

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	Código F-AC- DBL-007	Fecha 08-07- 2021	Re visión B
	Dependencia DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	Aprobado SUBDIRECTOR ACADEMICO		Pá g. 1(107)

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Manuel Oswaldo Joya Peñaranda		
FACULTAD	Facultad de ingeniería		
PLAN DE ESTUDIOS	Maestría En Construcción		
DIRECTOR	Mgtr. Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez Mgtr. Pedro Nel Angarita Uscategui		
TÍTULO DE LA TESIS	Análisis Del Consumo Energético En Edificaciones Verticales Empleado La Metodología Bim Para La Evaluación De La Sostenibilidad En El Ciclo De Vida De Las Estructuras		
TITULO EN INGLES	Analysis of Energy Consumption in Vertical Buildings Using the Bim Methodology for the Evaluation of Sustainability in the Life Cycle of Structures		
RESUMEN (70 palabras)			
<p>Los edificios son responsables de varios impactos negativos sobre el medio ambiente, la mayoría de ellos relacionados con el consumo de energía no renovable, lo que aumenta la preocupación por la eficiencia energética de los edificios. En este contexto, se han utilizado programas informáticos para estimar las necesidades energéticas del entorno construido, y la metodología BIM (Building Information Modeling) se puede utilizar para simplificar este proceso.</p>			
RESUMEN EN INGLES			
<p>Buildings are responsible for several negative impacts on the environment, most of them related to the consumption of non-renewable energy, raising concerns about the energy efficiency of buildings. In this context, computer programs have been used to estimate the energy needs of the built environment, and the BIM (Building Information Modeling) methodology can be used to simplify this process.</p>			
PALABRAS CLAVES	Energético, Edificaciones, Evaluación, Sostenibilidad, Estructuras.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Energy, Buildings, Evaluation, Sustainability, Structures.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS:108	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



**Análisis Del Consumo Energético En Edificaciones Verticales Empleando La Metodología
Bim Para La Evaluación De La Sostenibilidad En El Ciclo De Vida De Las Estructuras**

Manuel Oswaldo Joya Peñaranda

Facultad De Ingeniería, Universidad Francisco De Paula Santander Ocaña

Maestría En Construcción

Mgtr. Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez

Mgtr. Pedro Nel Angarita Uscategui

17 noviembre, 2023

Índice

Capítulo 1. Análisis del consumo energético en edificaciones verticales empleando la metodología BIM para la evaluación de la sostenibilidad en el ciclo de vida de las estructuras ...	9
1.1 Planteamiento del problema	9
1.2 Formulación del problema	11
1.3 Objetivos	12
1.3.1 <i>General.</i>	12
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	12
1.4 Justificación.....	12
1.4.1 <i>Geográficas.</i>	14
1.4.2 <i>Temporales.</i>	15
1.4.3 <i>Conceptuales.</i>	15
1.4.4 <i>Operativa.</i>	15
Capítulo 2. Marco referencial.....	16
2.1 Marco histórico.....	16
2.1.1 <i>Antecedentes</i>	18
2.2 Marco conceptual	23
2.2.1 <i>BIM y SBD</i>	23
2.2.2 <i>Integración de BIM y LCA</i>	24

	3
2.2.3 <i>BIM y BEM</i>	26
2.3 Marco contextual.....	28
2.3.1 <i>Aprobación mundial actual de BIM en la industria</i>	30
2.3.2 <i>Estudios Previos</i>	32
2.4 marco teórico.....	33
2.4.1 <i>Evaluación de la sostenibilidad de la construcción</i>	33
2.4.2 <i>Integración BIM</i>	35
2.4.3 <i>SB Tool</i>	38
2.5 Marco legal.....	39
Capítulo 3. Diseño Metodológico.....	42
3.1 Tipo de investigación.....	42
3.2 Seguimiento metodológico del proyecto.....	42
3.3 Población.....	43
3.4 Muestra.....	43
3.5 Técnicas de recolección de la información.....	43
3.6 Análisis de la información.....	44
Capítulo 4. Resultados.....	45
4.1. Desarrollar el modelo arquitectónico de una edificación vertical de dos niveles empleando el software REVIT para la generación de un modelo digital de la estructura.	45
4.1.1 <i>Descripción del modelo</i>	45

4.1.2 Aspectos climáticos a considerar	46
4.1.3 Estrategias climáticas	48
4.1.4 Planificación de niveles y espacios	49
4.1.5 Modelos arquitectónicos desarrollados	51
4.2. Realizar la simulación del modelo digital de la estructura empleando motores de simulación EnergyPlus para la generación del análisis energético.....	57
4.2.1 Preparación del modelo digital.....	58
4.2.2 Configuración de parámetros, condiciones climáticas e integración con energyplus.....	59
4.2.3 Resultados del análisis	62
4.3. Establecer un procedimiento de análisis de consumo energético para edificaciones verticales a partir de estrategias energéticas para mejorar el rendimiento en diferentes tipos de edificación.	73
4.3.1 Descripción del procedimiento.....	73
4.3.2 Recopilación de Datos, Rendimientos y Especificaciones	76
4.3.3 Tipo de Edificación y Selección de Herramientas de Análisis.....	78
4.3.4 Modelado del edificio	80
4.3.5 Parámetros Climáticos.....	83
4.3.6 Simulación energética	84
4.3.7 Evaluación del consumo energético.....	86
4.3.8 Estrategias de mejoras bioclimáticas para reducir el consumo energético	88

5. Conclusiones.....	92
Referencias	94
Apéndice.....	100

Figuras

Figura 1 Vista tridimensional del modelo 1	51
Figura 2 Vista en planta (a) primer nivel (b) segundo nivel.....	51
Figura 3 Proyección de la iluminación natural según la orientación.....	52
Figura 4 Vistas interiores y sistemas de ventilación natural	52
Figura 5 Render del modelo	53
Figura 6 Vista tridimensional del modelo 2	53
Figura 7 Vista en planta (a) primer nivel (b) segundo nivel.....	54
Figura 8 Vista de elevación (a) corte a (b) corte b	55
Figura 9 Vista tridimensional del modelo 3	55
Figura 10 Vista en planta (a) primer nivel (b) segundo nivel.....	55
Figura 11 Iluminación natural y sistemas de ventilación	56
Figura 12 Ubicación y emplazamiento del modelo.....	60
Figura 13 Configuración de energía y definición de espacios	61
Figura 13 Simulación energética anual de la vivienda.....	61
Figura 15 Benchmark Comparison.....	71

Tablas

Tabla 1 Modelo Metodológico	42
Tabla 2 Información de partida	63
Tabla 3 Input del modelo energético	63
Tabla 4 Relación entre ventanas y paredes acondicionadas	65
Tabla 5 Características y rendimiento de las zonas de la vivienda	67
Tabla 6 Resumen de las condiciones de la vivienda	70
Tabla 7 Estrategias de mejora bioclimáticas	88
Tabla 8 Input del modelo energético Vivienda 2	101
Tabla 9 Relación entre ventanas y paredes acondicionadas Vivienda 2	101
Tabla 10 Características y rendimiento de las zonas de la vivienda 2	102
Tabla 11 Resumen de las condiciones de la vivienda 2	103
Tabla 12 Input del modelo energético Vivienda 3	104
Tabla 13 Relación entre ventanas y paredes acondicionadas Vivienda 2	104
Tabla 14 Características y rendimiento de las zonas de la vivienda 3	105
Tabla 15 Resumen de las condiciones de la vivienda 3	106

Introducción

Los edificios son responsables de varios impactos negativos sobre el medio ambiente, la mayoría de ellos relacionados con el consumo de energía no renovable, lo que aumenta la preocupación por la eficiencia energética de los edificios. En este contexto, se han utilizado programas informáticos para estimar las necesidades energéticas del entorno construido, y la metodología BIM (Building Information Modeling) se puede utilizar para simplificar este proceso.

En un contexto global marcado por la creciente conciencia ambiental y la necesidad imperante de optimizar el consumo de energía en la construcción, la presente investigación se enfoca en el desarrollo de un modelo arquitectónico innovador: una edificación vertical de dos niveles. Este proyecto se llevará a cabo mediante el empleo de modelado 3D proporcionada por el software REVIT. Esta herramienta no solo permitirá la creación detallada y precisa de la estructura, sino que también facilitará su simulación energética a través de motores de simulación EnergyPlus, brindando así una visión integral de su rendimiento energético.

Además, este trabajo se propone establecer un procedimiento sistemático y eficaz para analizar el consumo energético en edificaciones verticales. Este procedimiento se basará en la formulación de estrategias de rendimiento energético, adaptados a diferentes tipos de edificación. Con ello, se busca no solo evaluar la eficiencia energética de la estructura propuesta, sino también sentar las bases para futuros desarrollos en el campo de la arquitectura sustentable y eficiente en términos de consumo energético.

Capítulo 1. Análisis del consumo energético en edificaciones verticales empleando la metodología BIM para la evaluación de la sostenibilidad en el ciclo de vida de las estructuras

1.1 Planteamiento del problema

El sector de la construcción se considera un importante consumidor de energía, así como uno de los principales culpables de la creciente presencia de carbono atmosférico. Casi el 40 % del consumo de energía y las emisiones de carbono provienen del funcionamiento de los edificios (Kim et al., 2013), por lo tanto, la conciencia sobre la optimización del consumo de energía y la reducción de carbono en los edificios se ha incrementado en los últimos años, lo que hace que la legislación sobre rendimiento energético de los edificios sea más estricta. Como explica (Jalaei & Jrade, 2014), incluso pequeños cambios en el rendimiento energético y la forma en que se ocupa cada edificio tendrán un efecto significativo en la reducción del consumo total de energía.

Un edificio durante su vida útil consume no solo la energía operativa sino también la energía incorporada. La energía operativa es la energía requerida para hacer funcionar un edificio mediante procesos operativos como calefacción y refrigeración, iluminación, ventilación y electrodomésticos; mientras que la energía incorporada de un edificio es la energía consumida por todos los procesos asociados con su producción, es decir, extraer materias primas, procesar materiales, ensamblar componentes de productos, transporte entre cada paso, construcción, mantenimiento y reparación, deconstrucción y eliminación (Ladenhauf, Battisti, et al., 2016). Por

lo tanto, la optimización del consumo de energía de los edificios requiere la misma atención tanto a la energía operativa como a la incorporada.

El análisis energético de los edificios es el principal impulso hacia la optimización energética. Permite una comprensión más profunda de los efectos probables de los cambios en el diseño y la ocupación de los edificios que afectan el rendimiento energético de los edificios. Se puede realizar un análisis energético durante la etapa de diseño, construcción y/u operación del edificio. Sin embargo, de acuerdo con el Reglamento de Eficiencia Energética de los Edificios (2012), se enfatiza que el modelado energético debe llevarse a cabo en una etapa temprana del proceso de diseño de nuevos edificios en la que hay más oportunidades disponibles para optimizar el consumo de energía mejorando aún más el diseño y construcción (Ladenhauf, Berndt, et al., 2016).

Por otro lado, durante la última década el modelado de información de construcción (BIM) tuvo un crecimiento significativo dentro de la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (AEC) (Chen et al., 2017), lo que permitió mejorar la toma de decisiones y el rendimiento en todo el ciclo de vida de la construcción y la infraestructura (Sanhudo et al., 2018). La incorporación del análisis de energía en BIM durante la etapa de diseño sin duda brindaría muchos beneficios, incluido dar más espacio para crear opciones de alternativas que optimicen el consumo de energía del ciclo de vida completo del edificio. Se han llevado a cabo varias investigaciones que integran la evaluación de energía incorporada y operativa con BIM en plataformas de aislamiento, pero se encontraron contribuciones de investigación limitadas que integran el análisis de energía del ciclo de vida completo del edificio (operativo e incorporado)

con BIM durante la etapa inicial de diseño para optimizar el consumo total de energía (Andreani et al., 2019).

En este sentido, la investigación planteada presenta los diferentes métodos adoptados para realizar el estudio de consumo energético, esto es seguido por los beneficios del análisis de energía basado en BIM durante la etapa inicial de diseño de los edificios. Dado que el enfoque de modelado de energía convencional emplea dibujos en 2D creados tradicionalmente para crear un modelo independiente en una herramienta de modelado de energía (Andreani et al., 2019). Esto puede dar lugar a malas interpretaciones de los dibujos, inconsistencias, modelo simplificado y gran cantidad de tiempo necesario para crear un modelo energético (Reeves, Olbina e Issa, 2015). Por el contrario, el análisis de energía basado en BIM ayuda a automatizar este proceso y crea modelos de energía consistentes y más complejos que brindan resultados más rápidos y precisos en comparación con los métodos tradicionales.

1.2 Formulación del problema

El problema de investigación se plantea mediante los siguientes interrogantes:

¿Es considerado el consumo energético en el diseño de edificaciones verticales en la ciudad de Cúcuta?

¿Qué procedimiento metodológico permitirá realizar un adecuado análisis de consumo energético empleando la metodología BIM para evaluar la sostenibilidad en edificaciones verticales?

1.3 Objetivos

1.3.1 General.

Desarrollar una metodología de análisis del consumo energético en edificaciones verticales mediante la metodología BIM para la evaluación de la sostenibilidad en el ciclo de vida de las estructuras.

1.3.2 Objetivos específicos

Desarrollar el modelo arquitectónico de una edificación vertical de dos niveles empleando el software REVIT para la generación de un modelo digital de la estructura.

Realizar la simulación del modelo digital de la estructura empleando motores de simulación EnergyPlus para la generación del análisis energético.

Establecer un procedimiento de análisis de consumo energético para edificaciones verticales a partir de los estrategias energéticas para mejorar el rendimiento en diferentes tipos de edificación.

1.4 Justificación

Mediante esta investigación se plantea un estudio que explora los desafíos en el uso de herramientas existentes para el análisis energético del ciclo de vida de edificios completos durante la fase inicial de diseño de proyectos basados en BIM (Maciel & Carvalho, 2019). Dado que BIM permite almacenar información multidisciplinaria en un solo modelo, promoviendo un entorno de colaboración en tiempo real entre las partes interesadas a lo largo del ciclo de vida del edificio. Entre las aplicaciones más conocidas de BIM, su conexión con Building Energy Modeling (BEM) se ha utilizado para mejorar el rendimiento energético de los edificios (Amani

& Reza Soroush, 2021). BEM es una poderosa herramienta para analizar y mejorar el rendimiento energético y el confort térmico de los edificios, proporcionando a los equipos de proyecto datos concisos para evaluar el rendimiento y los impactos ambientales de diferentes soluciones de diseño (Sharma & Prasath Kumar, 2022).

El análisis de consumo energético se puede integrar en el diseño, la construcción y la operación/mantenimiento de edificios de manera más eficiente, ya que el rendimiento energético se analiza utilizando el modelo BIM central sin tener que recrear la geometría del edificio en ciertas plataformas de análisis de energía. Según US-GSA (2015), el uso del análisis de energía basado en BIM brinda varios beneficios, entre ellos: un análisis de rendimiento energético más preciso y completo en las primeras etapas de diseño, un mejor análisis de costos del ciclo de vida y más oportunidades para monitorear el rendimiento real del edificio durante la fase de operación (Ferdosi et al., 2022). Además de ellos, ayuda a evaluar los beneficios energéticos de varias alternativas de diseño y, por lo tanto, ayuda a los diseñadores y propietarios a tomar mejores decisiones relacionadas con la selección de materiales y productos que tengan un bajo impacto ambiental (Pereira et al., 2021).

Adicionalmente, se debe considerar que a medida que la sociedad crece, aumenta la preocupación por la demanda de comodidad y el consumo de energía de los ocupantes de los edificios (Fitriani et al., 2022). Las principales razones están directamente relacionadas con el bajo rendimiento energético de los edificios y el uso irracional de la energía. En este sentido, esta investigación parte del principio de que la eficiencia energética es un factor esencial para lograr un desarrollo sostenible, para lo cual es necesario optimizar el uso de la energía sin comprometer

la calidad ambiental interior, utilizando tecnologías eficientes y soluciones constructivas pasivas y activas. La eficiencia energética está relacionada con el desempeño del edificio en las tres dimensiones de sustentabilidad, que son: Medio ambiente, debido al uso de recursos y emisiones de carbono; La Sociedad, debido al confort ambiental interior y la Economía, debido al costo de la energía y su impacto en los ingresos de los hogares (Fitriani et al., 2022; Veerendra et al., 2022).

Por lo tanto, a partir de esta investigación se espera lograr generar esquemas de Evaluación de la Sostenibilidad de Edificios (BSA, por sus siglas en inglés) que generalmente evalúan un conjunto de características y desempeño relacionados con la energía del edificio. Dichos esquemas pueden proporcionar un marco de apoyo a la decisión para que los diseñadores mejoren la sostenibilidad de los edificios, así como para evaluarlos de acuerdo con las normas y regulaciones tanto a nivel nacional como internacional (Tahmasebinia et al., 2022).

Finalmente, se espera poder generar una metodología que permita actuar de manera efectiva en el uso de la energía y la sostenibilidad dado que estos últimos son un camino esencial para lograr edificios mejores, ecológicos, cómodos y rentables.

1.5 Delimitaciones

1.4.1 Geográficas.

Este proyecto se desarrollará en la ciudad de Cúcuta Norte de Santander, tomando como referencia las edificaciones de uno y dos niveles que generalmente se construyen en la ciudad.

1.4.2 Temporales.

El proyecto planteado tendrá una duración de 8 meses desde la aprobación de la propuesta por parte del comité curricular

1.4.3 Conceptuales.

A nivel conceptual el proyecto se centra en los principios de la metodología BIM. Además, se abordan conceptos relacionados con la sostenibilidad, los análisis energéticos y los aspectos bioclimáticos aplicados a un proyecto de construcción.

1.4.4 Operativa.

El proyecto se desarrollo con el software BIM REVIT (AUTODESK ®) para el desarrollo del modelo 3D, adicionalmente se uso el plug-in INSIGHT 360 ® con los motores de EnergyPlus y DOE 2.2 para la modelación energética del edificio.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Marco histórico

A medida que la sociedad crece, aumenta la preocupación por la demanda de comodidad y el consumo de energía de los ocupantes de los edificios. Las principales razones están directamente relacionadas con el bajo rendimiento energético de los edificios y el uso irracional de la energía. La eficiencia energética es un factor esencial para lograr un desarrollo sostenible (Johari et al., 2022). Es necesario optimizar el uso de la energía sin comprometer la calidad ambiental interior, utilizando tecnologías eficientes y soluciones constructivas pasivas y activas. La eficiencia energética está relacionada con el desempeño del edificio en las tres dimensiones de la sostenibilidad (Sanhudo et al., 2018):

- Medio ambiente debido al uso de recursos y emisiones de carbono;
- Sociedad: debido al confort ambiental interior;
- Economía: por el costo de la energía y su impacto en los ingresos de los hogares.

Por lo tanto, los esquemas de Evaluación de la Sostenibilidad de Edificios (BSA, por sus siglas en inglés) generalmente evalúan un conjunto de características y desempeño relacionados con la energía del edificio (Sanhudo et al., 2018). Dichos esquemas pueden proporcionar un marco de apoyo a la decisión para que los diseñadores mejoren la sostenibilidad de los edificios, así como para evaluarlos de acuerdo con las normas y regulaciones locales. Actuar de manera efectiva en el uso de la energía y la sostenibilidad de los edificios es un camino esencial para lograr edificios mejores, ecológicos, cómodos y rentables (Chen et al., 2017).

Frente a las crecientes capacidades del Modelado de información de construcción (BIM) para la industria de la construcción, los diseñadores e investigadores lo están aplicando ampliamente para administrar los datos de construcción y mejorar la eficiencia y la calidad global (Jalaei & Jrade, 2014). Durante los últimos cinco años, el uso de BIM para la construcción sostenible también ha experimentado un crecimiento exponencial. BIM permite almacenar información multidisciplinaria en un solo modelo, promoviendo un entorno de colaboración en tiempo real entre las partes interesadas a lo largo del ciclo de vida del edificio (Veerendra et al., 2022).

Entre las aplicaciones más conocidas de BIM, su conexión con Building Energy Modeling (BEM) se ha utilizado para mejorar el rendimiento energético de los edificios. BEM es una poderosa herramienta para analizar y mejorar el rendimiento energético y el confort térmico de los edificios, proporcionando a los equipos de proyecto datos concisos para evaluar el rendimiento y los impactos ambientales de diferentes soluciones de diseño. A pesar de las ventajas reconocidas durante la fase de diseño, todavía existe un gran potencial de escalabilidad, ya que varios diseñadores aún no utilizan BIM para el análisis energético debido al conocimiento y tiempo necesarios para preparar el modelo energético e interpretar los resultados (Chen et al., 2017).

Independientemente de los beneficios y los diferentes enfoques BIM para realizar análisis energéticos, BIM no se utiliza en el contexto portugués para desarrollar proyectos térmicos obligatorios. Las principales herramientas de energía BIM suelen estar orientadas a la región, y

los motores de cálculo no lo están, de acuerdo con las regulaciones energéticas portuguesas (Poerschke & Kalisperis, 2007). Además, las tecnologías de construcción portuguesas y los estándares de calidad ambiental interior son bastante diferentes de la mayoría de los países europeos. Los diseñadores portugueses solo pueden beneficiarse de esas herramientas en la optimización del diseño del edificio. Además, la legislación portuguesa requiere un proyecto térmico para cada edificio para emitir permisos de construcción. Hoy en día, los diseñadores deben completar manualmente un conjunto de hojas de cálculo con las características del edificio, lo que requiere un conocimiento profundo sobre el edificio y el método de cálculo de energía, así como un tiempo considerable para realizar el análisis (Chiaia et al., 2015).

2.1.1 Antecedentes

(Veerendra et al., 2022) presentó un marco para respaldar las decisiones de diseño y permitir la evaluación del ciclo de vida (LCA) de la energía gris asociada con la cadena de suministro de materiales de construcción en función de las declaraciones ambientales de productos (EPD) de los proveedores. El marco integró la tecnología Extract Transform Load (ETL) en el BIM para garantizar la interoperabilidad BIM-LCA, lo que permite un proceso de evaluación automatizado o semiautomático. La pertinencia del marco se probó mediante el desarrollo de un ejemplo y su victimización en un estudio de caso, que mostró que el uso de energía y la huella de carbono de un edificio pueden reducirse considerablemente durante la parte visual al tener en cuenta el impacto del material individual dentro de la cadena de suministro.

(Ferdosi et al., 2022) investigó el impacto de la orientación en el consumo de energía en la construcción a pequeña escala y evaluó cómo BIM suele facilitar este método. La estrategia adoptada fue triple. En primer lugar, se creó un modelo de construcción de la vida real en Revit, una de las principales herramientas BIM. En segundo lugar, el modelo se exportó a Building Studio sin experiencia, uno de los principales paquetes de software de simulación de energía. En tercer lugar, en el estudio de construcción sin experiencia, se adoptaron orientaciones de edificios completamente diferentes y se investigaron sus impactos en la unidad de área de energía total del edificio. Resultó que un edificio bien orientado podría ahorrar una cantidad sustancial de energía a lo largo de su ciclo de vida.

(Jahangir et al., 2022) reunió la teoría de la evaluación del ciclo de vida (LCA) y las capacidades de BIM para estudiar los desarrollos actuales en la eficiencia energética de los sistemas estructurales. Además, el artículo exploró las dimensiones de ingeniería de los procedimientos comunes de toma de decisiones dentro de los sistemas BIM, incluidos los métodos de optimización, las restricciones de construcción y seguridad y las limitaciones de cumplimiento del código. La investigación presentó exposiciones críticas tanto en los dominios de la ingeniería como de la energía sostenible y luego el artículo argumentó que las innovaciones fallidas en la toma de decisiones sostenibles de las estructuras de los edificios requerirían flujos de trabajo integrados con BIM para facilitar la naturaleza conflictiva de los índices de eficiencia energética y de rendimiento de la ingeniería.

(Ahmed et al., 2022) exploró las potencialidades y deficiencias del modelado, análisis y optimización de edificios industriales energéticamente eficientes utilizando la metodología BIM

to BEM (modelado de energía de edificios), por medio de la investigación de estudio de caso de dos instalaciones industriales. Los diferentes deseos en cuanto a la cantidad de desarrollo y las variaciones lingüísticas en los procedimientos de modelado de las disciplinas participantes (arquitectura, ingeniería estructural o análisis) se conocen como problemas, así como la presión del tiempo, en conjunto, de las principales causas de los defectos de los modelos de construcción. Los déficits conocidos representan diversos tipos de incertidumbres asociadas con el modelado energético integrado, como BIM a BEM. Se concluyó que, como primer paso del modelado integrado, se debe llevar a cabo un análisis de incertidumbre y se deben desarrollar estrategias para abordarlas.

(Andreani et al., 2019) utilizó el lenguaje de programación visual para establecer el potencial del uso de BIM como una herramienta para la visualización y gestión del rendimiento de un edificio en las etapas de diseño y operación, lo que resultó en una metodología basada en datos de simulación, sensores y entrevistas con diseñadores y usuarios. Sin embargo, los autores enfatizaron que, para que BIM sea utilizado de manera efectiva como una herramienta de gestión del desempeño, se deben solicitar patrones de uso para estructurar los datos, y los profesionales y usuarios deben estar obligados a adaptarse a los impactos de esas nuevas tecnologías. sobre sus roles.

(Venkatesh et al., 2023a) se centró en el empleo de herramientas de diseño sostenible BIM para realizar edificios energéticamente eficientes y lograr criterios de propiedad para la renovación de edificios no domésticos. La investigación también revisó la practicidad de las herramientas de soporte de decisiones de sostenibilidad existentes que se utilizan actualmente

para ayudar a lograr certificaciones de esquemas ambientales como BREEAM y LEED para proyectos de renovación. La tensión dinámica entre dos sistemas en competencia, BREEAM y LEED, es deseable. Claramente, un esquema de evaluación de talla única sería difícil de lograr a nivel mundial. Los diferentes problemas deben ser jerárquicos para que coincidan con las condiciones y reglas regionales.

(Carvalho et al., 2019a) propusieron un marco basado en varios parámetros de desempeño para permitir que los tomadores de decisiones utilicen procedimientos y software estándar para potenciar el proceso de uso y gestión de energía sostenible en edificios, a través de un análisis paramétrico en diferentes condiciones climáticas. El diseño experimental se adoptó dentro del marco a través de la utilización de una variedad de parámetros de rendimiento asociados con el estilo de construcción (es decir, materiales de construcción para paredes exteriores y techos, además como un grupo de proporciones de ventana a pared). Los resultados indicaron que la información climática juega un papel básico dentro de la selección de los factores de diseño que mejor se adaptan al consumo de energía efectivo en los edificios. Dado que el cambio climático es impredecible, es importante tener en cuenta sus efectos. Pero además, sería mejor si se utilizara el efecto de los tipos de materiales para mejorar la optimización energética con una posible opción para elegir materiales con menos emisiones de carbono.

(Pereira et al., 2021) presentó la rehabilitación de edificios existentes para convertirlos en edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB). Se evaluaron las implicaciones de una situación de mejora mundial en el confort térmico y visual con referencia a un edificio existente. La rehabilitación energética debe considerar diferentes parámetros como el cambio climático, la

modificación del código de diseño, los materiales utilizados y otros parámetros que tienen un efecto directo en la optimización energética. Los resultados apuntaron que las actuaciones de rehabilitación energética de la envolvente del edificio conducirían a mejoras significativas en el rendimiento térmico, tanto en el ahorro energético (37% de la energía primaria anual para calefacción) como en el confort térmico.

(Chaarvika et al., 2022) introdujo un enfoque sistemático basado en BIM para la modernización de energía, que comprende un espectro completo de adquisición de información, modelado de energía e interoperabilidad de software. As Energy Simulation es un análisis asistido por computadora que ayuda a los profesionales de la construcción a evaluar y aumentar la eficiencia energética a través de las modificaciones requeridas en la fase de planificación del proyecto. Se definió un límite detallado del sistema, que incluye la reducción del consumo de energía, el ahorro de costos, la inversión de capital, el cambio técnico en el comportamiento de las emisiones y la indexación del confort junto con los problemas de sostenibilidad.

(Sharma & Prasath Kumar, 2022) examinó los desarrollos recientes dentro de la potencia energética de los edificios, combinando la rehabilitación energética y también las capacidades tecnológicas de BIM. Se exploran soluciones para la adquisición de conocimientos según construcción, como el escaneo de dispositivos ópticos y la técnica de diagnóstico por infrarrojos y las pruebas de energía in situ que benefician la adquisición de conocimientos relacionados con la energía. Se examina el paquete de software BIM más predominante en lo que respecta no solo al análisis de energía, sino también al desarrollo de modelos. además, las restricciones de

capacidad entre BIM y el paquete de análisis de energía se abordan utilizando los esquemas Industry Foundation Classes (IFC) y Green Building Extensible Markup Language (gbXML).

2.2 Marco conceptual

2.2.1 BIM y SBD

Los gráficos y la información digital de los componentes en BIM, habilitan una función de análisis y control que puede vincularse a SBD. El soporte funcional de BIM para SBD se refleja en la capacidad de las herramientas BIM para el modelado energético y la selección de materiales sostenibles para reducir el impacto ambiental. La vinculación de BIM con las herramientas de análisis de diseño sostenible (SDA) facilita las evaluaciones integrales de compensación ambiental durante las primeras etapas de diseño. Por esto, BIM, cuando se combina con herramientas de software de análisis de rendimiento dinámico, puede proporcionar medidas cuantificables como el consumo de energía operativa, las emisiones de carbono, la gestión de residuos, que se retroalimentan en la toma de decisiones (Sanhudo et al., 2018).

Este enfoque se ocupa del aspecto de cálculo de SDA como se describe por Ceranic et al. Zanni et al. ha examinado el alcance de las consideraciones para SBD y las ha alineado con las etapas 0, 1 y 2 del Plan de trabajo RIBA 2013. Las consideraciones de sostenibilidad deben expresarse cualitativamente en la etapa 0 y luego cuantificarse (a través de métricas y puntos de referencia) en la etapa 1, y finalmente, probado y definido explícitamente en la etapa 2. La

factibilidad de los criterios de sustentabilidad es la base para optimizar el diseño, realizando iteraciones en el Diseño Conceptual (etapa 2) (Sanhudo et al., 2018).

El proceso estandarizado desarrollado ha alineado el Plan de Trabajo RIBA con un Nivel de Desarrollo (LOD) definido e información no gráfica para regular los intercambios de información entre los participantes del equipo del proyecto. El LOD, es decir, los detalles de modelado y los requisitos de información se tratan como críticos para los análisis para optimizar la solución de diseño. Por lo tanto, los detalles del modelado y las suposiciones sobre las especificaciones y el rendimiento de los materiales utilizados para las simulaciones de energía son limitaciones para la optimización de SBD (Ferdosi et al., 2022).

Idealmente, el detalle del modelado en la Etapa 1 debe proporcionar un esquema que incluya la ubicación del sitio, el diseño y la masa. Esto ayuda a optimizar la solución de diseño frente a criterios como los estudios de radiación solar y el consumo de energía estimado. En la Etapa 2, el enfoque cambia al desempeño. Aquí, el modelo debe tener detalles geométricos suficientes y válidos y especificaciones de servicios iniciales junto con especificaciones de materiales, valores U, costo de capital, etc. Esto permite la optimización del diseño contra criterios que incluyen carbono incorporado, toxicidad, emisiones de CO₂, etc (Ferdosi et al., 2022).

2.2.2 Integración de BIM y LCA

LCA ayuda a identificar los impactos asociados con las diferentes etapas del ciclo de vida del edificio. Cubre la extracción y el transporte de materias primas a la fábrica, la fabricación, el transporte y la distribución, el uso y la reutilización, el mantenimiento, el reciclaje y la disposición final. Estos definen las condiciones de contorno de LCA. El LCA tradicional es complejo y tedioso debido a los datos requeridos y, a menudo, los diseñadores lo evitan (Invidiata & Ghisi, 2016).

Los esfuerzos recientes para simplificar este proceso de aplicación al diseño han intentado incorporar LCA y BIM centrándose en tecnologías inteligentes, metodologías de rendimiento y análisis de evaluación de inversiones. El análisis de edificios utilizando la integración BIM-LCA se considera ventajoso si la cantidad de datos, los procesos de evaluación, la integración BIM-LCA se considera ventajoso si la cantidad de datos, los procesos de evaluación, la integración BIM-LCA en Autodesk Revit ha demostrado ofrecer la ventaja de los despegues de materiales automatizados y la extracción de datos de componentes del BIM sin tener que ingresar los datos manualmente (Veerendra et al., 2022).

Hay algunas herramientas BIM-LCA en el mercado con diferentes niveles de complejidad, resultados y rendimiento. Tally, Athena Impact Estimator (ATHENA IE) y One Click LCA (OCL) son ejemplos notables que se han utilizado en análisis de sostenibilidad que bordean la elección de materiales y productos de construcción. A. Schultz et al. comparó a Tally con ATHENA IE y descubrió que Tally funcionaba mejor al permitir que los usuarios lo hicieran. La capacidad de Tally para identificar el impacto de materiales específicos en un edificio y una lista detallada de la cantidad de cada material utilizado en el proyecto como un

apéndice del informe de impacto lo convierte en una herramienta adecuada para que los arquitectos realicen análisis LCA. Algunos estudios BIM-LCA han incorporado herramientas de análisis de energía como GBS e IES-VE para capturar datos de energía operativa para el análisis de todo el edificio. Se ha descubierto que GBS tiene una interoperabilidad perfecta con Autodesk Revit (Veerendra et al., 2022).

2.2.3 BIM y BEM

Los proyectos de construcción son cada vez más difíciles y complicados. Se han introducido nuevos enfoques, como BIM, en las empresas constructoras para ayudar a los diseñadores a gestionar toda la información del proyecto. BIM se puede definir como una metodología de trabajo que permite gestionar el dibujo 3D y los datos del proyecto en formato digital durante todo el ciclo de vida del edificio. BIM puede mejorar la productividad de los procesos de diseño y gestión, con las partes interesadas trabajando en colaboración en tiempo real. BIM implica un modelo de información de construcción, que es un modelo paramétrico orientado a objetos, con todos los datos del proyecto. El nivel de desarrollo (LOD) del modelo, que va de 100 a 500, especifica y articula el contenido y la confiabilidad del modelo BIM (Joshi et al., 2022).

BIM crea una excelente oportunidad para incorporar medidas sostenibles a lo largo del proceso de diseño. Algunos autores ya han identificado las fases de preconstrucción y proyecto como las críticas, donde se deben tomar las principales decisiones en cuanto a la sostenibilidad de la edificación. Dado que esa es también la fase en la que los proyectos pueden beneficiarse

más de BIM, la influencia que puede tener en la mejora de la sostenibilidad de los edificios se hace evidente. BIM puede proporcionar información sobre el rendimiento estimado del edificio incluso en las primeras etapas de diseño (Poerschke & Kalisperis, 2007).

En 2008, Krygiel y Nies reconocieron siete aspectos en los que BIM se puede utilizar para apoyar el diseño sostenible. Cinco de ellos (Orientación del edificio, Volumen del edificio, Análisis de luz natural, Energía renovable y Modelado de energía) eran criterios directamente relacionados con la energía. Por lo tanto, un análisis de energía puede beneficiarse significativamente de BIM, lo que lleva a varias investigaciones relacionadas con la energía basadas en BIM: BEM (Perfetto et al., 2018).

BIM y BEM permiten a los diseñadores evaluar diferentes opciones de diseño durante las primeras etapas del proyecto, creando la oportunidad de desarrollar edificios optimizados con mayor eficiencia energética y comodidad. Sin embargo, dicha aplicación frecuentemente se realiza de manera aislada, potenciada por el uso de simulaciones energéticas en las primeras fases del proyecto. Además, la integración de BEM en el flujo de trabajo colaborativo de BIM tampoco está lo suficientemente desarrollada y sincronizada, y las estrategias de diseño de eficiencia energética a menudo no están bien implementadas (Poerschke & Kalisperis, 2007).

En el contexto de BIM, la interoperabilidad de modelos entre software generalmente se realiza con Industry Foundation Classes (IFC), Green Building XML (gbXML) o complementos directos. Estos son los esquemas de datos estándar abiertos más comunes, que se utilizan comúnmente para el intercambio de información entre herramientas BIM y BEM. Kamel y

Memari destacaron las diferencias entre ambos cuando se utilizan con fines de simulación energética. A pesar del uso del esquema XML Green Building (gbXML) principalmente para el dominio de simulación de energía, solo se puede leer la geometría rectangular y no permite la orientación de áreas específicas de un proyecto. El IFC se usa comúnmente para diferentes dominios de aplicación (un tipo de datos más completo) y es capaz de leer cualquier geometría. Sin embargo, algunos datos aún no se transfieren adecuadamente, lo que lleva al desarrollo de complementos correctivos (Chen et al., 2017).

2.3 Marco contextual

Las metodologías de entrega tradicionales en el modelo comercial de AEC en Colombia siguen estando fragmentadas en gran medida, en muchas empresas, los diseños multidisciplinarios están en constante interferencia y es necesario realizar una cantidad significativa de reelaboración. Actualmente, el flujo de trabajo de los métodos de adquisición en la industria de la construcción todavía carece de una integración completa del equipo y los proyectos frecuentemente sufren relaciones antagónicas, alto grado de ineficiencia y reelaboración, disputas frecuentes y falta de innovación; por lo tanto, la información del proyecto suele ser difícil de generar, transmitir, reutilizar, coordinar y provoca una mala práctica de gestión (Aibinu & Venkatesh, 2013) que genera demoras, costos de campo no anticipados, implicaciones legales no deseadas y un producto final de mala calidad.

El proceso de Entrega Integrada de Proyectos (IPD) ha crecido considerablemente y a

Los actores de la industria AEC pueden mejorar la integración y construir mejores edificios al implementar con éxito un enfoque relativamente nuevo para diseñar, construir y administrar proyectos llamado Building Information Modeling (BIM) (Ladenhauf et al., 2016).

BIM es una fuente de información generada y mantenida de forma colaborativa durante todo el ciclo de vida de un proyecto (Perfetto et al., 2018). Proporciona una representación digital de las características físicas y funcionales de una determinada instalación (NBIMS-US, 2015) y permite el trabajo integrado y simultáneo a través de una plataforma común que garantiza un intercambio de información consistente entre las partes interesadas a través de un único modelo digital paramétrico (Aibinu & Venkatesh, 2013). La implementación de BIM ha permitido un proceso más eficiente en la industria AEC que a menudo se traduce en numerosos ahorros y una mayor competitividad a lo largo del ciclo de vida del proyecto de construcción, produciendo infraestructuras considerablemente mejores con una mayor satisfacción de las partes interesadas (Kreider & Messner, 2013).

Además, la adopción de nuevas metodologías, flujos de trabajo y software ha llevado al desarrollo de nuevos roles de gestión. BIM Manager es un ejemplo de esta declaración. Según Eastman et al. (2011) Los gestores de modelos desempeñan dos roles básicos: dentro de su

trabajan con equipos de proyecto para actualizar el modelo de construcción, garantizar el origen, la orientación, la nomenclatura y la consistencia del formato, y coordinar el intercambio de componentes del modelo con grupos de diseño internos y diseñadores externos, (Eastman, Teicholz, Sacks y Liston, 2011).

Aunque el concepto BIM es casi universal, su implementación y uso dependen en gran medida de la cultura organizacional (Khosrowshahi & Arayici, 2012). Por lo tanto, se puede argumentar que, dado que las diferentes condiciones contextuales afectan la cultura organizacional, también afecta la implementación de BIM y existe la necesidad de comprender este proceso en cada marco individual. La investigación reportada en este artículo pretende establecer los avances hacia la implementación de BIM en la industria AEC colombiana. El objetivo es proporcionar una imagen amplia de la situación actual y ofrecer recomendaciones que podrían mejorar la adopción generalizada de BIM en el país. También ofrece una línea de base para que las organizaciones públicas y privadas tomen decisiones informadas en la adopción de BIM. Esta investigación consolida diversas opiniones y hechos que allanan el camino para una estrategia nacional de implementación BIM.

2.3.1 Aprobación mundial actual de BIM en la industria

La literatura contiene varias experiencias internacionales que muestran una mayor atención global del sector de la construcción sobre este tema. Además, dado que se espera que el mercado global de la construcción crezca US\$ 8 billones para 2030, y hasta ese punto, el mercado colombiano de la construcción, US\$ 26 mil millones (Banrep, 2016), casi se duplicará (Global

Construction 2030, 2016), la Industria AEC Colombiana definitivamente debe convertirse en una industria mucho más eficaz y eficiente y aprovechar al máximo los avances tecnológicos y desarrollos industriales con el objetivo de abastecer lo que requiere la población.

El nivel de implementación de BIM y su madurez difiere de un país a otro.

Definitivamente, el mayor impulsor de la implementación de BIM en diferentes países se debe a las iniciativas lideradas por el gobierno, como EE. , 2014). Además, la estrategia de construcción del gobierno del Reino Unido acaba de implementar el uso de BIM totalmente colaborativo en proyectos del sector público en 2016 (Cabinet Office, 2011). Del mismo modo, después del 1 de julio de 2015, todos los planos de proyectos de edificios nuevos en Singapur con una superficie construida superior a 5000 m² deben presentarse en formato BIM (Teo, Ofori, Tjandra y Kim, 2016). Además, la Autoridad de Vivienda de Hong Kong se ha fijado el ambicioso objetivo de utilizar BIM en todos sus nuevos proyectos para finales de 2014 (Sawhney, 2014). Mientras que algunos países europeos como Dinamarca, Finlandia, Noruega y España están jugando un papel importante en el proceso de adopción de BIM, algunas economías emergentes, como Oriente Medio, China e India, todavía están rezagadas en la adopción de BIM (Sawhney, 2014).

En Latinoamérica, el gobierno de Chile ha anunciado que a partir de 2016 se promoverá que se desarrollen proyectos oficiales implementando BIM siguiendo los lineamientos del mandato BIM británico (Dirección de prensa Gobierno de Chile, 2015), mientras que Perú (CAPECO, 2014) y México (Jung & Lee, 2015) han mostrado un progreso significativo al dar el primer paso hacia la implementación de BIM impulsada por la industria; sin embargo, al igual que en Colombia, existe un amplio margen de mejora para lograr un nivel de madurez avanzado

en términos de estandarización, uso generalizado en toda la cadena de suministro, uso extensivo en las etapas de construcción y gestión de instalaciones, entre otros (Flórez, Guevara, Ozuna, & Vargas, 2013) (Botero, Puche, & Botero, 2015). Los próximos años serán críticos para el desarrollo de BIM en Colombia. Este estudio brinda una primera mirada sobre el estado actual de esta tecnología en el país, y así, intenta vislumbrar hacia dónde se acerca el panorama.

2.3.2 Estudios Previos

BIM se ha adoptado en muchos países desde principios de la década de 2000 (Jung & Lee, 2015) y numerosos investigadores, empresas e instituciones se han esforzado por medir el nivel de implementación de BIM, ya que saberlo es decisivo para evaluar y resolver problemas de implementación de BIM.

Dado que estos problemas pueden tener diferentes causas en los países y, sin duda, existen dificultades intrínsecas para las industrias y regiones locales, muchos estudios de adopción de BIM se han centrado en países particulares. Por ejemplo, el "Informe SmartMarket" de McGraw Hill Construction a menudo produce informes basados en la adopción de BIM en diferentes latitudes. El "Informe Nacional BIM" de National Building Specification (NBS) se centra en el Reino Unido como resultado del mandato BIM, buildingSMART también ofrece informes sobre diferentes países, Won, J., Lee, G. y Lee, C. (2009) publicaron el artículo titulado "Análisis comparativo de la adopción de BIM en la industria de la construcción coreana y otros países". y Nikkie BP Consulting, Inc. (2011). Publicó el mismo año, un informe que recopila, de igual manera la literatura recopila numerosas experiencias y análisis para varios países y sus

hallazgos varían significativamente, sin embargo, luego de una revisión exhaustiva de la literatura, los autores no encontraron un artículo o publicación oficial sobre el estado de adopción de la industria en Colombia.

Curiosamente, la mayoría de estas encuestas y diagnósticos han estado usando índices similares, como la tasa de adopción de BIM, el porcentaje de usuarios expertos de BIM y los años que usan BIM. A pesar de las similitudes entre los índices utilizados en encuestas anteriores, cada encuesta se centró principalmente en un solo país o industria a la vez y concluyó específicamente para su contexto particular.

2.4 marco teórico

2.4.1 Evaluación de la sostenibilidad de la construcción

En las últimas dos décadas, varias entidades a nivel mundial han desarrollado métodos BSA. Estos métodos tienen como objetivo implementar y difundir principios sostenibles y evaluar y monitorear el desempeño de los edificios y recopilar información para respaldar la toma de decisiones. Algunos de sus beneficios incluyen la conservación del medio ambiente; mejora del rendimiento del edificio y del confort, la salud y la seguridad de los ocupantes (Ronzino et al., 2015).

Los métodos BSA generalmente se caracterizan por evaluar algunas características parciales del edificio y agregar los resultados en un puntaje de sostenibilidad. Brindan una

oportunidad para que los proyectos demuestren sus beneficios ecológicos, económicos y sociales a la comunidad local. Los métodos BSA más conocidos, que proporcionan una base para todos los demás enfoques, son la Metodología de Evaluación Ambiental del Establecimiento de Investigación de Edificios (BREEAM) del Establecimiento de Investigación de Edificios (BRE), el Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (LEED) de los Estados Unidos Green Building Council (USGBC) y Sustainable Building Tool (SBTool) de la iniciativa internacional para un entorno construido sostenible (iiSBE) (Carvalho et al., 2019b).

Hoy en día, los métodos BSA se suelen aplicar después de que se completa el diseño (o incluso después de la construcción del edificio), lo que hace que las posibles modificaciones para mejorar la sostenibilidad del edificio sean insoportables o demasiado costosas. Esto puede justificarse debido a la cantidad y complejidad de los datos y la documentación necesarios para la evaluación. La aplicación de los métodos BSA también es un enfoque voluntario en todo el mundo, con la ausencia de una legislación obligatoria (Dutt et al., 2017).

Además, el procedimiento de evaluación es un proceso lento, particularmente en los métodos basados en el desempeño, que generalmente es incompatible con los cortos plazos de las empresas del proyecto, por lo que es necesario buscar enfoques más eficientes y expeditos. Por ejemplo, (Ahmed et al., 2022) sugirió un método de calificación de edificios ecológicos en tiempo real que puede identificar posibles formas de optimizar la calificación final durante el proceso de diseño. Los investigadores también identificaron otras limitaciones, como errores de herramientas de medición manuales y tradicionales o mediante cálculos o incluso durante la recopilación de datos. Este tipo de errores pueden tener un gran impacto en el medio ambiente,

ya que estos métodos son la fuente principal para dar forma a las decisiones sostenibles en los proyectos. Las restricciones fáciles de usar, la estructura crediticia compleja y el conocimiento requerido del usuario también son problemas comunes que dificultan el uso de los métodos BSA (Kim & Han, 2012).

El escenario portugués para los métodos BSA todavía tiene un largo recorrido. Los diseñadores portugueses a menudo descuidan los esquemas de evaluación de la sostenibilidad, ya que no existe ninguna evaluación sostenible obligatoria para los edificios. Además, realizar una BSA es un proceso complejo y que requiere mucho tiempo. Hasta la fecha, Portugal no ha tenido un método BSA oficial, y solo se han desarrollado explícitamente un par de esquemas de calificación de sostenibilidad de edificios para las condiciones del país, como SBToolPT-H, LiderA y Domus Natura. Según Pires y Fidélis, el desarrollo de indicadores sostenibles en Portugal carece de compromiso y visión políticos, así como de una escasa participación de las partes interesadas. Sin embargo, los métodos existentes ya se han adaptado para abarcar diferentes tipos de edificios portugueses, como casas residenciales, hospitales, escuelas, oficinas o incluso áreas urbanas (Carvalho et al., 2019b).

2.4.2 Integración BIM

A pesar de la tendencia reciente sobre el uso de BIM con fines de sostenibilidad, todavía falta investigación que considere todas las dimensiones de la sostenibilidad. Independientemente de los beneficios potenciales, hasta ahora, BIM no se ha utilizado de manera integral para obtener la información requerida para una evaluación de sostenibilidad. El software BIM

existente todavía carece de problemas de sostenibilidad, y los archivos de formato de intercambio todavía necesitan más desarrollo. Así, surge la oportunidad de que los métodos BSA se beneficien de las capacidades BIM, así como la posibilidad de integrar los diferentes métodos BSA en el proceso colaborativo BIM (Dolenc & Klinc, 2017).

Más allá de los beneficios directos para los equipos de proyecto y los ocupantes de los edificios, se esperan ventajas significativas para la industria de la construcción, como edificios más sostenibles y ecológicos y una reducción de los posibles impactos ambientales. Con la creciente madurez de BIM, también se espera una mayor integración de la sostenibilidad de los edificios (Dolenc & Klinc, 2017).

Actualmente, BIM se usa más comúnmente para respaldar la evaluación de LEED, principalmente en las categorías de energía y atmósfera y materiales y recursos. Sin embargo, varios autores centraron su investigación en evaluar diferentes créditos de todas las categorías LEED. BREEAM también ha atraído la atención de los investigadores. BIM se ha utilizado para respaldar la evaluación de los créditos BREEAM en las categorías de materiales, energía, agua, uso del suelo y ecología, salud y bienestar y residuos y contaminación. Edwards et al. identificó qué criterios de BREEAM y LEED se pueden evaluar con algunas herramientas BIM reconocidas. La mayoría de ellos a menudo pueden proporcionar datos para evaluar las categorías relacionadas con la energía y el confort interior de ambos esquemas (Basack & Sarkar, 2019).

También se han realizado otros intentos para diferentes esquemas BSA, con Wong y Kuan evaluando 26 de los 56 criterios del método BEAM Plus con BIM de una manera más rápida y precisa. En la Certificación Australiana de Edificios Green Star, Gandhi y Jupp usaron BIM para evaluar el 66% de los créditos del esquema de edificios de oficinas. Hoseini et al. sugirió que BIM también puede respaldar la evaluación del 75% de la Certificación Green Star de Nueva Zelanda con el desarrollo de pautas adecuadas. En cuanto a SBTool, Carvalho et al. desarrolló un marco conceptual para la integración de BIM con el método portugués BSA para edificios residenciales: SBToolPT-H. El procedimiento de evaluación de casi todos los criterios SBToolPT-H puede beneficiarse significativamente del uso de BIM. También compararon la viabilidad de usar BIM en SBToolPT-H con su uso en otros métodos BSA, como LEED y BREEAM (Carvalho et al., 2019b; Venkatesh et al., 2023b).

A pesar de los beneficios, una conclusión común es que BIM no está correctamente orientado y no ha alcanzado todo su potencial para el diseño de edificios sostenibles. También hay problemas frecuentes de interoperabilidad entre las plataformas y herramientas BIM, con cierta pérdida de información, lo que requiere tiempo adicional para la verificación y corrección del modelo. Los estándares comunes para el intercambio de datos también deben desarrollarse aún más para incluir más cuestiones de sostenibilidad. Chong et al. argumentaron que los futuros estándares BIM deberían considerar un requisito para la evaluación de la sostenibilidad, mientras que Gandhi y Jupp solicitaron planes específicos de coordinación y ejecución de BIM (Venkatesh et al., 2023b).

2.4.3 SB Tool

El método SBTool de BSA se considera el más completo de todos los métodos debido a su flexibilidad para adaptarse al contexto local de la región. SBTool ya ha influido en los sistemas de calificación nacionales de Austria, España, Japón y Corea, y se utilizan versiones personalizadas en Italia, la República Checa y Portugal. La transposición de la SBTool al escenario residencial portugués (SBToolPT-H) se realizó para crear un método genérico para evaluar la sostenibilidad de los edificios portugueses existentes, nuevos y renovados. Este método tiene como objetivo apoyar a los equipos de diseño desde las primeras etapas de diseño y crear conciencia para adoptar soluciones de construcción más sostenibles (Carvalho et al., 2019b).

En SBToolPT-H hay un total de 25 parámetros, ordenados en nueve categorías, que se dividen en tres dimensiones de sostenibilidad: Medio Ambiente, Sociedad y Economía. Cada parámetro tiene un peso diferente de acuerdo con los estándares y prácticas nacionales, y se evalúa el edificio analizado y dos puntos de referencia: el mejor y prácticas sostenibles convencionales. El rendimiento del edificio en comparación con los puntos de referencia (Carvalho et al., 2019b).

En esta escala adimensional, 0 corresponde a la práctica convencional y 1 a la mejor práctica. El valor normalizado luego se convierte en una escala cualitativa que va de E a A+, donde D corresponde a la práctica convencional y A a la mejor práctica. Dado que el objetivo de

esta investigación es utilizar los resultados de la simulación energética basada en BIM para respaldar la evaluación de los métodos BSA, es necesario investigar más a fondo los criterios relacionados con la eficiencia energética de SBToolPT-H (Carvalho et al., 2019b).

La categoría de eficiencia energética (C3) de SBToolPT-H reúne dos parámetros de sostenibilidad relacionados con la eficiencia energética de los edificios: P7: energía primaria y P8: producción de energía in situ a partir de fuentes renovables. Para obtener altas puntuaciones en estos parámetros, es fundamental optimizar la eficiencia energética del edificio y la producción de energía in situ a partir de fuentes renovables mediante la mejora de la envolvente del edificio y los sistemas energéticos. Ambos parámetros se basan en métodos de cálculo definidos en la normativa portuguesa REH, lo que obliga a los diseñadores a realizar cálculos diferentes y lentos para obtener los datos necesarios para la evaluación (Carvalho et al., 2019b).

2.5 Marco legal

En Colombia, la realización de proyectos de construcción y análisis energético se rige por un conjunto de normativas y regulaciones destinadas a promover la sostenibilidad y eficiencia energética en el sector. Las cuales corresponden a:

Ley 361 de 1997 - "Por la cual se establecen mecanismos de integración social de las personas con limitación y se dictan otras disposiciones": Esta ley tiene como objetivo promover la inclusión y accesibilidad de las personas con discapacidad en espacios construidos, lo cual debe ser considerado en el diseño de la edificación.

Ley 400 de 1997 - "Por la cual se adoptan normas sobre construcción, propiedad horizontal y dictan otras disposiciones": Establece regulaciones específicas sobre construcción, diseño y urbanismo, incluyendo aspectos de seguridad, habitabilidad y accesibilidad.

Ley 1715 de 2014 - "Por medio de la cual se regula el uso de tecnologías limpias y eficientes en vehículos automotores, se establecen los estándares de emisión y ruido para vehículos automotores y se dictan otras disposiciones": Esta ley promueve el uso de tecnologías limpias y eficientes en el transporte, lo cual impacta en la planificación de accesos y estacionamientos en el proyecto.

Resolución 1796 de 2000 - "Por la cual se establece el Reglamento de Construcciones Sismo Resistentes": Esta resolución define los requisitos para la construcción de edificaciones sismo resistentes, asegurando la seguridad estructural de la edificación.

Decreto 926 de 2017 - "Por el cual se reglamenta el uso de energía no convencional y se dictan otras disposiciones": Este decreto promueve la utilización de fuentes de energía no convencionales, lo cual puede influir en la selección de sistemas de energía para la edificación.

Decreto 1075 de 2015 - "Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible": Este decreto establece las regulaciones relacionadas con la gestión ambiental, lo cual incluye aspectos como la evaluación de impacto ambiental del proyecto.

Guía Técnica Colombiana GTC 45 - "Gestión Ambiental": Esta guía establece los lineamientos para la gestión ambiental de proyectos de construcción, incluyendo aspectos como la identificación y evaluación de impactos ambientales.

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación planteada es de carácter cuantitativo cuyo objetivo consiste en emplear diferentes herramientas correccionales para el análisis del consumo energético en edificaciones verticales, que posteriormente empleando la metodología BIM se realizara una evaluación de la sostenibilidad en el ciclo de vida de las estructuras. Este análisis partirá desde la modelación de una vivienda tipo, a la cual se le desarrollaran diferentes materiales y sistemas constructivos que permitan comparar posteriormente la variabilidad en el consumo energético de la edificación. Con los resultados obtenidos se podrá consolidar la información necesaria para establecer la metodología planteada.

3.2 Seguimiento metodológico del proyecto

En la tabla 1 se indica el conjunto de indicadores y actividades por objetivos que permiten realizar un seguimiento metodológico al proyecto.

Tabla 1

Modelo Metodológico

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	ACTIVIDADES POR OBJETIVO	INDICADOR POR ACTIVIDAD
Obj 1. Desarrollar el modelo arquitectónico de una edificación vertical de dos niveles empleando el software REVIT para la generación de un modelo digital de la estructura.	Act 1. Establecer las condiciones ambientales y sociales de la ciudad de Cúcuta	Ind 1. Criterios constructivos de diseño
	Act 2. Establecer los criterios de diseño para la edificación	Ind 2. Criterios constructivos de diseño
	Act 3. Definir el modelo de vivienda tipo de dos niveles para la ciudad Cúcuta	Ind 3. Modelo arquitectónico de edificación

Obj 2. Realizar la simulación del modelo digital de la estructura empleando motores de simulación DOE 2.2 y EnergyPlus para la generación del análisis energético.	Act 1. Establecer los criterios para la parametrización del modelo	Ind 4. Modelo paramétrico de edificación
	Act 2. Elaborar la simulación DOE 2.2	Ind 2. Informe de resultados
	Act 3 Elaborar la simulación EnergyPlus	Ind 3. Informe de resultados
Obj 3. Establecer un procedimiento de análisis de consumo energético para edificaciones verticales a partir de los esquemas de rendimiento y diagramas para diferentes tipos de edificación.	Act 1. Recopilar los datos obtenidos	Ind 5. Compilación de resultados
	Act 2. Definir los parámetros de la metodología estableciendo parámetros básicos para el análisis energético en función de diferentes variables (Materiales, sistema constructivo, etc)	Ind 6. Parámetros de la metodología

3.3 Población

La población corresponde a las edificaciones residenciales de la ciudad de Cúcuta.

3.4 Muestra

La muestra seleccionada son las viviendas de dos niveles de uso residencial en la ciudad de Cúcuta.

3.5 Técnicas de recolección de la información

La técnicas de observación para el desarrollo del proyecto incluyen lo siguiente:

- Análisis documental
- Revisión de informes técnicos
- Parametrización de modelo

3.6 Análisis de la información

Para el desarrollo del análisis de información se plantea lo siguiente:

- Análisis de parámetros
- Diagramas

Capítulo 4. Resultados

4.1. Desarrollar el modelo arquitectónico de una edificación vertical de dos niveles empleando el software REVIT para la generación de un modelo digital de la estructura.

4.1.1 Descripción del modelo

Un modelo es una versión virtual del diseño del edificio. Describe la geometría de los elementos del modelo y captura la intención del diseño y las relaciones lógicas entre los elementos.

En el contexto del desarrollo urbano y arquitectónico de la ciudad de Cúcuta, es imperativo abordar la planificación y diseño de edificaciones que no solo respondan a criterios estéticos y funcionales, sino que también se adecuen a las particulares condiciones climáticas de la región. Con este objetivo se buscó la creación de un modelo arquitectónico de una edificación vertical de dos niveles, empleando la herramienta de diseño REVIT.

Cúcuta, con su clima subtropical de sabana, presenta desafíos específicos en términos de diseño arquitectónico. La consideración de variables como la radiación solar, la dirección de los vientos predominantes y las precipitaciones anuales se convierten en elementos cruciales para garantizar la habitabilidad y eficiencia energética de la estructura.

A continuación, se describe el proceso detallado de diseño y modelado digital, abarcando desde la configuración inicial del proyecto en REVIT hasta la incorporación de elementos arquitectónicos y estructurales específicamente adaptados a las condiciones climáticas de Cúcuta. Este enfoque integrado busca no solo asegurar la funcionalidad y seguridad del edificio, sino también promover la sostenibilidad y el bienestar de sus ocupantes en armonía con el entorno local. Se proporciona además en detalle cada fase del proceso, desde la planificación de niveles y espacios, hasta la incorporación de elementos de diseño que responden a las características climáticas únicas de Cúcuta. Además, se abordan aspectos relativos a la optimización del rendimiento energético y confort térmico, con el propósito de proporcionar un modelo arquitectónico integral y adaptado a las necesidades de la ciudad.

4.1.2 Aspectos climáticos a considerar

Los aspectos climáticos esenciales que influyen el diseño arquitectónico en la ciudad de Cúcuta, parten de la comprensión y adaptación a las particularidades del clima subtropical de sabana, lo cual resulta fundamental para concebir espacios residenciales que responden de manera óptima a las variaciones térmicas, las precipitaciones estacionales y la radiación solar característica de esta región. A través de un análisis exhaustivo de los elementos climáticos, se proporcionarán las directrices y estrategias necesarias para concebir viviendas que promuevan el confort, la eficiencia energética y la sostenibilidad, armonizando así el entorno construido con las condiciones naturales de Cúcuta. Estos aspectos se identifican a continuación:

Clima Subtropical de Sabana: Cúcuta, situada en el departamento de Norte de Santander, Colombia, experimenta un clima subtropical de sabana. Este tipo de clima se caracteriza por estaciones secas e húmedas bien definidas, con temperaturas relativamente cálidas durante todo el año. Es esencial considerar estos patrones climáticos al diseñar viviendas residenciales para garantizar la comodidad y el bienestar de los habitantes.

Temperaturas: Las temperaturas en Cúcuta tienden a ser elevadas durante gran parte del año. Los meses de enero a marzo son generalmente los más cálidos, con temperaturas diurnas que pueden superar los 30°C. Por otro lado, las noches pueden ser frescas, especialmente durante la estación seca.

Precipitaciones: La ciudad experimenta una marcada temporada de lluvias entre los meses de mayo y octubre. Durante este período, las precipitaciones pueden ser intensas, lo que debe ser tenido en cuenta en el diseño para asegurar una correcta evacuación del agua y prevenir problemas de inundación.

Radiación Solar: El nivel de radiación solar en Cúcuta es significativo a lo largo del año. Es esencial considerar la orientación de las viviendas y la ubicación de ventanas y aberturas para aprovechar la luz natural y minimizar la ganancia de calor excesiva en el interior.

Vientos: Los vientos predominantes en Cúcuta provienen del noreste y suroeste. Este factor debe ser considerado al ubicar ventanas y aberturas para aprovechar la ventilación natural y promover la circulación de aire fresco en el interior de las viviendas.

4.1.3 Estrategias climáticas

Orientación Pasiva: Es recomendable que las fachadas principales de las viviendas deben estar orientadas hacia el norte y el sur para aprovechar al máximo la luz natural y reducir la exposición directa al sol durante las horas más cálidas del día (Basack & Sarkar, 2019).

Protección Solar: Se deben incorporar elementos de sombreado como aleros, toldos o vegetación estratégicamente ubicada para reducir la ganancia de calor excesiva y mantener temperaturas interiores confortables.

Ventilación Cruzada: Es recomendable diseñar aberturas en lados opuestos de la vivienda para fomentar la circulación de aire y permitir una ventilación cruzada, refrescando el espacio de manera natural.

Aislamiento Térmico: En estos casos es preferible utilizar materiales de construcción que proporcionen un buen aislamiento térmico para mantener una temperatura interior estable y confortable.

Captación de Agua de Lluvia: Dependiendo de la zona, una opción ecológica es implementar sistemas de recolección de agua de lluvia para su posterior uso en riego o tareas no potables, contribuyendo así a la sostenibilidad del hogar.

En términos generales el diseño climático en viviendas residenciales en Cúcuta debe tener en cuenta la interacción compleja entre las condiciones climáticas locales y las necesidades de los habitantes. Considerar factores como la orientación, protección solar, ventilación y aislamiento térmico permitirá crear espacios habitables que promuevan el confort y la eficiencia energética, en armonía con el entorno climático de la ciudad.

4.1.4 Planificación de niveles y espacios

En el caso de la vivienda vertical de dos niveles en Cúcuta, es importante considerar la distribución de los espacios de manera eficiente, teniendo en cuenta las condiciones climáticas y las necesidades de los ocupantes. A continuación, se presenta la propuesta de planificación:

Primer Nivel:

1. Acceso y Vestíbulo: Ubicado en la fachada principal, el acceso principal se conecta a un vestíbulo acogedor que da la bienvenida a los residentes y visitantes.

2. Sala de Estar y Comedor: Una amplia sala de estar se encuentra en la zona central, con acceso a un comedor contiguo. Ventanas estratégicamente ubicadas permiten la entrada de luz natural y ofrecen vistas al entorno.

3. Cocina: La cocina, situada cerca del comedor, está diseñada con una distribución eficiente y acceso a una despensa o área de almacenamiento.

4. Área de Servicios: Incluye un lavadero y espacio para la lavadora y secadora, así como un pequeño baño de servicio.

5. Baño de Visitas: Un baño de visitas se encuentra convenientemente ubicado cerca de las áreas comunes.

Segundo Nivel:

1. Dormitorios: Se proponen tres dormitorios en el segundo nivel, incluido el dormitorio principal con baño en suite.

2. Baños: Además del baño en suite del dormitorio principal, se planifican uno o dos baños adicionales para servir a los otros dormitorios.

3. Espacio Multiusos o Sala de Estudio: Un espacio flexible puede destinarse como sala de estudio, sala de juegos o zona de descanso, según las necesidades de los ocupantes.

4. Closets o Armarios Empotrados: Se integran closets o armarios empotrados en los dormitorios para maximizar el espacio de almacenamiento.

Consideraciones Especiales:

1. Orientación: Se aprovecha la orientación norte-sur para ubicar áreas de estar y dormitorios, minimizando la exposición directa al sol.
2. Ventilación Cruzada: Ventanas estratégicamente ubicadas en lados opuestos de la edificación facilitan la circulación de aire y la ventilación cruzada.
3. Iluminación Natural: Se prioriza la ubicación de ventanas y aberturas para maximizar la entrada de luz natural y reducir la dependencia de iluminación artificial.
4. Privacidad y Conexión con el Exterior: Se considera la ubicación de ventanas y balcones para brindar vistas agradables y mantener la privacidad de los espacios.

4.1.5 Modelos arquitectónicos desarrollados

A partir de los aspectos ya mencionado, se elaboraron diferentes propuestas arquitectónicas para una vivienda unifamiliar de dos niveles, la cual esta proyectada en la ciudad de Cúcuta.

A continuación de indican los modelos desarrollados:

Figura 1

Vista tridimensional del modelo 1



Figura 2

Vista en planta (a) primer nivel (b) segundo nivel

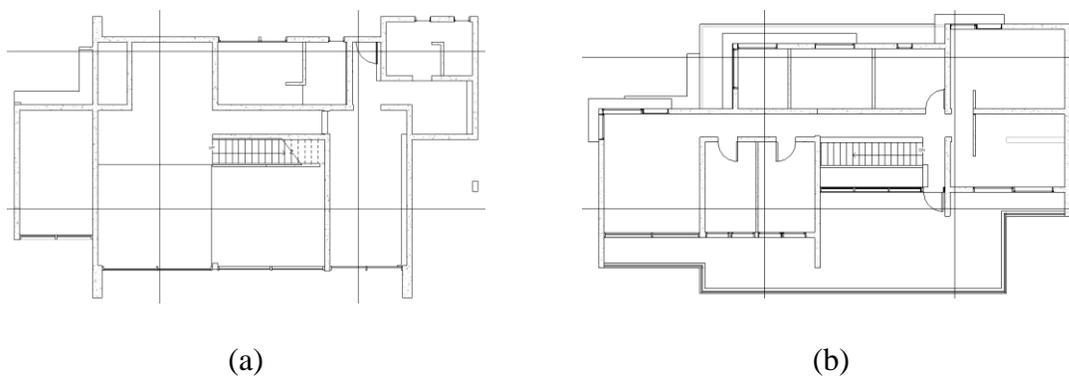


Figura 3

Proyección de la iluminación natural según la orientación

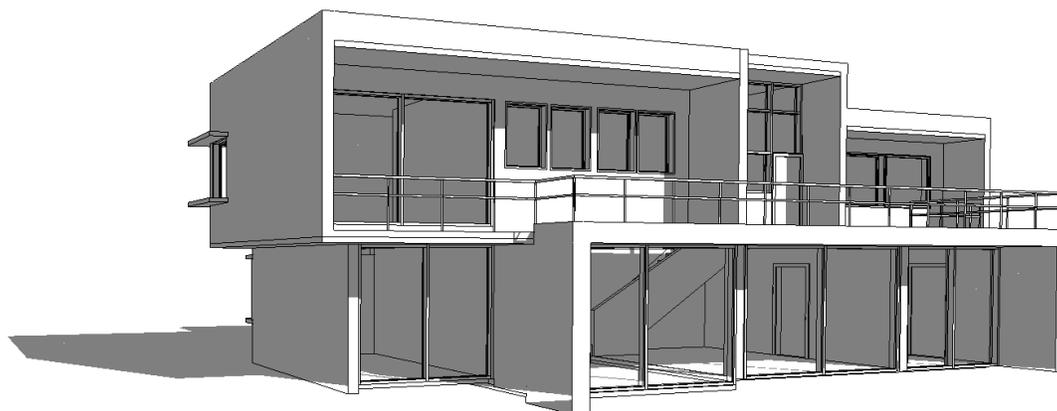


Figura 4

Vistas interiores y sistemas de ventilación natural

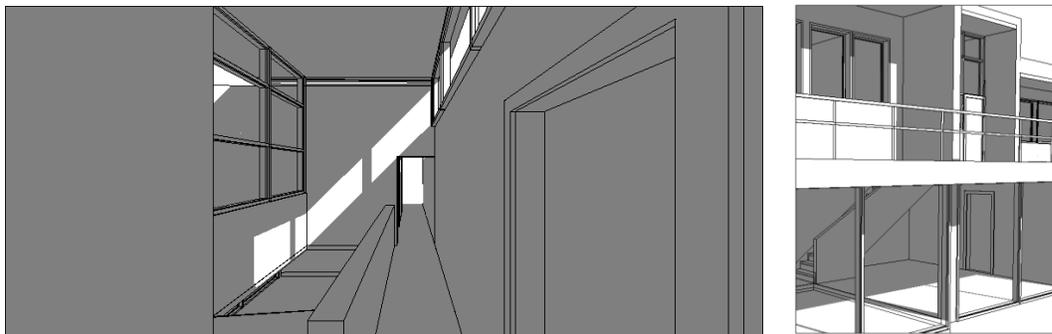


Figura 5

Render del modelo

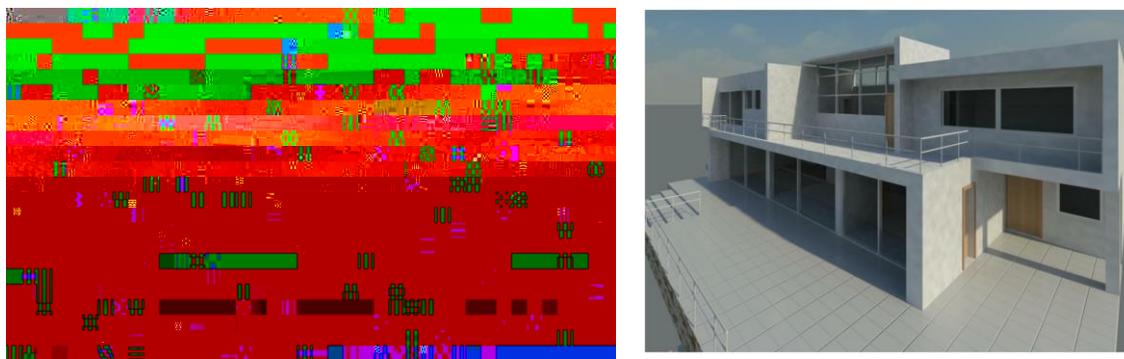


Figura 6

Vista tridimensional del modelo 2

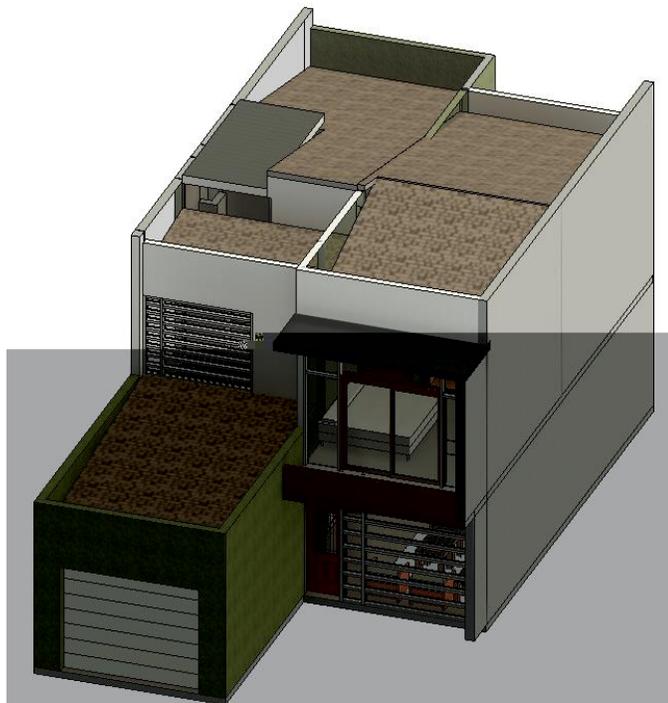
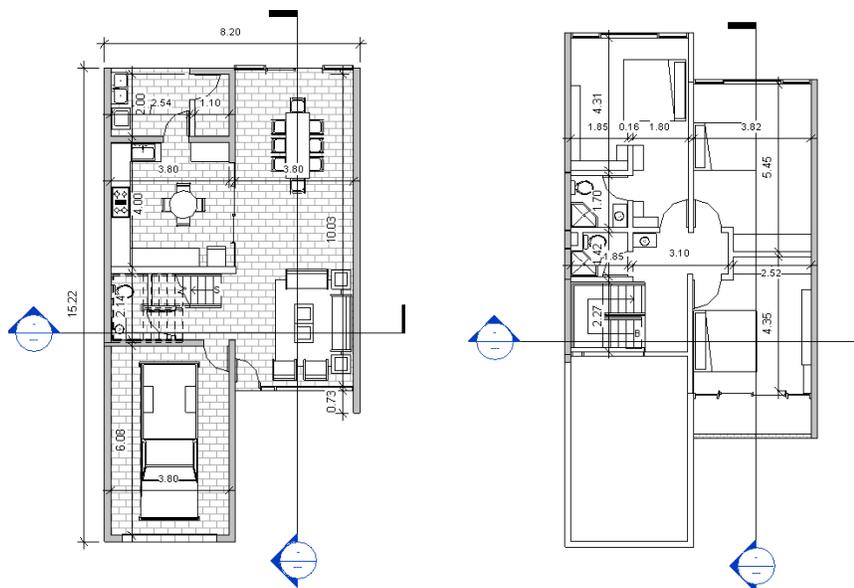


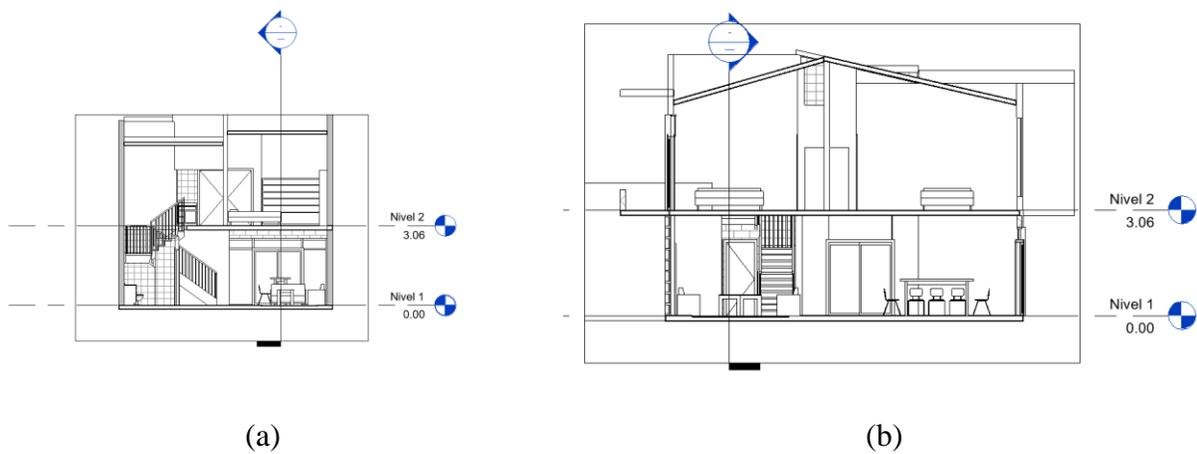
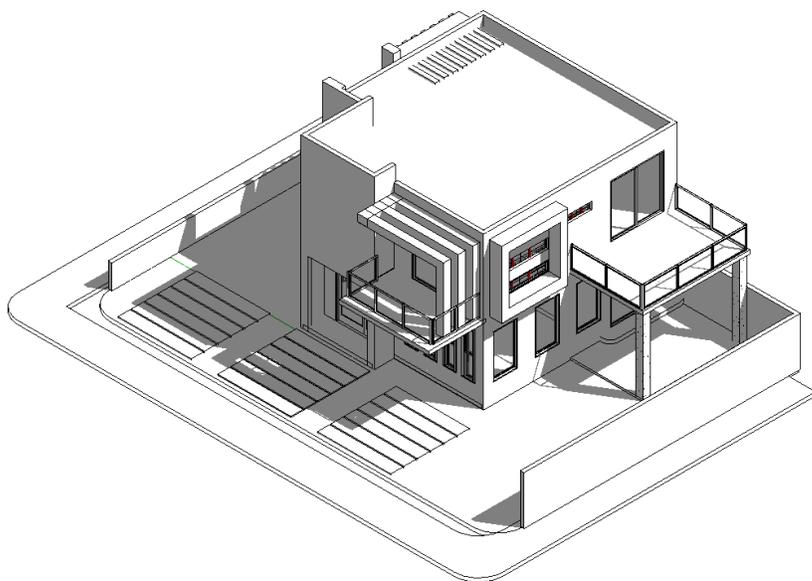
Figura 7

Vista en planta (a) primer nivel (b) segundo nivel

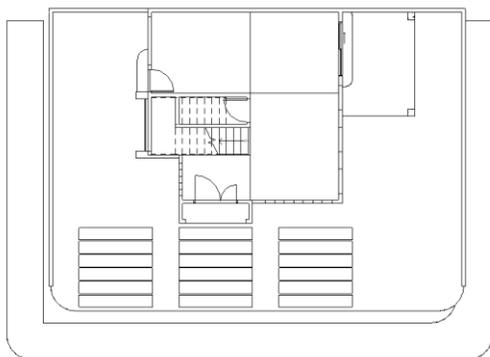


(a)

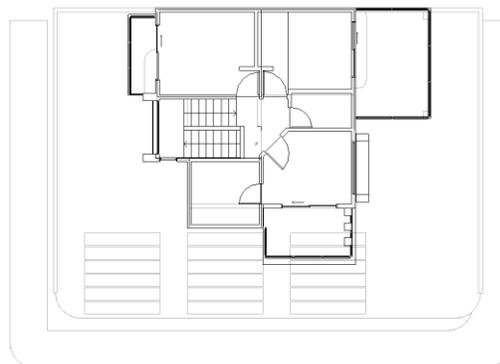
(b)

Figura 8*Vista de elevación (a) corte a (b) corte b***Figura 9***Vista tridimensional del modelo 3***Figura 10**

Vista en planta (a) primer nivel (b) segundo nivel



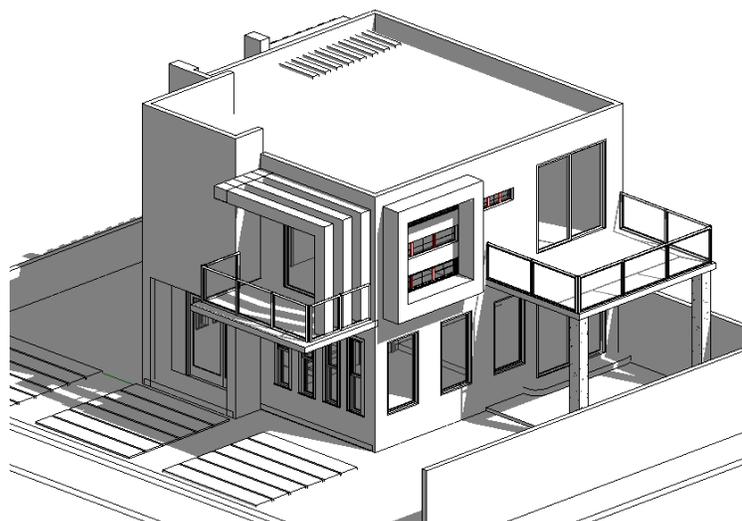
(a)



(b)

Figura 11

Iluminación natural y sistemas de ventilación



4.2. Realizar la simulación del modelo digital de la estructura empleando motores de simulación EnergyPlus para la generación del análisis energético.

EnergyPlus es un motor de simulación desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos que se utiliza para analizar el consumo de energía, la demanda térmica y otros aspectos relacionados con el comportamiento energético de un edificio. Para ello se debe tener un modelo digital completo del edificio en el software de diseño, el cual puede ser REVIT. Este modelo debe incluir detalles como la geometría del edificio, orientación, materiales de construcción, ventanas, sistemas de HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), entre otros.

Posteriormente se configuran los parámetros y condiciones climáticas específicas de la ubicación donde se encuentra el edificio. En este caso, se tendrían en cuenta las condiciones climáticas de Cúcuta. Luego, se especifican los sistemas de HVAC, como equipos de calefacción, ventilación y aire acondicionado, así como la distribución de aire y la envolvente térmica.

Una vez configurado el modelo, se ejecuta la simulación en EnergyPlus. Durante la simulación, el software realiza cálculos detallados de cómo el edificio interactúa con el ambiente circundante a lo largo del tiempo. Esto incluye el flujo de calor, la transferencia de energía, el comportamiento térmico y otras variables relevantes. Este tipo de análisis constituyen una herramienta valiosa para evaluar y mejorar la eficiencia energética de un edificio, permitiendo diseñar construcciones que sean sostenibles y energéticamente eficientes.

4.2.1 Preparación del modelo digital

La preparación del modelo digital para una vivienda de dos pisos en Cúcuta fue un proceso exhaustivo que involucró múltiples aspectos cruciales del diseño arquitectónico. Para empezar, se recopilaron meticulosamente todos los datos y planos arquitectónicos pertinentes para garantizar una representación fiel de la edificación. Utilizando REVIT, se procedió a esbozar con precisión la geometría del edificio, definiendo con detalle cada espacio y área funcional. Se prestó especial atención a la orientación del inmueble, considerando cuidadosamente la posición de las fachadas principales hacia el norte y sur, lo que permitiría aprovechar al máximo la luz natural y minimizar la exposición directa al sol, aspecto crucial en un clima subtropical de sabana como el de Cúcuta. Además, se seleccionaron materiales de construcción de alta calidad, con énfasis en aquellos que ofrecen propiedades de aislamiento térmico y durabilidad, para asegurar la eficiencia energética y la longevidad de la estructura.

En lo que respecta a las aberturas, se diseñaron cuidadosamente las ventanas para proporcionar una óptima entrada de luz natural y vistas panorámicas del entorno. Se consideró la ubicación estratégica de estas aperturas para maximizar la ventilación cruzada, permitiendo una circulación de aire natural y contribuyendo a mantener un ambiente interior fresco y confortable. Además, se planificó la integración de sistemas de HVAC (ventilación y aire acondicionado) eficientes y de última generación, garantizando un control preciso de la temperatura y la calidad del aire en todas las estaciones del año.

Un aspecto clave en la preparación del modelo digital fue la atención al detalle en cuanto a la distribución de los espacios. Se asignaron áreas específicas para cada función, desde la zona de acceso y vestíbulo que da la bienvenida a los residentes y visitantes, hasta la sala de estar y comedor que conforman el corazón social de la vivienda. Se incluyó una cocina eficientemente diseñada y una zona de servicios para garantizar la funcionalidad en el día a día. En el segundo nivel, se dispusieron los dormitorios, cada uno cuidadosamente planificado para ofrecer privacidad, comodidad y acceso conveniente a baños y áreas comunes. Se consideró la incorporación de armarios empotrados para optimizar el espacio de almacenamiento y se diseñó un espacio multiusos, ofreciendo flexibilidad en el uso de la vivienda.

4.2.2 Configuración de parámetros, condiciones climáticas e integración con energyplus

La integración con EnergyPlus representó un paso crucial en el proceso de diseño de esta vivienda de dos pisos en Cúcuta. Una vez que el modelo digital fue completado en REVIT, se procedió a exportar la información y cargarla en EnergyPlus, un motor de simulación energética reconocido por su precisión y capacidad de análisis detallado. A través de esta integración, se facilitó la realización de simulaciones que permitirían evaluar el rendimiento energético del edificio en condiciones específicas.

Para comenzar, se configuraron minuciosamente los parámetros de simulación en EnergyPlus. Esto incluyó la definición de las propiedades físicas de los materiales utilizados en la construcción, así como la especificación de los sistemas de HVAC y sus características operativas. Se establecieron detalladamente los niveles de aislamiento térmico de muros, techos

y ventanas, así como las propiedades térmicas de los materiales de construcción. Además, se definieron las características de los sistemas ventilación y aire acondicionado, teniendo en cuenta los estándares de eficiencia y las necesidades específicas del clima de Cúcuta.

Un aspecto esencial en la configuración de EnergyPlus fue la definición de las condiciones climáticas de la ubicación de la vivienda. Se incorporaron datos climáticos detallados de Cúcuta, incluyendo temperaturas máximas y mínimas, humedad relativa, precipitaciones y patrones de viento. Estos datos climáticos, específicos de la región, permitieron realizar simulaciones precisas y realistas que reflejarían las condiciones ambientales reales que la vivienda enfrentaría a lo largo del año.

Figura 12

Ubicación y emplazamiento del modelo

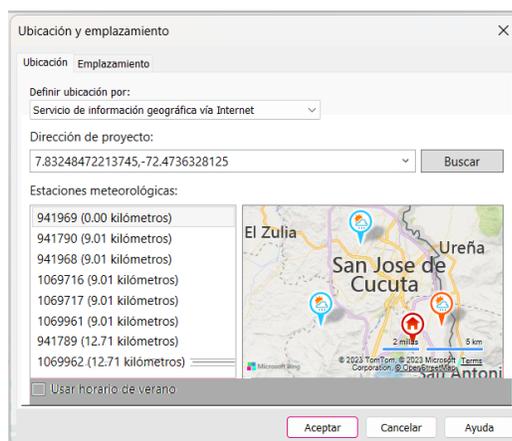


Figura 13*Configuración de energía y definición de espacios*

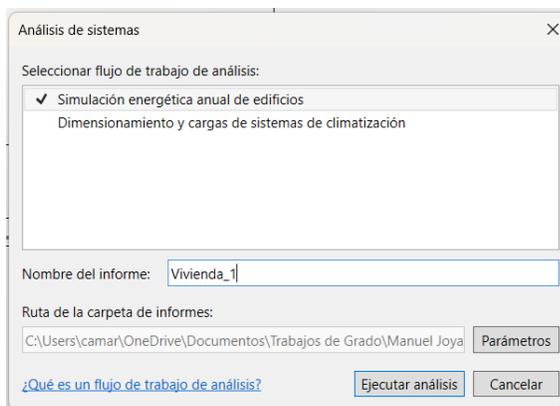
Opciones avanzadas de Configuración de energía

Parámetro	Valor
Modelo detallado	
Porcentaje de cristalera de destino	40%
Altura de antepecho de destino	0.7620
La cristalera está sombreada	<input type="checkbox"/>
Profundidad de sombreado	0.6096
Porcentaje de claraboyas de destino	0%
Anchura y profundidad de claraboya	0.9144
Avanzado	
Complejidad de exportación	Simple con superficies de sombreado
Tolerancia de espacios estrechos	0.3048
Envolvente de edificio	Usar parámetro Función
Tamaño de celda de rejilla analítica	0.9144
Instalaciones del edificio	Ventilación/Aire acondicionado - conducto sen
Clase de infiltración de edificio	Ninguno
Datos de construcción	
Tipo de edificio	Residencia
Tabla de planificación de operaciones de const	Por defecto
Sistema de climatización	Sistema de gas partido/compacto 12 SEER/0.9
Información de aire exterior	Editar...
Datos de habitación/espacio	
Categoría de exportación	Habitaciones
Propiedades térmicas de materiales	
Tipos conceptuales	Editar...
Tipos esquemáticos	<Edificio>
Elementos detallados	<input checked="" type="checkbox"/>

[¿Cómo afecta esta configuración al análisis energético?](#)

Aceptar Cancelar

Figura 14*Simulación energética anual de la vivienda*



La precisión en la configuración de parámetros y condiciones climáticas en EnergyPlus fue fundamental para obtener resultados fiables y relevantes sobre el rendimiento energético de la vivienda. Esta etapa del proceso garantizó que las simulaciones reflejaran de manera precisa el comportamiento térmico y energético del edificio en el contexto del clima subtropical de sabana de Cúcuta. Con esta información detallada, se estaría en condiciones de evaluar y optimizar la eficiencia energética de la vivienda, permitiendo tomar decisiones informadas para mejorar su diseño y rendimiento energético.

4.2.3 Resultados del análisis

Los resultados proporcionados pertenecen a una simulación realizada utilizando el software EnergyPlus, versión 22.1.0, la versión del Programa es EnergyPlus, Versión 22.1.0-ed759b17ee. La simulación se llevó a cabo durante un total de 8760 horas, lo que equivale a un año completo. Se utilizó el archivo de datos meteorológicos correspondiente a la estación de San José de Cúcuta con coordenadas geográficas: Latitud: 7.84 grados, Longitud: -72.4 grados. Elevación: 399.9 metros sobre el nivel del mar.

La zona horaria aplicada en la simulación es GMT-5, lo que indica un desfase de cinco horas respecto al Tiempo Universal Coordinado (UTC-5). El norte geográfico se considera como el eje de referencia, con un ángulo de orientación igual a 0 grados. Esta información se detalla en la tabla 2.

Tabla 2

Información de partida

Program Version and Build	EnergyPlus, Version 22.1.0-ed759b17ee, YMD=2023.10.03 22:35
RunPeriod	RUN PERIOD 1
Weather File	San José de Cúcuta Intl AP TA VEN ISD-TMYx WMO#=804470
Latitude [deg]	7.84
Longitude [deg]	-72.4
Elevation [m]	399.9
Time Zone	-5
North Axis Angle [deg]	0
Rotation for Appendix G [deg]	0
Hours Simulated [hrs]	8760

Adicionalmente, los resultados proporcionados detallan información importante sobre la envolvente del edificio, específicamente en relación con la proporción entre ventanas y paredes. En la tabla 3 se indican los resultados mencionados.

Tabla 3

Input del modelo energético

	Total	North (315 to 45 deg)	East (45 to 135 deg)	South (135 to 225 deg)	West (225 to 315 deg)
Gross Wall Area [m2]	216.2	53.12	49.71	68.86	44.54
Above Ground Wall Area [m2]	216.2	53.12	49.71	68.86	44.54
Window Opening Area [m2]	42.83	12.86	0	27.5	2.47

Gross Window-Wall Ratio [%]	19.81	24.21	0	39.94	5.54
Above Ground Window-Wall Ratio [%]	19.81	24.21	0	39.94	5.54

Los datos de la tabla 3 indican que:

Área Bruta de Pared [m^2]: La superficie total de las paredes exteriores del edificio es de 216.23 metros cuadrados. Esta área se divide en función de la orientación de las paredes: norte ($53.12 m^2$), este ($49.71 m^2$), sur ($68.86 m^2$) y oeste ($44.54 m^2$).

Área de Pared sobre el Suelo [m^2]: La misma área total de paredes ($216.23 m^2$) corresponde a la superficie de las paredes sobre el suelo. Al igual que en el caso anterior, esta área se distribuye según la orientación de las paredes.

Área de Abertura de Ventanas [m^2]: La superficie total de las aberturas de ventanas en el edificio es de 42.83 metros cuadrados. Esta área varía según la orientación: norte ($12.86 m^2$), este ($0.00 m^2$), sur ($27.50 m^2$) y oeste ($2.47 m^2$).

Proporción Total de Ventanas-Pared [%]: La proporción total de ventanas con respecto a las paredes es del 19.81%. Esta proporción se analiza en función de la orientación de las paredes: norte (24.21%), este (0.00%), sur (39.94%) y oeste (5.54%).

Proporción de Ventanas-Pared sobre el Suelo [%]: Al igual que en el caso anterior, la proporción de ventanas con respecto a las paredes sobre el suelo es del 19.81%. Esta proporción también se evalúa en relación con la orientación de las paredes.

Adicionalmente se analizó la relación entre las áreas de ventanas y paredes en la vivienda acondicionada. A continuación, se presenta un análisis detallado de estos datos:

Tabla 4

Relación entre ventanas y paredes acondicionadas

	Total	North (315 to 45 deg)	East (45 to 135 deg)	South (135 to 225 deg)	West (225 to 315 deg)
Gross Wall Area [m2]	187	44.83	43.21	65.57	33.37
Above Ground Wall Area [m2]	187	44.83	43.21	65.57	33.37
Window Opening Area [m2]	39.29	11.18	0	27.5	0.61
Gross Window-Wall Ratio [%]	21.01	24.94	0	41.95	1.82
Above Ground Window-Wall Ratio [%]	21.01	24.94	0	41.95	1.82

Área Bruta de Pared [m²]: La superficie total de las paredes exteriores del edificio acondicionado es de 186.98 metros cuadrados. Esta área se distribuye según la orientación de las paredes: norte (44.83 m²), este (43.21 m²), sur (65.57 m²) y oeste (33.37 m²).

Área de Pared sobre el Suelo [m²]: La misma área total de paredes (186.98 m²) corresponde a la superficie de las paredes sobre el suelo. Al igual que en el caso anterior, esta área se divide según la orientación de las paredes.

Área de Abertura de Ventanas [m^2]: La superficie total de las aberturas de ventanas en el edificio acondicionado es de 39.29 metros cuadrados. Esta área varía según la orientación: norte ($11.18 m^2$), este ($0 m^2$), sur ($27.50 m^2$) y oeste ($0.61 m^2$).

Proporción Total de Ventanas-Pared [%]: La proporción total de ventanas con respecto a las paredes es del 21.01%. Esta proporción se desglosa según la orientación de las paredes: norte (24.94%), este (0%), sur (41.95%) y oeste (1.82%).

Proporción de Ventanas-Pared sobre el Suelo [%]: La proporción de ventanas con respecto a las paredes sobre el suelo es del 21.01%. Esta proporción también se evalúa en relación con la orientación de las paredes.

Estos resultados proporcionan información detallada sobre la distribución de las aberturas de ventanas y la superficie de las paredes en el edificio acondicionado. El cual es un indicador crucial para evaluar aspectos como la entrada de luz natural, el aislamiento térmico y la eficiencia energética de la vivienda acondicionada. La orientación de las aberturas de ventanas también es relevante para el control del flujo de luz y calor en el interior del edificio a lo largo del día.

Asi mismo, se llevó a cabo una visión detallada del rendimiento y las características de distintas zonas dentro de la vivienda. A través de este análisis, se puede apreciar la diversidad de espacios y sus respectivas condiciones de acondicionamiento, como se indica en la tabla 5

Tabla 5

Características y rendimiento de las zonas de la vivienda

	Area [m2]	Conditioned (Y/N)	Part of Total Floor Area (Y/N)	Volume [m3]	Multipliers	Above Ground Gross Wall Area [m2]	Underground Gross Wall Area [m2]	Window Glass Area [m2]	Opening Area [m2]	Lighting [W/m2]	People [m2 per person]	Plug and Process [W/m2]
Zona 1	13.77	Yes	Yes	27.13	1	34.73	0	8.64	8.64	10.7639	13.77	13.9931
Zona 2	7.53	Yes	Yes	19.51	1	26.04	0	3.95	3.95	10.7639	7.53	13.9931
Zona 3 (Unconditioned)	5.38	No	Yes	9.41	1	11.33	0	3.36	3.36	0		0
Zona 4	4.88	Yes	Yes	13.32	1	15.26	0	0.76	0.76	10.7639	4.88	13.9931
Zona 5	7.9	Yes	Yes	17.41	1	6.57	0	2.19	2.19	10.7639	7.9	13.9931
Zona 6	20.17	Yes	Yes	49.33	1	29.62	0	14.57	14.57	10.7639	20.17	13.9931
Zona 7	6.07	Yes	Yes	14.69	1	12.08	0	1.68	1.68	10.7639	6.07	13.9931
Zona 8	9.4	Yes	Yes	21.91	1	19.84	0	2.06	2.06	10.7639	9.4	13.9931
Zona 9	8.77	Yes	Yes	19.89	1	15.87	0	2.19	2.19	10.7639	8.77	13.9931
Zona 10	3.82	Yes	Yes	12.64	1	26.96	0	3.25	3.25	10.7639	3.82	13.9931
Zona 11 (Unconditioned)	3.29	No	Yes	5	1	17.92	0	0.18	0.18	0		0
Total	90.99			210.25		216.23	0	42.83	42.83	9.739	10.11	12.6607
Conditioned Total	82.32			195.84		186.98	0	39.29	39.29	10.7639	9.15	13.9931

Unconditioned Total	8.66	14.41	29.25	0	3.54	3.54	0	0
Not Part of Total	0	0	0	0	0	0		

La Zona 1, ocupa una superficie de 13.77 metros cuadrados y se encuentra acondicionada. Esta zona contribuye significativamente al área total del piso y presenta un volumen de 27.13 metros cúbicos. Con una densidad de personas de 13.77 metros cuadrados por persona, la iluminación promedio alcanza los 10.7639 W/m². Además, la proporción de aberturas de ventanas es notable, representando un 63% del área total de las paredes.

Las Zonas 2 a 9, muestran variaciones en términos de área y condiciones de acondicionamiento. Aunque todas están incluidas en el área total del piso, algunas de ellas no se encuentran acondicionadas, como la Zona 3. Esta variación en el estado de acondicionamiento influye en factores como el consumo de energía y la demanda térmica.

Las Zona 3 y 11, designada como "ESPACIO SIN ACONDICIONAR", son las únicas que no se encuentra acondicionadas. Con una superficie de 3.29 metros cuadrados y una proporción mínima de aberturas de ventanas, su impacto en el consumo de energía y condiciones térmicas es significativamente menor en comparación con las zonas acondicionadas.

En el contexto global del edificio, se destaca una tendencia hacia el acondicionamiento de las áreas, con un total de 82.32 metros cuadrados acondicionados y 8.66 metros cuadrados sin acondicionar. La proporción de aberturas de ventanas juega un papel crucial en la eficiencia energética y el confort térmico, siendo particularmente alta en las zonas acondicionadas.

En conclusión, estos resultados proporcionan una valiosa información sobre el rendimiento de las diferentes zonas dentro de la vivienda. Permiten evaluar aspectos clave como la eficiencia

energética, el uso del espacio y el confort térmico, brindando una base sólida para tomar decisiones informadas en el diseño y operación del edificio.

El resumen de tipos de espacio proporciona una visión global del área total de la vivienda y cómo se divide entre áreas acondicionadas y no acondicionadas, así como información relevante sobre iluminación, densidad de personas y consumo de energía por unidad de área. A continuación, se realiza un análisis de los datos:

Tabla 6

Resumen de las condiciones de la vivienda

	Total Area [m ²]	Conditioned Area [m ²]	Unconditioned Area [m ²]	Not Part of Total Area [m ²]	Lighting [W/m ²]	People [m ² per person]	Plug and Process [W/m ²]
GENERAL	90.99	82.32	8.66	0	9.739	10.11	12.6607
Total	90.99	82.32	8.66	0			

La tabla 6 indica que:

A nivel general la vivienda tiene un área total de 90.99 m² de las cuales el área acondicionada es de 82.32 m² y el área no acondicionada es de 8.66 m². Así mismo, la iluminación requerida es de 9.7390 W/m² y el consumo de Enchufes y Procesos es de 12.6607 W/m²

Estos resultados resumen de manera concisa las características esenciales del edificio en términos de distribución de espacio, condiciones de acondicionamiento, iluminación, densidad de ocupación y consumo de energía. En el caso del área "GENERAL", se destaca una

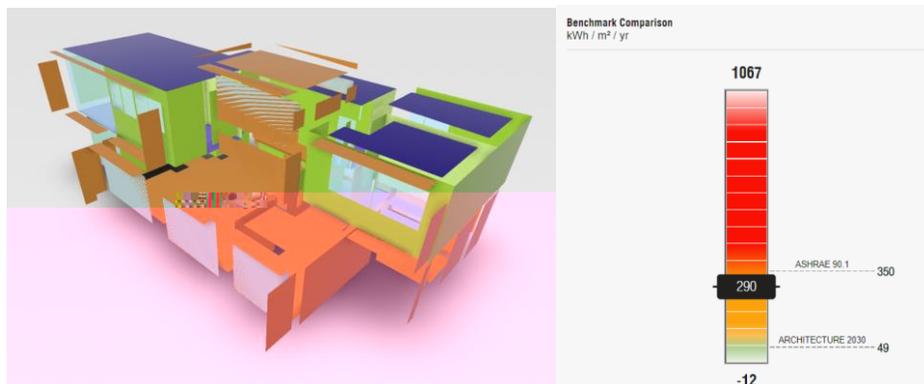
predominancia de espacios acondicionados, representando el 90.21% del área total. La densidad de personas se sitúa en 10.11 m² por persona, lo cual indica una distribución eficiente del espacio.

En el conjunto total del edificio, se observa una proporción similar, con un 90.21% del área total siendo acondicionada. Esto sugiere una planificación efectiva del uso del espacio para optimizar el confort térmico y la eficiencia energética. La ausencia de áreas no incluidas en el total indica una buena definición y delimitación de los espacios dentro del edificio.

Otro de los parámetros calculados fue el valor de Benchmark Comparison, el cual para la vivienda fue de 290 kWh/m²/yr esto indica el consumo de energía anual estimado por metro cuadrado de la vivienda . Este indicador es crucial para evaluar la eficiencia energética del edificio y proporciona información valiosa sobre su rendimiento en términos de consumo de energía.

Figura 15

Benchmark Comparison



Un consumo de 290 kWh/m²/yr puede considerarse como un indicador medio. Para contextualizar este valor, es importante compararlo con estándares y regulaciones locales o internacionales. Por ejemplo, en muchos lugares del mundo, se establecen regulaciones que fijan límites máximos de consumo energético para edificaciones, con el objetivo de fomentar la eficiencia y reducir el impacto ambiental. En este contexto, el valor de 290 kWh/m²/yr podría estar por encima o por debajo de los límites establecidos, dependiendo de la jurisdicción y las regulaciones aplicables.

Para mejorar la eficiencia energética del edificio, se podrían considerar varias estrategias. Por ejemplo, se podría implementar un mejor aislamiento térmico en las paredes, techos y ventanas para reducir las pérdidas de calor en invierno y la ganancia de calor en verano. También se podrían utilizar materiales de construcción más eficientes desde el punto de vista energético.

La optimización de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) también desempeña un papel crucial. La adopción de tecnologías de HVAC más eficientes, como bombas de calor o sistemas de ventilación con recuperación de calor, puede contribuir significativamente a la reducción del consumo energético.

Además, la integración de fuentes de energía renovable, como paneles solares o sistemas de energía eólica, puede generar una parte significativa de la energía consumida por la vivienda, reduciendo así su dependencia de fuentes de energía convencionales.

Es importante destacar que cualquier intervención para mejorar la eficiencia energética deberá considerar factores como el clima local, la orientación del edificio y las características específicas de diseño y construcción.

En resumen, un consumo de 290 kWh/m²/yr indica un nivel de eficiencia energética medio. Sin embargo, hay margen para mejoras significativas a través de la implementación de medidas de eficiencia, el uso de tecnologías más avanzadas y la integración de fuentes de energía renovable. Estas acciones no solo reducirían el impacto ambiental, sino que también podrían generar ahorros económicos a largo plazo.

Para los modelos de vivienda 2 y 3 el análisis desarrollado se indica en el anexo 1 del presente documento.

4.3. Establecer un procedimiento de análisis de consumo energético para edificaciones verticales a partir de estrategias energéticas para mejorar el rendimiento en diferentes tipos de edificación.

4.3.1 Descripción del procedimiento

El análisis de consumo energético en edificaciones verticales es crucial para evaluar su eficiencia y proponer mejoras. El siguiente procedimiento proporciona un marco detallado para llevar a cabo este análisis:

1. Recopilación de Datos

Rendimientos y Especificaciones: Obtener información detallada sobre los rendimientos y especificaciones de la edificación, incluyendo características de diseño, sistemas de climatización, aislamiento, etc. (Jalali et al., 2023)

2. Identificación del Tipo de Edificación

Clasificación de la Edificación: Definir el tipo de edificación (residencial, comercial, mixta, etc.) y su uso específico (oficinas, apartamentos, tiendas, etc.).

3. Selección de Herramientas de Análisis

Software Especializado: Utilizar software de simulación energética como EnergyPlus, DesignBuilder, o herramientas BIM con capacidades de análisis energético (Johari et al., 2022).

4. Modelado del Edificio

Creación de Modelo Digital: Utilizar herramientas BIM para crear un modelo digital 3D de la edificación, incluyendo geometría, materiales y sistemas.

5. Definición de Parámetros Climáticos

Incorporar Datos Climáticos: Utilizar datos climáticos locales para la simulación. Estos datos incluyen temperaturas, humedad, radiación solar, etc. (Sadooghi, 2022)

6. Simulación Energética

Configuración de Simulación: Establecer condiciones iniciales, parámetros de simulación y períodos de cálculo.

7. Evaluación de Consumo Energético

Consumo Total de Energía: Determinar el consumo total de energía de la edificación para calefacción, refrigeración, iluminación, etc.

8. Análisis de Resultados

Comparación con Benchmark: Comparar los resultados con estándares y benchmarks locales o internacionales para evaluar la eficiencia energética (Wang et al., 2021).

9. Identificación de Áreas de Mejora

Identificar Ineficiencias: Analizar los resultados para identificar áreas donde se pueden implementar mejoras, como aislamiento adicional, tecnologías de iluminación eficiente, etc.

10. Propuestas de Mejoras

Desarrollar Estrategias de Mejora: Proponer soluciones para reducir el consumo energético, como la optimización de sistemas HVAC, uso de energías renovables, entre otras (Utkucu & Sözer, 2023).

11. Evaluación de Impacto

Simulación de Mejoras: Utilizar el modelo para simular el impacto de las mejoras propuestas en el consumo energético.

12. Documentación y Reporte

Informe Final: Documentar los resultados del análisis, las mejoras propuestas y su impacto en el consumo energético. Presentar recomendaciones para la implementación.

Este procedimiento proporciona una guía paso a paso para llevar a cabo un análisis de consumo energético en edificaciones verticales. Es importante resaltar que la precisión y relevancia de los resultados dependen de la calidad de los datos y la precisión del modelo digital. El análisis constante y la implementación de mejoras contribuirán a la eficiencia energética y sostenibilidad del edificio.

4.3.2 Recopilación de Datos, Rendimientos y Especificaciones

La recopilación de datos sobre los rendimientos y especificaciones de la edificación es el primer paso crítico en el análisis de consumo energético.

Inicialmente se parte con la identificación de fuentes de información, la cual corresponde a:

- Identificar y contactar a las fuentes pertinentes de información. Esto puede incluir:
- Propietarios o gestores de la edificación.
- Arquitectos o ingenieros involucrados en el diseño y construcción.
- Planos y documentación de diseño.
- Especificaciones de construcción y materiales.

Posteriormente se debe realizar una revisión de la documentación existente:

- Examinar los planos arquitectónicos y de ingeniería, así como cualquier documentación relacionada con el diseño y construcción de la edificación. Buscar información detallada sobre:
 - Diseño estructural y arquitectónico.
 - Sistemas de climatización (HVAC).
 - Aislamiento y materiales de construcción.
 - Sistemas de iluminación y control.

También es necesario llevar a cabo entrevistas y consultas:

- Realizar entrevistas con los propietarios, arquitectos, ingenieros y otros expertos involucrados en el diseño y construcción de la edificación. Preguntar sobre:
 - Especificaciones de diseño y rendimientos esperados.
 - Materiales y sistemas utilizados.
 - Detalles sobre sistemas HVAC y de iluminación.

Además, la inspección In Situ es necesaria para:

- Realizar una inspección en el lugar para obtener información de primera mano sobre:
 - Estado actual de la edificación.
 - Detalles específicos sobre materiales y sistemas.
 - Posibles actualizaciones o modificaciones realizadas después de la construcción inicial.

También se debe llevar a cabo el análisis de documentación técnica a fin de revisar cualquier documentación técnica disponible, como manuales de operación y mantenimiento, informes de inspección, certificaciones energéticas anteriores, entre otros. Así mismo, es importante tener acceso a registros y documentos legales relacionados con la edificación, como permisos de construcción, certificados de eficiencia energética, registros de inspecciones, etc.

Es necesario emplear herramientas digitales como los software de gestión de proyectos o bases de datos para organizar y recopilar la información de manera sistemática. Y verificar la precisión y consistencia de la información recopilada a través de múltiples fuentes y corroborarla con planos y documentación técnica.

Finalmente se debe documentar los de resultados, a fin de registrar detalladamente toda la información recopilada en un formato estructurado y de fácil acceso. Este procedimiento garantiza una recopilación exhaustiva y precisa de datos sobre los rendimientos y especificaciones de la edificación, proporcionando una base sólida para el análisis de consumo energético. Es importante mantener un enfoque riguroso y documentar minuciosamente cada fuente de información para asegurar la validez y exactitud de los datos recopilados.

4.3.3 Tipo de Edificación y Selección de Herramientas de Análisis

La identificación precisa del tipo de edificación y la elección adecuada de herramientas de análisis son esenciales en el proceso de evaluación de consumo energético. Esto implica iniciar con una revisión detallada de la documentación proporcionada por el propietario o cliente, como planos, especificaciones de diseño preliminares y cualquier información pertinente.

Posteriormente mantener discusiones con el propietario o representantes del proyecto para comprender completamente la naturaleza y el propósito de la edificación. Preguntar sobre el uso previsto, la ocupación, el número de niveles, etc.

Así mismo evaluar los planos arquitectónicos para identificar características distintivas de la edificación, como la disposición de los espacios, áreas comunes y cualquier elemento de diseño específico. Utilizar los códigos de construcción y regulaciones locales para determinar la clasificación oficial de la edificación en términos de uso y ocupación (por ejemplo, residencial, comercial, industrial, etc.). Y para cada tipo de edificación identificar las características únicas que pueden influir en los patrones de consumo energético.

Con respecto a la elección de las herramientas de análisis inicialmente se debe determinar la complejidad y el alcance del proyecto, considerando factores como el tamaño de la edificación, la cantidad de sistemas y subsistemas, y la necesidad de análisis detallados. Así mismo familiarizarse con una variedad de software y herramientas de análisis disponibles en el mercado, como EnergyPlus, DesignBuilder, IES VE, entre otros. Y considerar la capacidad de Simulación Energética, es decir, seleccionar una herramienta que tenga la capacidad de realizar simulaciones energéticas detalladas y que pueda manejar la complejidad del modelo de la edificación.

Luego asegurarse de que la herramienta seleccionada sea compatible con la plataforma de diseño y modelado utilizada para el proyecto (por ejemplo, Revit, AutoCAD, SketchUp, etc.). y

es importante considerar los costos asociados con la adquisición y licencias de la herramienta de análisis, así como los recursos disponibles para capacitación y soporte técnico.

4.3.4 Modelado del edificio

El modelado del edificio es un paso esencial en el análisis de consumo energético. Cuyo procedimiento dependerá de la herramienta BIM seleccionada, sin embargo, para la creación de cualquier modelo digital 3D de la edificación se debe seguir lo siguiente:

1. Selección de la Plataforma BIM:

Elegir una plataforma de modelado BIM compatible con el software de análisis energético seleccionado (por ejemplo, Revit, ArchiCAD, Tekla, etc.).

2. Adquisición de Documentación de Diseño:

Obtener planos arquitectónicos, planos estructurales, especificaciones de diseño y cualquier otra documentación relevante del proyecto.

3. Inicio del Modelado:

Abrir el software BIM seleccionado y crear un nuevo proyecto para la edificación en cuestión.

4. Importación de Documentación:

Importar los planos y documentos proporcionados, asegurándose de que estén correctamente escalados y alineados.

5. Creación de Elementos Básicos:

Iniciar la creación de elementos básicos del edificio, como muros, pisos, techos y columnas, utilizando las herramientas de dibujo del software.

6. Detalles de Geometría:

Refinar y ajustar la geometría para que coincida con la documentación de diseño. Asegurarse de que las dimensiones y ubicaciones sean precisas.

7. Agregar Detalles de Materiales:

Asignar materiales a los elementos del modelo, incluyendo paredes, ventanas, techos, pisos, etc. Especificar propiedades como conductividad térmica y reflectancia.

8. Inclusión de Elementos de Sistemas:

Agregar componentes de sistemas relevantes, como sistemas de climatización (HVAC), iluminación, y otros sistemas específicos del edificio.

9. Configuración de Propiedades:

Asignar propiedades a los elementos, como características de aislamiento, capacidad térmica y características de los sistemas HVAC.

10. Validación y Verificación:

Revisar el modelo para asegurarse de que refleje con precisión la geometría, los materiales y los sistemas de la edificación.

11. Etiquetado y Organización:

Etiquetar y organizar los elementos del modelo para facilitar la identificación y referencia futura.

12. Revisión por Partes Involucradas:

Permitir a los miembros del equipo de diseño y análisis revisar el modelo para verificar su precisión y completitud.

13. Documentación del Modelo:

Generar documentación asociada al modelo, como listas de materiales, planos y detalles constructivos.

14. Exportación a Formato Compatible:

Exportar el modelo en un formato compatible con el software de análisis energético seleccionado.

De esta forma se logra asegurar la creación de un modelo digital 3D detallado y preciso de la edificación con fines del posterior análisis energético y si se requiere de ciclo de vida.

4.3.5 Parámetros Climáticos

Inicialmente se procede con identificar fuentes confiables de datos climáticos locales. Pueden incluir estaciones meteorológicas locales, agencias meteorológicas gubernamentales, bases de datos climáticas en línea, entre otros. Y posteriormente se determinan las variables climáticas críticas para la simulación energética, las cuales pueden incluir:

- Temperatura (máxima, mínima y promedio).
- Humedad relativa.
- Radiación solar incidente.
- Velocidad del viento.
- Precipitación, entre otras.

Adicionalmente se deben obtener los datos climáticos históricos y actuales para la ubicación específica de la edificación. Esto puede incluir series temporales mensuales, diarias o incluso a intervalos horarios, dependiendo de la precisión requerida. Estos datos se deben validar lo cual puede implicar la comparación con registros históricos, la detección y corrección de anomalías, y la calibración si es necesario. Una vez hecho esto se organizan y estructuran los datos climáticos en un formato compatible con el software de simulación energética. Esto puede implicar la conversión a unidades estándar y la configuración de la resolución temporal adecuada.

Posteriormente se debe realizar la importación en la Plataforma de Simulación Energética, esto consiste en cargar los datos climáticos preparados en la herramienta de simulación

energética seleccionada. Es necesario asegurarse de que los datos se asignen correctamente a los parámetros climáticos del modelo. Y se deben definir los periodos de simulación que abarcarán el rango de tiempo que se desea analizar. Esto puede incluir días, meses o años completos, dependiendo de los objetivos del análisis. Una vez definido esto se procede a iniciar la simulación energética utilizando los datos climáticos incorporados.

Finalmente se evalúan los resultados de la simulación para comprender cómo el edificio responde a las variaciones climáticas. Esto incluye la comparación de resultados para diferentes periodos y escenarios climáticos y se analizan cómo las condiciones climáticas afectan el consumo energético y el rendimiento del edificio. Es importante en esta fase identificar posibles áreas de mejora en términos de eficiencia energética.

4.3.6 Simulación energética

La simulación energética es una herramienta fundamental para evaluar el rendimiento energético de un edificio. Para llevar a cabo una simulación efectiva, es esencial configurar adecuadamente los parámetros de simulación. A continuación, se detalla el proceso:

1. Definición de Objetivos de Simulación:

Antes de comenzar, se deben establecer claramente los objetivos del análisis de simulación energética. Esto puede incluir la evaluación del consumo de energía, la optimización de sistemas o la comparación de estrategias de diseño.

2. Determinación de Condiciones Iniciales:

Se deben establecer las condiciones iniciales del modelo, que pueden incluir la temperatura interior inicial, la ocupación, la carga térmica, entre otros. Asegurarse de que estas condiciones reflejen de manera precisa el estado inicial del edificio.

3. Selección de Períodos de Cálculo:

Definir los períodos de tiempo para los cuales se realizará la simulación. Esto puede abarcar desde un solo día hasta un año completo, dependiendo de los objetivos del análisis.

4. Configuración de Resolución Temporal:

Determinar la resolución temporal de la simulación, es decir, si se llevará a cabo en intervalos horarios, diarios o mensuales. La elección dependerá de la precisión requerida y los recursos disponibles.

5. Establecimiento de Parámetros Climáticos:

Utilizar los datos climáticos previamente recopilados e incorporados al modelo para establecer las condiciones ambientales a lo largo del periodo de simulación.

6. Definición de Actividades y Ocupación:

Si es relevante para el análisis, establecer patrones de ocupación, horarios de funcionamiento de sistemas y cualquier actividad especial que pueda influir en el consumo energético.

7. Configuración de Sistemas y Controles:

Especificar los ajustes y controles de los sistemas del edificio, como el sistema HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado), iluminación y otros sistemas energéticos.

8. Consideración de Factores Externos:

Tomar en cuenta variables externas como sombreado, vientos predominantes, orientación del edificio y cualquier otro factor que pueda afectar el consumo energético.

9. Validación de Configuración:

Revisar detalladamente la configuración de simulación para asegurarse de que todos los parámetros estén correctamente definidos y sean coherentes con los objetivos del análisis.

10. Ejecución de la Simulación:

Iniciar la simulación utilizando la configuración establecida. La herramienta de simulación energética calculará el consumo de energía del edificio a lo largo del periodo definido.

11. Registro y Almacenamiento de Resultados:

Registrar y almacenar los resultados de la simulación, que incluyen el consumo de energía, temperaturas interiores, cargas térmicas, entre otros.

4.3.7 Evaluación del consumo energético

La evaluación del consumo energético es un paso crítico para comprender cómo se utiliza la energía en un edificio y para identificar áreas de mejora en términos de eficiencia. Se deben utilizar los resultados de la simulación energética previamente realizada, que proporcionan información detallada sobre el consumo de energía en diferentes áreas y sistemas del edificio. A partir de dichos resultados se debe desglosar el consumo por categoría:

a. Calefacción:

Identificar y cuantificar el consumo de energía destinado a la calefacción del edificio. Esto puede incluir el uso de sistemas de calefacción central, radiadores, calentadores, etc.

b. Refrigeración:

Determinar el consumo de energía asociado con la refrigeración del edificio. Esto abarca sistemas de aire acondicionado, bombas de calor y otros sistemas de refrigeración.

c. Iluminación:

Calcular el consumo de energía utilizado para la iluminación del edificio, teniendo en cuenta la potencia de las lámparas, el tiempo de operación y la eficiencia de los sistemas de iluminación.

d. Equipos y Aparatos:

Evaluar el consumo de energía de equipos y aparatos específicos, como electrodomésticos, computadoras, sistemas de entretenimiento, etc.

e. Sistemas Específicos:

Considerar sistemas especializados que puedan estar presentes en la edificación, como sistemas de ventilación, bombeo de agua caliente, entre otros.

f. Otros Usos Específicos:

Identificar y cuantificar el consumo de energía asociado con cualquier otro uso específico que sea relevante para la edificación en cuestión.

Posteriormente se deben sumar los consumos de energía determinados en cada una de las categorías anteriores para obtener el consumo total de energía de la edificación. Y comparar el consumo total de energía con estándares de eficiencia energética, códigos de construcción locales o benchmarks de la industria para evaluar el rendimiento del edificio. Además de analizar los resultados para identificar áreas donde se puedan implementar medidas de eficiencia energética y reducir el consumo total. Finalmente, como en los demás procesos se debe documentar y presentar los resultados de la evaluación de consumo energético en un informe detallado, que incluya desgloses por categoría y recomendaciones de mejora.

4.3.8 Estrategias de mejoras bioclimáticas para reducir el consumo energético

En la búsqueda de soluciones sostenibles y eficaces para reducir el consumo energético en edificaciones, se recurre a las estrategias bioclimáticas, un enfoque que aprovecha y optimiza los recursos naturales disponibles en el entorno para mejorar la eficiencia energética y el confort interior. En la tabla 7 se indican algunas estrategias bioclimáticas que se pueden implementar en una edificación con el fin de disminuir su consumo energético.

Tabla 7

Estrategias de mejora bioclimáticas

Estrategia	Descripción
-------------------	--------------------

Orientación y Diseño del Edificio	La orientación del edificio debe aprovechar al máximo la radiación solar disponible. Las áreas de mayor uso deben estar orientadas hacia el sur para maximizar la exposición al sol en invierno y minimizarla en verano.
Ventilación Natural y Cruzada	Se promueve la circulación de aire a través del diseño de aperturas estratégicas en la edificación. Ventanas ubicadas en lados opuestos permiten la entrada de aire fresco y la expulsión del aire caliente.
Aislamiento y Masa Térmica	Un adecuado aislamiento en paredes, techos y suelos evita pérdidas de calor en invierno y mantiene el frescor en verano. La masa térmica (materiales de alta densidad) puede ayudar a absorber y liberar calor gradualmente, regulando así la temperatura interior
Protección Solar	La instalación de elementos como aleros, persianas, toldos o vegetación estratégica ayuda a controlar la entrada de radiación solar directa y a reducir el sobrecalentamiento en verano.
Cubiertas Verdes y Azoteas Reflectantes	La instalación de cubiertas verdes o el uso de materiales reflectantes en azoteas ayuda a reducir la absorción de calor y a mantener temperaturas más frescas en el interior.
Utilización de Energías Renovables	Se fomenta la incorporación de fuentes de energía renovable como paneles solares, sistemas de energía eólica o biomasa para cubrir las necesidades energéticas de la edificación.
Sistemas de Recuperación de Energía	Se implementan sistemas de recuperación de calor en sistemas de ventilación y climatización para aprovechar el calor generado y reducir la carga energética.
Iluminación Natural y Eficiente	Se maximiza el uso de la luz natural mediante la disposición estratégica de ventanas y tragaluces. Se complementa con sistemas de iluminación eficientes, como LED.
Control y Automatización	Se instalan sistemas de control y automatización para regular la temperatura, la iluminación y otros sistemas según las condiciones ambientales y las necesidades de los ocupantes.
Materiales para la optimización bioclimática	1. Materiales Aislantes: <ul style="list-style-type: none"> - Lanas minerales (como la lana de roca y la lana de vidrio). - Espumas de poliuretano y poliestireno expandido (EPS). - Celulosa.

- Paneles de fibra de madera.
- Materiales naturales aislantes como la paja y el corcho.

2. Materiales de Alta Inercia Térmica:

- Adobe y bloques de tierra comprimida.
- Bloques de hormigón celular.
- Ladrillo macizo.
- Piedra natural.

3. Materiales Reciclados o Reciclables:

- Madera de demolición o de bosques gestionados de manera sostenible.
- Acero reciclado.
- Vidrio reciclado.
- Hormigón reciclado.

4. Materiales Translúcidos y de Captación Solar:

- Policarbonato alveolar.
- Vidrio doble o triple aislante.
- Paneles de policristalino.
- Tejados y cubiertas de ETFE (etileno tetrafluoroetileno) para captación solar.

5. Materiales para Cubiertas Verdes:

- Sustratos específicos para cubiertas verdes.
- Vegetación autóctona y plantas resistentes al clima local.

6. Materiales Térmicos de Cambio de Fase (PCM):

- Materiales como parafina, ácido esteárico y sales inorgánicas encapsuladas en contenedores que permiten absorber y liberar calor.

7. Materiales de Aprovechamiento de la Energía Solar:

- Colectores solares térmicos.
- Paneles fotovoltaicos.

8. Materiales Reflectantes:

- Pinturas y revestimientos reflectantes que reducen la absorción de calor.

9. Materiales para Sistemas de Captación de Agua Pluvial:

- Canalones y sistemas de recolección de agua de lluvia hechos de materiales resistentes y sostenibles.

10. Materiales para Sistemas de Ventilación

Natural:

- Mallas y persianas que permiten el control de la entrada de aire.

11. Materiales para Sistemas de Tratamiento de Aguas Grises y Negras:

- Sistemas de filtración y tratamiento de aguas.

12. Materiales de Revestimiento y Acabados

Naturales:

- Pinturas y recubrimientos a base de arcilla, cal o productos naturales.

- Revestimientos de madera natural o tratada con productos ecológicos.

13. Materiales para Sistemas de Control

Automático y Domótica:

- Sensores y dispositivos de control eficientes.

Educación y Concienciación

Se promueve la sensibilización de los ocupantes sobre prácticas y hábitos que contribuyan a la eficiencia energética, como apagar dispositivos cuando no se utilizan y ajustar la temperatura de manera responsable.

5. Conclusiones

La investigación se centró en el desarrollo de un modelo arquitectónico para una vivienda de dos pisos ubicada en Cúcuta, Colombia, con un enfoque especial en el análisis de su eficiencia energética. Se utilizó el software REVIT para la generación del modelo digital de la estructura, considerando aspectos como la orientación del edificio, la geometría, los materiales de construcción y las aberturas.

El contexto climático de Cúcuta, caracterizado por un clima tropical de sabana con una estación seca prolongada y temperaturas elevadas durante gran parte del año, fue un factor crucial en el diseño. Estas condiciones climáticas influyeron en las estrategias de diseño para el control térmico y la eficiencia energética de la vivienda.

La simulación energética se llevó a cabo utilizando el motor EnergyPlus, lo que permitió obtener valiosa información sobre el consumo de energía de la vivienda. Los resultados indicaron un consumo de 290 kWh/m²/yr, para la vivienda 1, 330 para la vivienda 2 y 250 para la vivienda 3. Esta comparación proporcionó una evaluación clara del rendimiento energético de la vivienda en relación con estándares reconocidos

El desglose del consumo energético reveló que este se distribuye entre calefacción, refrigeración, iluminación y otros usos específicos. Este análisis detallado permitió comprender las áreas de mayor demanda energética y brindó pautas para posibles mejoras en la eficiencia, las cuales eran aplicables en las zonas de la cocina y comedor.

Se identificaron áreas de oportunidad para mejorar la eficiencia energética de la vivienda. Estas incluyen posibles ajustes en el aislamiento, sistemas de climatización y estrategias de iluminación. Además, se consideraron las condiciones climáticas específicas de Cúcuta en el diseño y análisis, lo que influirá en las estrategias de gestión térmica y en la selección de materiales y sistemas.

Finalmente, la investigación proporciona una visión completa del rendimiento energético de la vivienda de dos pisos en Cúcuta. Los resultados y conclusiones obtenidos ofrecen pautas claras para mejorar la eficiencia energética, lo que contribuye a la sostenibilidad y la reducción del impacto ambiental. Estas recomendaciones pueden ser aplicadas en futuros proyectos de construcción en la región, promoviendo edificaciones más eficientes y respetuosas con el medio ambiente.

Referencias

- Ahmed, S., Farooqui, R. U., & Saqib, M. (2022). A BIM Based Model for Energy Efficient Retrofitting of an Existing Building - A Case Study. *International Conference on Construction in the 21st Century*. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85148378117&partnerID=40&md5=da0f54fead1e246ee210c1ed55f671a2>
- Andreani, M., Bertagni, S., Biagini, C., & Mallo, F. (2019). 7D BIM for sustainability assessment in design processes: A case study of design of alternatives in severe climate and heavy use conditions. *Architecture and Engineering*, 4(2), 3–12. <https://doi.org/10.23968/2500-0055-2019-4-2-3-12>
- Basack, S., & Sarkar, A. (2019). Bim framework for operational energy assessment in composite climate at early design stage. *Building Engineer*, 94(3), 22–27. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85063568468&partnerID=40&md5=bc785f3928680f5298f1e6d38add5ab0>
- Carvalho, J. P., Ridder, K., Bragana, L., & Mateus, R. (2019a). Using BIM to optimise and assess the energy efficiency category of SBToolPT-H. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012072>
- Carvalho, J. P., Ridder, K., Bragana, L., & Mateus, R. (2019b). Using BIM to optimise and assess the energy efficiency category of SBToolPT-H. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012072>
- Chaarvika, I., Bhatnagar, A., Sammeta, R., Balasubramanian, M., & Monisha, R. (2022). Comparison of Energy Analysis in a Residential Building Using Building Information Modeling. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 194, 239–255. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6403-8_20

- Chen, C.-J., Chen, S.-Y., Li, S.-H., & Chiu, H.-T. (2017). Green BIM-based building energy performance analysis. *Computer-Aided Design and Applications*, *14*(5), 650–660.
<https://doi.org/10.1080/16864360.2016.1273582>
- Chiaia, B., Davardoust, S., Osello, A., Aste, N., & Mazzon, M. (2015). BIM and interoperability for energy simulations. *Building Simulation Applications, 2015-February*, 93–97.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85050347258&partnerID=40&md5=78dbeadac35587bc29465c97e7b6e483>
- Dolenc, M., & Klinc, R. (2017). Open BIM enabled energy-efficient building design and simulation. *Civil-Comp Proceedings*, *111*.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85020473916&partnerID=40&md5=a3fb7eb9a0507ab547a20007b0d7b98a>
- Dutt, F., Quan, S. J., Woodworth, E., Castro-Lacouture, D., Stuart, B. J., & Yang, P. P.-J. (2017). Modeling algae powered neighborhood through GIS and BIM integration. *Energy Procedia*, *105*, 3830–3836. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.896>
- Ferdosi, H., Abbasianjahromi, H., Banihashemi, S., & Ravanshadnia, M. (2022). BIM applications in sustainable construction: scientometric and state-of-the-art review. *International Journal of Construction Management*.
<https://doi.org/10.1080/15623599.2022.2029679>
- Invidiata, A., & Ghisi, E. (2016). Life-cycle energy and cost analyses of window shading used to improve the thermal performance of houses. *Journal of Cleaner Production*, *133*, 1371–1383. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.072>

- Jahangir, M. H., Ziyaei, M., & Kargarzadeh, A. (2022). Evaluation of thermal behavior and life cycle cost analysis of greenhouses with bio-phase change materials in multiple locations. *Journal of Energy Storage*, 54. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105176>
- Jalaei, F., & Jrade, A. (2014). Integrating BIM with green building certification system, energy analysis, and cost estimating tools to conceptually design sustainable buildings. *Construction Research Congress 2014: Construction in a Global Network - Proceedings of the 2014 Construction Research Congress*, 140-149. <https://doi.org/10.1061/9780784413517.015>
- Jalali, Z., Shamseldin, A. Y., & Mannakkara, S. (2023). Evaluation of climate change effects on residential building cooling and heating demands in New Zealand: implications for energy efficiency standards and building codes. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-10-2022-0168>
- Johari, F., Munkhammar, J., Shadram, F., & Widén, J. (2022). Evaluation of simplified building energy models for urban-scale energy analysis of buildings. *Building and Environment*, 211. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108684>
- Joshi, R. B., Behera, A. P., & Mishra, S. (2022). eBIM-GNN Fast and Scalable energy analysis through BIMs and Graph Neural Networks. *ENERGYCON 2022 - 2022 IEEE 7th International Energy Conference, Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ENERGYCON53164.2022.9830484>
- Kim, K.-H., & Han, S.-H. (2012). Sustainable transparency: Sustainable design and performance verification of an integrated tower. *2012 IEEE Green Technologies Conference*. <https://doi.org/10.1109/GREEN.2012.6200992>

- Ladenhauf, D., Battisti, K., Berndt, R., Eggeling, E., Fellner, D. W., Gratzl-Michlmair, M., & Ullrich, T. (2016). Computational geometry in the context of building information modeling. *Energy and Buildings*, *115*, 78–84.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.02.056>
- Pereira, V., Santos, J., Leite, F., & Escórcio, P. (2021). Using BIM to improve building energy efficiency – A scientometric and systematic review. *Energy and Buildings*, *250*.
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111292>
- Perfetto, G., Lamacchia, F. P., Raimondo, L., & Roccasalva, G. (2018). A regional energy efficiency strategy: Integrated sustainable design process by adopting BIM, innovative energy solutions and dynamic energy analyses for a hotel within the historical village of *_nz Mzs qx ,xq,R m q,4 f 58Umx ;* *CANDO-EPE 2018 - Proceedings IEEE International Conference and Workshop in Obuda on Electrical and Power Engineering*, 227–236.
<https://doi.org/10.1109/CANDO-EPE.2018.8601128>
- Poerschke, U., & Kalisperis, L. (2007). BIM: Defining opportunities for environmentally sensitive design. *Sun, Wind and Architecture - The Proceedings of the 24th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, PLEA 2007*, 302–308.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84864120339&partnerID=40&md5=cfb5d3ee750e383391eeb22bd52e0660>
- Ronzino, A., Osello, A., Patti, E., Bottaccioli, L., Danna, C., Lingua, A., Acquaviva, A., Macii, E., Grosso, M., Messina, G., & Rasconà, G. (2015). The energy efficiency management at urban scale by means of integrated modelling. *Energy Procedia*, *83*, 258–268.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.180>

- Sadooghi, P. (2022). HVAC electricity and natural gas saving potential of a novel switchable window compared to conventional glazing systems: A Canadian house case study in city of Toronto. *Solar Energy*, 231, 129–139. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.10.089>
- Sanhudo, L., Ramos, N. M. M., Poças Martins, J., Almeida, R. M. S. F., Barreira, E., Simões, M. L., & Cardoso, V. (2018). Building information modeling for energy retrofitting – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 249–260. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.064>
- Sharma, P., & Prasath Kumar, V. R. (2022). Energy analysis in residential building for insulation roof material using building information modelling. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*, 9. <https://doi.org/10.36909/jer.ACMM.16303>
- Utkucu, D., & Sözer, H. (2023). Building Performance Optimization throughout the Design-Decision Process with a Holistic Approach. *Journal of Architectural Engineering*, 29(1). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000573](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000573)
- Veerendra, G. T. N., Dey, S., Manoj, A. V. P., & Kumaravel, B. (2022). Life cycle assessment for a suburban building located within the vicinity using Revit Architecture. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 7(1). <https://doi.org/10.1007/s41024-022-00199-6>
- Venkatesh, K., Ch, S., Lute, V., & Jagarapu, D. C. K. (2023a). BIM based approach for cost and energy estimation of a multi storied residential building. *AIP Conference Proceedings*, 2759. <https://doi.org/10.1063/5.0144157>
- Venkatesh, K., Ch, S., Lute, V., & Jagarapu, D. C. K. (2023b). BIM based approach for cost and energy estimation of a multi storied residential building. *AIP Conference Proceedings*, 2759. <https://doi.org/10.1063/5.0144157>

Wang, W., Li, S., Guo, S., Ma, M., Feng, S., & Bao, L. (2021). Benchmarking urban local weather with long-term monitoring compared with weather datasets from climate station and EnergyPlus weather (EPW) data. *Energy Reports*, 7, 6501–6514.
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.09.108>

Apéndice

Apéndice A. Resultados del análisis energético viviendas 2 y 3

Vivienda 2:

Tabla 8

Input del modelo energético Vivienda 2

	Total	North (315 to 45 deg)	East (45 to 135 deg)	South (135 to 225 deg)	West (225 to 315 deg)
Gross Wall Area [m2]	222.54	32.68	74.72	42.14	73
Above Ground Wall Area [m2]	222.54	32.68	74.72	42.14	73
Window Opening Area [m2]	33.78	17.23	0	16.56	0
Gross Window-Wall Ratio [%]	15.18	52.71	0	39.29	0
Above Ground Window-Wall Ratio [%]	15.18	52.71	0	39.29	0

Tabla 9

Relación entre ventanas y paredes acondicionadas Vivienda 2

	Total	North (315 to 45 deg)	East (45 to 135 deg)	South (135 to 225 deg)	West (225 to 315 deg)
Gross Wall Area [m2]	222.54	32.68	74.72	42.14	73

Above Ground Wall Area [m2]	222.54	32.68	74.72	42.14	73
Window Opening Area [m2]	33.78	17.23	0	16.56	0
Gross Window-Wall Ratio [%]	15.18	52.71	0	39.29	0
Above Ground Window-Wall Ratio [%]	15.18	52.71	0	39.29	0

Tabla 10

Características y rendimiento de las zonas de la vivienda 2

	Area [m2]	Conditioned (Y/N)	Part of Total Floor Area (Y/N)	Volume [m3]	Multipliers	Above Ground Gross Wall Area [m2]	Underground Gross Wall Area [m2]	Window Glass Area [m2]	Opening Area [m2]	Lighting [W/m2]	People [m2 per person]	Plug and Process [W/m2]
Zona 1	37.94	Yes	Yes	136.21	1	68.29	0	15.91	15.91	10.7639	18.97	13.9931
Zona 2	13.04	Yes	Yes	41.07	1	21.17	0	0	0	10.7639	13.04	13.9931
Zona 3	2.82	Yes	Yes	5.2	1	10.65	0	0	0	10.7639	2.82	13.9931
Zona 4	25.13	Yes	Yes	66.53	1	39.67	0	0	0	10.7639	25.13	13.9931
Zona 5	13.18	Yes	Yes	52.16	1	20.97	0	5.99	5.99	10.7639	13.18	13.9931
Zona 6	11.13	Yes	Yes	37.22	1	21.27	0	4.32	4.32	10.7639	11.13	13.9931
Zona 7	17.18	Yes	Yes	51.66	1	27.05	0	7.57	7.57	10.7639	17.18	13.9931
Zona 8	2.59	Yes	Yes	7.06	1	5.65	0	0	0	10.7639	2.59	13.9931
Zona 9	3.79	Yes	Yes	10.51	1	7.82	0	0	0	10.7639	3.79	13.9931

Total	126.8	407.62	222.54	0	33.78	33.78	10.7639	12.68	13.9931
Conditioned Total	126.8	407.62	222.54	0	33.78	33.78	10.7639	12.68	13.9931
Unconditioned Total	0	0	0	0	0	0			
Not Part of Total	0	0	0	0	0	0			

Tabla 11

Resumen de las condiciones de la vivienda 2

	Total Area [m2]	Conditioned Area [m2]	Unconditioned Area [m2]	Not Part of Total Area [m2]	Lighting [W/m2]	People [m2 per person]	Plug and Process [W/m2]
GENERAL	126.8	126.8	0	0	10.7639	12.68	13.9931
Total	126.8	126.8	0	0			

Vivienda 3:

Tabla 12

Input del modelo energético Vivienda 3

	Total	North (315 to 45 deg)	East (45 to 135 deg)	South (135 to 225 deg)	West (225 to 315 deg)
Gross Wall Area [m2]	160.41	43.88	32.85	41.57	42.11
Above Ground Wall Area [m2]	160.41	43.88	32.85	41.57	42.11
Window Opening Area [m2]	18.13	0	7.8	5.45	4.88
Gross Window-Wall Ratio [%]	11.3	0	23.74	13.11	11.59
Above Ground Window-Wall Ratio [%]	11.3	0	23.74	13.11	11.59

Tabla 13

Relación entre ventanas y paredes acondicionadas Vivienda 2

	Total	North (315 to 45 deg)	East (45 to 135 deg)	South (135 to 225 deg)	West (225 to 315 deg)
Gross Wall Area [m2]	147.48	40.81	30.07	38.39	38.22
Above Ground Wall Area [m2]	147.48	40.81	30.07	38.39	38.22
Window Opening Area [m2]	17.05	0	6.71	5.45	4.88

Gross Window-Wall Ratio [%]	11.56	0	22.33	14.2	12.77
Above Ground Window-Wall Ratio [%]	11.56	0	22.33	14.2	12.77

Tabla 14*Características y rendimiento de las zonas de la vivienda 3*

	Area [m2]	Conditioned (Y/N)	Part of Total Floor Area (Y/N)	Volume [m3]	Multipliers	Above Ground Gross Wall Area [m2]	Underground Gross Wall Area [m2]	Window Glass Area [m2]	Opening Area [m2]	Lighting [W/m2]	People [m2 per person]	Plug and Process [W/m2]
Zona 1 (Unconditioned)	3.71	No	Yes	3.25	1	0	0	0	0	0		0
Zona 2	46.64	Yes	Yes	139.46	1	88.35	0	14.71	14.71	10.7639	23.32	13.9931
Zona 3 (Unconditioned)	1.2	No	Yes	0.79	1	1.44	0	0	0	0		0
Zona 4	4.11	Yes	Yes	14.59	1	13.03	0	1.5	1.5	10.7639	4.11	13.9931
Zona 5 (Unconditioned)	3.93	No	Yes	6.39	1	3.16	0	0.33	0.33	0		0
Zona 6	13.98	Yes	Yes	29.71	1	19.07	0	0	0	10.7639	13.98	13.9931
Zona 7	6.38	Yes	Yes	20.35	1	15.9	0	0	0	10.7639	6.38	13.9931
Zona 8	0.44	Yes	Yes	0.97	1	0	0	0	0	10.7639	0.44	13.9931
Zona 9 (Unconditioned)	1.3	No	Yes	1.18	1	1.42	0	0	0	0		0
Zona 10	1.7	Yes	Yes	9.91	1	11.12	0	0.84	0.84	10.7639	1.7	13.9931
Zona 11 (Unconditioned)	2.71	No	Yes	1.77	1	0.73	0	0	0	0		0

Zona 12 (Unconditioned)	5	No	Yes	3.94	1	3.09	0	0.75	0.75	0	0	
Zona 13 (Unconditioned)	3.75	No	Yes	3.74	1	3.07	0	0	0	0	0	
Total	94.83			236.06		160.41	0	18.13	18.13	8.3127	13.55	10.8066
Conditioned Total	73.24			214.99		147.48	0	17.05	17.05	10.7639	10.46	13.9931
Unconditioned Total	21.6			21.06		12.93	0	1.08	1.08	0		0
Not Part of Total	0			0		0	0	0	0	0		0

Tabla 15*Resumen de las condiciones de la vivienda 3*

	Total Area [m2]	Conditioned Area [m2]	Unconditioned Area [m2]	Not Part of Total Area [m2]	Lighting [W/m2]	People [m2 per person]	Plug and Process [W/m2]
GENERAL	94.83	73.24	21.6	0	8.3127	13.55	10.8066
Total	94.83	73.24	21.6	0			