía inppa | inppa s.a.* Recuperado de <https://www.catalogoarquitectura.cl/cl/bim/celosia-inppa-inppa-s-a>
- Cgc. (2023). *Retos y desafíos de la construcción sostenible en Guatemala*. Recuperado de <https://revistaconstruccion.construguate.com/retos-y-desafios-de-la-construccion-sostenible-en-guatemala/>
- Citymax guatemala. (2021). *Crecimiento vertical ciudad guatemala*. Recuperado de <https://www.citymax-gt.com/crecimiento-vertical-ciudad-guatemala/>
- Construible. (2019). *Digital twin del edificio basado en bim orientado a la eficiencia energética y mantenimiento predictivo del edificio*. Recuperado de <https://www.construible.es/comunicaciones/comunicacion-digital-twin-edificio-basado-Bim-orientado-eficiencia-energetica-mantenimiento-predictivo-edificio>
- construction21. (2018). *La ventilación mecánica con recuperador de calor imprescindible para asegurar el confort y la calidad del aire interior en los edificios de alta eficiencia energética..* Recuperado de <https://www.construction21.org/espana/articles/h/la->

[ventilacion-mecanica-con-recuperador-de-calor-imprescindible-para-asegurar-el-confort-y-la-calidad-del-aire-interior-en-los-edificios-de-alta-eficiencia-energetica.html](#)

Chile cubica. (2014). *Domótica*. Recuperado de <https://www.chilecubica.com/instas-sanitarias-y-especiali/dom%c3%b3tica/>

Condado naranjo. (2022). *Condado naranjo, una comunidad leed*. Recuperado de <https://www.condadonaranjo.com/leed/>

Data export. (2022). *Una nueva mentalidad sostenible facilitará la construcción del futuro*. Recuperado de <https://revista.dataexport.com.gt/2022/01/una-nueva-mentalidad-sostenible-facilitara-la-construccion-del-futuro/>

Difference. (2022). *¿qué es la certificación leed?* Recuperado de <https://www.difference.com.co/que-es-la-certificacion-leed/>

econova. (2022). *La importancia de la certificación en construcción sostenible*. Recuperado de <https://fa.ort.edu.uy/blog/por-que-es-importante-la-sostenibilidad-en-la-arquitectura>

Econova. (2022). *Autodesk green building studio*. Recuperado de <https://econovainstitute.com/que-es-green-building-studio/>

Ecozap. (2023). *Impacto ambiental de los materiales de construcción*. Recuperado de [impacto ambiental de los materiales de construcción - ecozap](#)

Eurofins. (2023). *¿qué es la construcción sostenible y por qué es importante?*. Recuperado de <https://www.eurofins-environment.es/es/que-es-la-construccion-sostenible/>

Elon. (2022). *¿es posible una instalación placa solar en edificios de poca altura?*. Recuperado de <https://elon.es/es-posible-una-instalacion-placa-solar-en-edificios-de-poca-altura/>

Ensaco. (2024). *Sensores para domótica: tipos y aplicaciones*. Recuperado de <https://www.ensaco.es/sensores-domotica/>

Edge. (2024). *Edge es un sistema de certificación de construcción sostenible que se enfoca en hacer edificios más eficientes*. Recuperado de <https://edge.gbci.org/home?language=es>

homes guatemala. (2022). *Edificios en zona 10 de guatemala*. Recuperado de <https://homesguatemala.com/informativo/edificios-en-zona-10-de-guatemala/>

Ingenieriareal. (2024). *Innovaciones en materiales de construcción*. Recuperado de [innovaciones en materiales de construcción \(ingenieriareal.com\)](https://ingenieriareal.com/innovaciones-en-materiales-de-construccion/)

instituto de derecho ambiental y desarrollo sustentable. (2023). *Manual de legislación ambiental de guatemala*. [pdf]. Recuperado de <https://intracen.org/es/nuestra-labor/temas/sostenibilidad/normas-de-sostenibilidad#:~:text=las%20normas%20de%20sostenibilidad%20son,y%20el%20consumo%20de%20bienes>.

Intelectualorg (2024). *Certificaciones verdes: ¿cómo pueden agregar valor a tu marca?*. Recuperado de [certificaciones verdes: beneficios para tu marca \(intelectual.org\)](https://www.intelectual.org/certificaciones-verdes-beneficios-para-tu-marca)

Kaizen. (2024). *¿qué es el bim?*. Recuperado de <https://www.kaizenai.com/bim/que-es-el-bim/>

Kozo. (2024). *5 materiales para realizar una arquitectura sostenible*. Recuperado de <https://www.kozoarquitectura.es/materiales-para-arquitectura-sostenible/>

Kurby. (2023). *Tendencias inmobiliarias en la ciudad de guatemala: una guía completa*. Recuperado de <https://blog.kurby.ai/es/real-estate-trends-in-guatemala-city-a-comprehensive-guide/>

La casa de hormigón. (2024). *Descubre los mejores materiales de construcción para tu hogar*. Recuperado de [materiales de construcción de una casa: tipos y nombres \(lacasadehormigon.es\)](https://www.lacasadehormigon.es/materiales-de-construccion-de-una-casa-tipos-y-nombres)

Leed v4 para diseño y construcción de edificios. (2014). Recuperado de <http://www.spaingb.org/files/leed%20v4%20bd+c%20esp.pdf>

Leed v4.1 cities and communities: plan and design (2019). Recuperado de [Https://sppa.com/wp-content/uploads/leed-communities.pdf](https://sppa.com/wp-content/uploads/leed-communities.pdf)

Lorararquitectos. (2023). *El papel de la domótica en la arquitectura sostenible: cómo mejorar la eficiencia energética, el confort y la seguridad de las viviendas*. Recuperado de <https://lorarquitectos.com/el-papel-de-la-domotica-en-la-arquitectura-sostenible-como-mejorar-la-eficiencia-energetica-el-confort-y-la-seguridad-de-las-viviendas/>

Mcad. (2023). *Construcción sostenible del futuro: un enfoque innovador con bim*. Recuperado de <https://mcad.co/construccion-sostenible-futuro-enfoque-innovador-bim/>

Msi digital builders. (2019). *Bim 6d: sostenibilidad y eficiencia energética a través de revit*. Recuperado de [bim 6d: sostenibilidad y eficiencia energética a través de revit - mis digital builders \(msistudio.com\)](https://www.msistudio.com/bim-6d-sostenibilidad-y-eficiencia-energetica-a-traves-de-revit-mis-digital-builders)

Mtd. (2024). *¿qué son los actuadores de domótica?* Recuperado de

<https://manueltorresdesign.com/actuadores-domotica/#:~:text=controladores%20dom%c3%b3ticos%3a%20un%20controlador%20dom%c3%b3tico,gestionar%20todo%20el%20sistema%20dom%c3%b3tico.>

Municipalidad de Guatemala. (2015). *Pot: normativas, guías de aplicación y mapas en un solo sitio*. Recuperado de <https://muniguate.tumblr.com/post/122166266661/pot-normativas-gu%c3%adas-de-aplicaci%c3%b3n-y-mapas-en-un>

Obras urbanas. (2017). *Bim6d – la sexta dimensión del bim: bim aplicado a la eficiencia energética*. Recuperado de <https://www.obrasurbanas.es/bim6d-sexta-dimension-bimeficiencia/#:~:text=las%20herramientas%20m%c3%a1s%20conocidas%20son,%2c%20o%20riusk%20a%2c%20entre%20otros>

Ort. (2024). *Por qué es importante la sostenibilidad en la arquitectura*. Recuperado de <https://fa.ort.edu.uy/blog/por-que-es-importante-la-sostenibilidad-en-la-arquitectura>

Osma, G., y Ordóñez, G. (2010). *Desarrollo sostenible en edificaciones*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6299690.pdf>

Picharchitects. (2020). *Salud y confort en los espacios de trabajo*. Recuperado de <https://www.picharchitects.com/2020/09/23/salud-y-confort-en-los-espacios-de-trabajo/>

Planos y estilos. (2022). *La vivienda vertical, una necesidad*. Recuperado de <https://planosyestilos.com/la-vivienda-vertical-una-necesidad/>

Prensa libre. (2023). *Revista sostenibilidad*. Recuperado de <https://sostenibilidad.prensalibre.com/>

PublineWS. (2023). *Inicia la construcción del edificio que será el más alto de Guatemala*. Recuperado de <https://www.publineWS.gt/gt/tendencias/2023/08/15/altaire-sera-el-edificio-mas-alto-de-guatemala-agosto-2023.html>

Recla. (2023). *Sostenibilidad económica: la clave para un desarrollo responsable y sostenible*. Recuperado de <https://recla.org/blog/sostenibilidad-economica/>

ResearchGate. (2016). *Investigación sobre la construcción sostenible y su normalización*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/305335550_investigacion_sobre_la_construccion_sostenible_y_su_normalizacion

Rodríguez, A. (2022). *Modelo de sostenibilidad ambiental en las Organizaciones*. Recuperado de

https://oa.upm.es/54715/1/ana_rodriguez_olalla.pdf

Siber. (2019). *Eficiencia energética en edificios, ¿cómo lograr la construcción sostenible?* Recuperado de <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/eficiencia-energetica-edificios/>

Siber. (2019). *Materiales aislantes térmicos para mejorar la eficiencia energética.* Recuperado de <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/materiales-aislantes-termicos/>

Solop. (2024). *El ciclo de vida de un proyecto de construcción: claves para una óptima ejecución.* Recuperado de [el ciclo de vida de un proyecto de construcción: claves para una óptima ejecución - solop \(solopsoftware.com\)](https://www.solopsoftware.com/el-ciclo-de-vida-de-un-proyecto-de-construccion-claves-para-una-optima-ejecucion)

Soy502. (2017). *¿cuáles son los edificios más altos en guatemala?*. Recuperado de <https://www.soy502.com/articulo/cuales-son-edificios-mas-altos-guatemala-29974>

Slow studio. (2022). *Los 9 principios de la arquitectura sostenible.* Recuperado de <https://www.slowstudio.es/research/los-9-principios-de-la-arquitectura-sostenible>

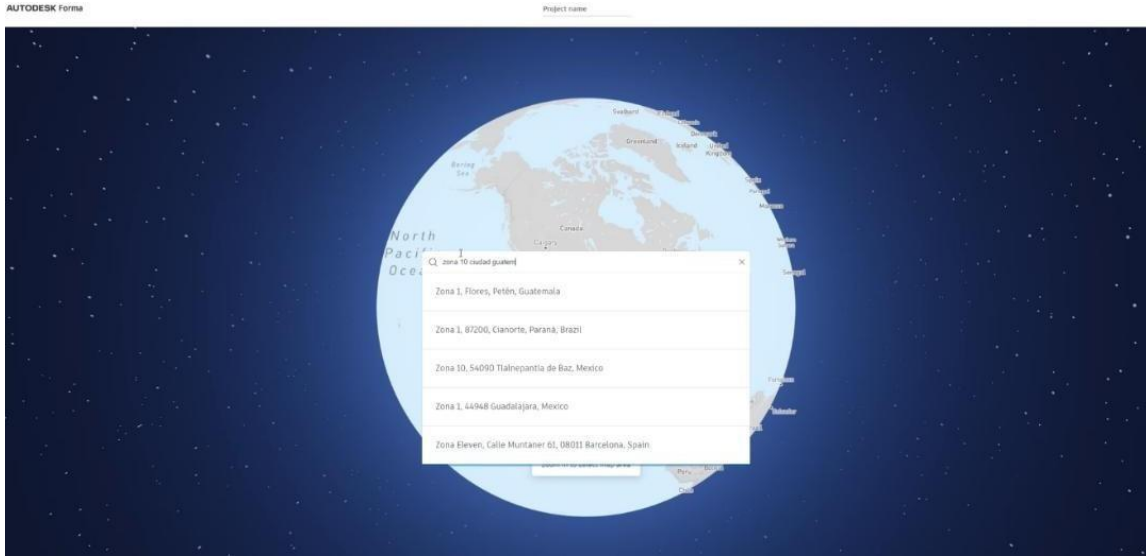
United nations. (2024). *¿qué son las energías renovables?*. Recuperado de <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-renewable-energy>

Ulma. (2023). *Metodología bim en obras de construcción.* Recuperado de [metodología bim en obras de construcción | ulma \(ulmaconstruction.es\)](https://www.ulmaconstruction.es/metodologia-bim-en-obras-de-construccion)

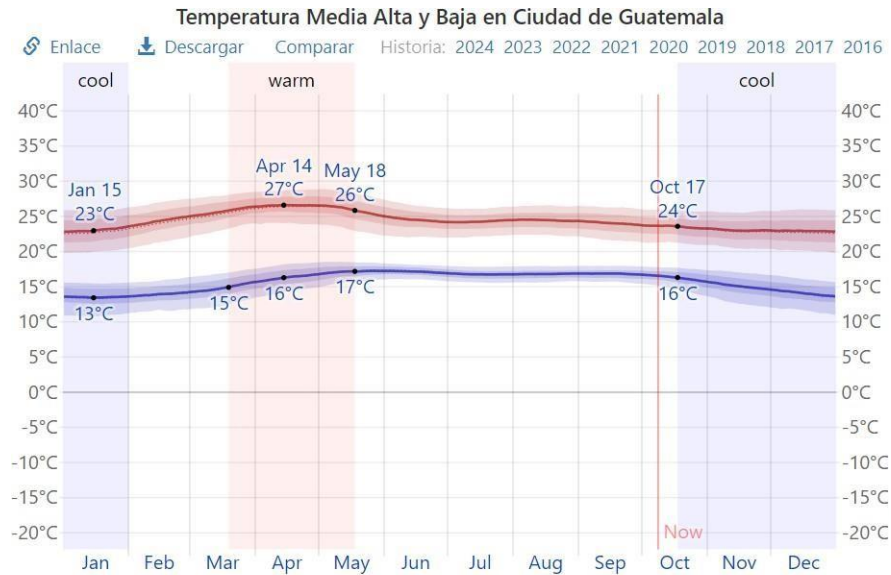
Unn. (2016). *Construcciones sostenibles: incentivos para su desarrollo en la ciudad autónoma de buenos aires.* Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/3692/369246715006/html/>

Uvg. (2022). *Bim, una metodología clave en procesos constructivos tradicionales y no tradicionales.* Recuperado de <https://noticias.uvg.edu.gt/bim-una-metodologia-clave-en-procesos-constructivos/>

X. ANEXOS



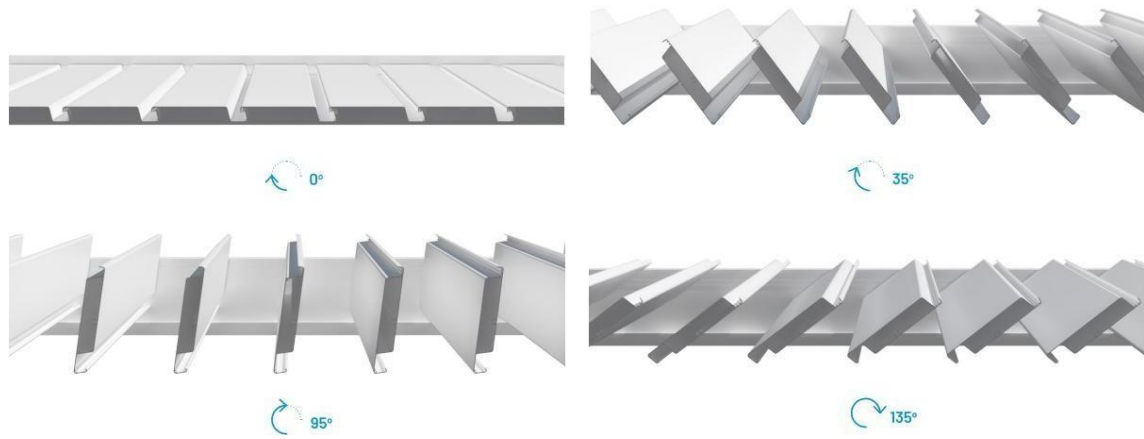
Anexo 1. Herramienta de Autodesk Forma en uso.



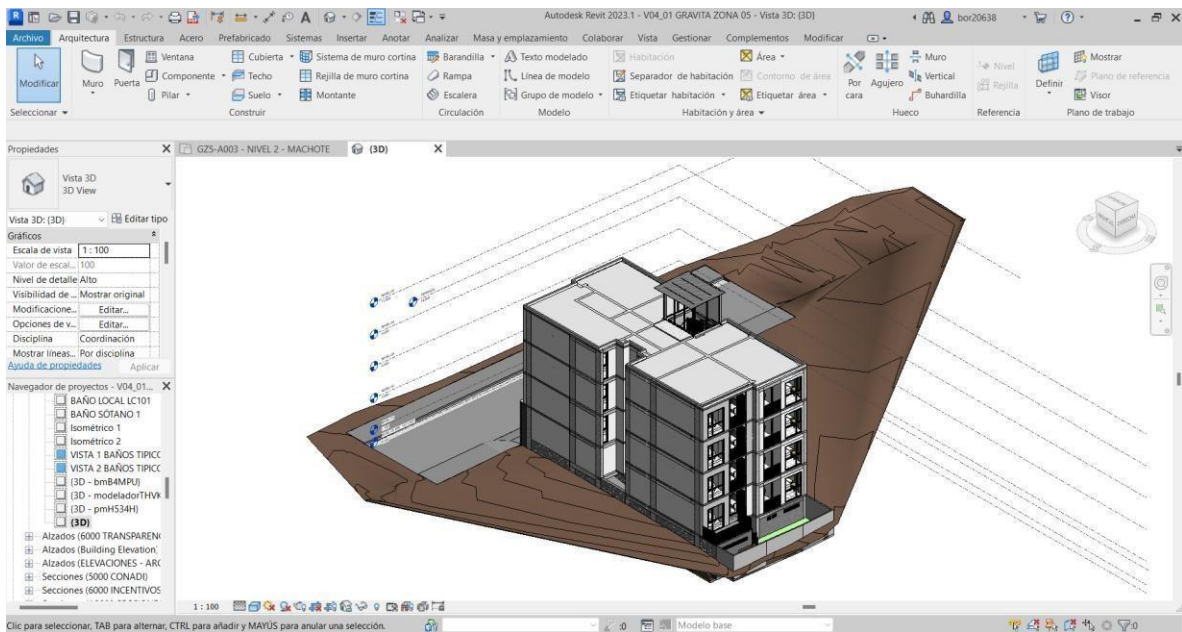
La temperatura media diaria alta (línea roja) y baja (línea azul), con bandas de percentil 25 a 75 y 10 a 90. Las líneas finas punteadas son las temperaturas promedio percibidas correspondientes.

Promedio	Jan	Febrero	Mar	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec
Alto	23°C	24°C	26°C	27°C	26°C	25°C	24°C	24°C	24°C	24°C	23°C	23°C
Temp.	17°C	18°C	19°C	21°C	21°C	20°C	20°C	20°C	20°C	19°C	18°C	18°C
Bajo	14°C	14°C	15°C	16°C	17°C	17°C	17°C	17°C	17°C	16°C	15°C	14°C

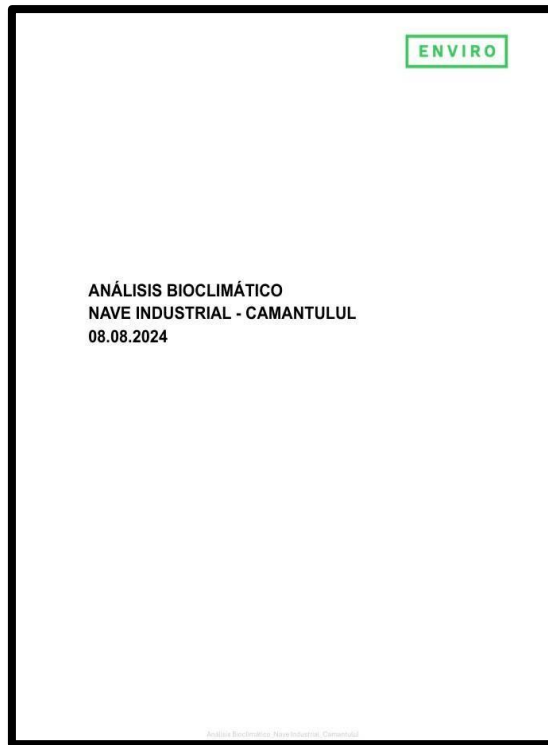
Anexo 2. Temperatura máxima y mínima del año.



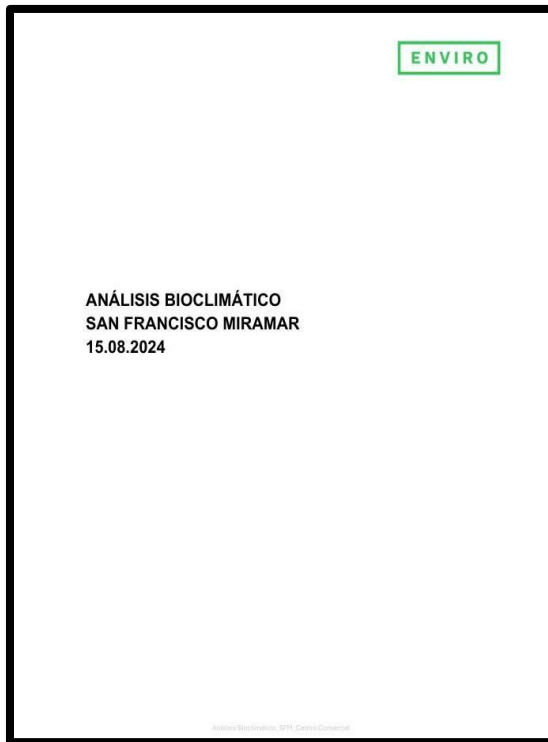
Anexo 3. Instrucciones para la Operación Manual de las Lamas: Movimiento hasta la Posición de Apertura Máxima.



Anexo 4. Edificio modelo en Revit: GRAVITA, ubicado en zona 5.



Anexo 5. Documento de apoyo: Análisis bioclimático nave industrial - Camantulul 08.08.2024. Nota. Adaptada de Arq. Valentina (2024)



Anexo 6. Documento de apoyo: Análisis bioclimático san francisco Miramar 15.08.2024. Nota: Adaptada de Arq. Valentina (2024)