

De lo simulado a lo construido: optimización de materiales y energía en viviendas sostenibles con BIM

From simulation to construction: optimization of materials and energy in sustainable housing with BIM

Ricardo Andrés Valencia Robles¹, Ghyslaine Romina Manzaba Carvajal¹,
María Isabel Romero Jara¹

¹Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 091050;

ghyslaine.manzabacar@ug.edu.ec; maria.romeroj@ug.edu.ec

*Correspondencia: ricardo.valenciar@ug.edu.ec

Citación: Valencia, R.; Manzaba, G. & Romero, M., (2025). De lo simulado a lo construido: optimización de materiales y energía en viviendas sostenibles con BIM. *Novasinerгия*. 8(2). 113-139.

<https://doi.org/10.37135/ns.01.16.07>

Recibido: 15 marzo 2025

Aceptado: 25 abril 2025

Publicado: 02 julio 2025

Novasinerгия

ISSN: 2631-2654

Resumen: La eficiencia energética y la sostenibilidad en viviendas de interés social dependen en gran medida de la selección de materiales. Este estudio explora el potencial del uso de BIM en combinación con materiales sostenibles para identificar estrategias que podrían reducir el consumo energético y la huella de carbono en climas tropicales, a partir de un análisis digital realizado en fase de diseño. Se modeló una vivienda de interés social en Revit 2025 y se utilizó Revit Insight para evaluar su desempeño térmico y ambiental. Además, se construyó una base de datos con propiedades térmicas, mecánicas y ambientales de materiales convencionales y sostenibles. Los resultados obtenidos mediante simulación indican que el bambú, con una conductividad térmica de 0.12 W/m·K y una resistencia térmica de 8.33 m²·K/W, y el vidrio mejorado, con 0.78 W/m·K y 1.28 m²·K/W, presentan mejor desempeño térmico y menor impacto ambiental que el hormigón estructural (1.75 W/m·K, 0.57 m²·K/W y 150 kg CO₂/m²). El acero, con 50.2 W/m·K y 250 kg CO₂/m², resulta ser el material de mayor impacto ambiental. La vivienda modelada con materiales optimizados evidenció una reducción del consumo energético en la envolvente térmica de 85 kWh/m²/año a 70 kWh/m²/año, con una disminución estimada del 20 % en la demanda de climatización. Se concluye que la integración de BIM con bases de datos estructuradas facilita la toma de decisiones en el diseño arquitectónico y permite avanzar hacia soluciones constructivas más eficientes y sostenibles para viviendas sociales en climas tropicales.

Palabras clave: BIM, Eficiencia energética, Materiales de construcción, Sostenibilidad, Vivienda social.

Abstract: Energy efficiency and sustainability in social housing depend on material selection. This study explores the potential of using Building Information Modeling (BIM) in combination with sustainable materials to identify strategies that could reduce energy consumption and carbon footprint in tropical climates based on digital analysis conducted during the design phase. A social housing unit was modeled using Revit 2025, and its thermal and environmental performance was evaluated through Revit Insight. Additionally, a database was developed to compare the thermal, mechanical, and environmental properties of both conventional and sustainable materials. Simulation results indicate that bamboo, with thermal conductivity of 0.12 W/m·K and thermal resistance of 8.33 m²·K/W, and enhanced glass, with 0.78 W/m·K and 1.28 m²·K/W, show better thermal performance and lower environmental impact compared to structural concrete (1.75 W/m·K, 0.57 m²·K/W, and 150 kg CO₂/m²). Steel, with 50.2 W/m·K and 250 kg CO₂/m², is identified as the material with the highest environmental impact. The optimized housing model reduced thermal envelope energy consumption from 85 kWh/m²/year to 70 kWh/m²/year, with an estimated 20% decrease in cooling demand. It is concluded that integrating BIM with structured material databases supports decision-making in architectural design and promotes the development of more efficient and sustainable housing solutions in tropical regions.

Keywords: BIM, Energy efficiency, Construction materials, Sustainability, Social housing.



Copyright: 2025 derechos otorgados por los autores a Novasinerгия. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia de Creative Commons Attribution (CC BY NC). (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introducción

El diseño de viviendas de interés social en climas tropicales enfrenta desafíos significativos relacionados con la eficiencia energética, el confort térmico y la sostenibilidad ambiental. En estos entornos, las condiciones climáticas extremas, caracterizadas por altas temperaturas y elevados niveles de humedad, demandan soluciones constructivas que minimicen el consumo energético sin comprometer la habitabilidad. A nivel global, la creciente preocupación por la sostenibilidad en la edificación ha impulsado el desarrollo de estrategias de optimización de materiales y sistemas constructivos que permitan reducir el impacto ambiental de la construcción [1], [2].

El modelado BIM ha sido ampliamente utilizado para cuantificar y analizar materiales en proyectos arquitectónicos, permitiendo la simulación de escenarios y la evaluación comparativa de alternativas constructivas [3], [4]. En el estudio "Modelado BIM en el Diseño Residencial: Estrategias Paramétricas de Arquitectura Digital", se exploraron estrategias paramétricas aplicadas a la enseñanza del diseño arquitectónico en viviendas sociales, con un enfoque en la integración de datos digitales y análisis de eficiencia energética [5]. En este sentido, la presente investigación amplía estos enfoques mediante la recopilación y análisis de información técnica de materiales de construcción utilizados en viviendas de interés social en Guayaquil, integrando datos obtenidos a partir de un modelado BIM en Autodesk Revit.

A pesar de los avances recientes en el análisis de materiales constructivos, persisten vacíos sustanciales en la disponibilidad de información técnica sistematizada que facilite la selección de soluciones constructivas sostenibles en contextos de vivienda social en climas tropicales. Diversos estudios han abordado el desempeño térmico y ambiental de materiales convencionales y alternativos; sin embargo, la dispersión de datos y la ausencia de metodologías estandarizadas limitan su aplicación práctica en procesos de diseño arquitectónico [1], [6]. Esta situación representa un desafío particular en el ámbito de la eficiencia energética, donde la caracterización precisa de materiales resulta fundamental para estimar su huella de carbono, reciclabilidad y desempeño térmico. Investigaciones como las de [7], [8] han evidenciado cómo la composición y origen de materiales como el concreto y los morteros pueden modificar sustancialmente su impacto ambiental, reforzando la necesidad de contar con herramientas de análisis integrales y adaptadas al entorno local.

Frente a esta problemática, la presente investigación plantea la siguiente pregunta central: ¿Cómo puede el uso de modelos BIM, integrados con bases de datos de materiales sostenibles, optimizar el desempeño energético y ambiental de viviendas de interés social en climas tropicales? Para responder a este interrogante, se propone la hipótesis de que la implementación de un modelo BIM con materiales seleccionados mediante criterios térmicos y ambientales permite mejorar la eficiencia energética y reducir la huella de carbono en viviendas de interés social. Con base en ello, el objetivo general de este estudio es evaluar el potencial del modelado BIM como herramienta para la optimización de la selección de materiales sostenibles en este tipo de edificaciones. Los objetivos específicos incluyen: sistematizar información técnica sobre materiales de construcción convencionales

y sostenibles mediante revisión bibliográfica especializada; modelar una vivienda de interés social utilizando Revit 2025 e integrar datos de desempeño térmico y ambiental; y comparar los resultados de eficiencia energética y huella de carbono entre materiales seleccionados, simulados mediante Revit Insight. Este enfoque metodológico se articula con estudios previos sobre sostenibilidad en la construcción [9], [10] y se fortalece mediante la aplicación de herramientas de simulación energética digital [11], [12], las cuales permiten proyectar escenarios comparativos de eficiencia desde las etapas iniciales del diseño.

2. Metodología

La metodología aplicada en este estudio sigue un enfoque mixto, combinando análisis cuantitativos y cualitativos. El enfoque cuantitativo se sustenta en la recopilación y análisis de datos numéricos provenientes de la bibliografía científica sobre propiedades térmicas, mecánicas y ambientales de materiales de construcción, así como en la cuantificación de materiales y simulaciones energéticas realizadas en el entorno BIM. El enfoque cualitativo, por su parte, se basa en la evaluación crítica de la literatura y la estructuración de una base de datos que permita un análisis comparativo de los materiales seleccionados [1], [11]. La investigación se desarrolló en cuatro fases principales (Fig. 1), que permitieron estructurar y analizar la información de manera sistemática.



Figura 1. Resumen del Desarrollo Metodológico.

2.1. Revisión bibliográfica

Se recopiló información proveniente de literatura científica publicada entre 2018 y 2024, centrada en estudios vinculados a eficiencia térmica, resistencia mecánica y sostenibilidad de materiales de construcción. La búsqueda se realizó en bases de datos académicas como Scopus, ScienceDirect y Web of Science, utilizando combinaciones de palabras clave como BIM, construction materials, carbon footprint, energy efficiency y tropical housing. En total, se identificaron 47 publicaciones relevantes, de las cuales se seleccionaron 23 estudios tras aplicar criterios de inclusión como revisión por pares, aplicación directa en vivienda social o climas cálidos, y disponibilidad de datos técnicos. Se

excluyeron estudios con enfoques exclusivamente teóricos, sin resultados aplicables a modelos BIM o con carencia de información térmica o ambiental cuantificable (Tabla 1). Esta revisión permitió estructurar una base de datos comparativa centrada en indicadores como la conductividad térmica, la resistencia térmica, la huella de carbono y la reciclabilidad de los materiales.

Tabla 1. Aportaciones bibliográficas.

Eje Temático	Aportaciones clave	Relevancia para el estudio	Referencias
Eficiencia energética de materiales	Evaluación de conductividad y resistencia térmica. Identificación de nanomateriales y polímeros con propiedades aislantes.	Fundamenta la selección comparativa de materiales en función de su rendimiento térmico.	[1], [6], [10]
Impacto ambiental	Análisis de huella de carbono y energía embebida. Estrategias de reciclabilidad.	Soporte para indicadores ambientales en la base de datos.	[2], [7], [12]
Innovaciones en materiales	Aplicación de concretos con fibras recicladas. Cementos activados con residuos industriales.	Amplía las alternativas sostenibles incluidas en el modelado BIM.	[8], [13], [14]
Aplicación de BIM en arquitectura	Uso de modelado paramétrico en vivienda social. Simulación energética con herramientas digitales.	Justifica el enfoque metodológico basado en Revit y Revit Insight.	[3], [5]
Desempeño mecánico y durabilidad de materiales	Ensayos de resistencia a compresión, tracción y envejecimiento estructural.	Criterio de evaluación técnica para materiales estructurales.	[11], [15], [16]
Sostenibilidad y reutilización de materiales	Uso de residuos en nuevos compuestos. Inclusión de fibras naturales.	Enfoque hacia economía circular en el análisis de materiales.	[9], [17], [18]
Diseño para climas tropicales	Estrategias pasivas de enfriamiento. Selección de materiales de baja conductividad térmica.	Contextualiza el estudio en climas cálidos húmedos como el de Guayaquil.	[1], [5]

2.2. *Modelado BIM y cuantificación de materiales*

El modelado desarrollado corresponde a una dimensión BIM 6D, ya que incorpora el análisis energético y ambiental vinculado al ciclo de vida del edificio en fase de diseño (Fig. 2). En Revit 2025 se integraron materiales con propiedades térmicas y ambientales específicas, las cuales fueron modificadas manualmente en el entorno de Revit Insight a partir de los datos recopilados en la revisión bibliográfica. Se reemplazaron los valores por defecto del software para lograr una simulación más ajustada al comportamiento esperado de materiales sostenibles como el bambú, el vidrio mejorado o el hormigón con aditivos (Fig. 3). Este procedimiento permitió generar una evaluación comparativa más realista del desempeño térmico de la envolvente y su influencia en el consumo energético total del prototipo modelado [3], [5].

Figura 3. Metodología BIM. Revit 2025. Fuente: Elaboración Propia. La selección de los materiales utilizados en el modelo BIM no fue arbitraria ni sujeta únicamente al criterio del diseñador. Por el contrario, se basó en una revisión técnica fundamentada, considerando propiedades térmicas y ambientales obtenidas de literatura científica especializada. Esta información fue incorporada en la base de datos del proyecto y utilizada para simular distintas combinaciones de materiales en Revit Insight, permitiendo evaluar su impacto en la eficiencia energética de la vivienda.

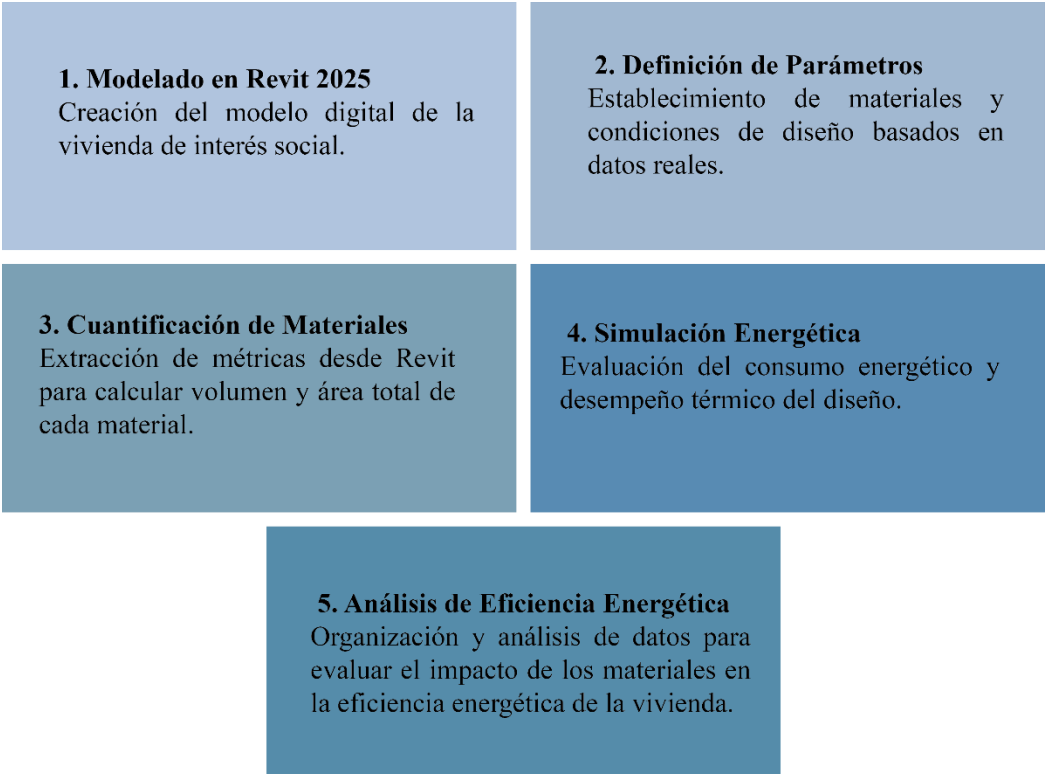


Figura 2. Resumen esquemático del Proceso BIM. Fuente: Elaboración Propia.

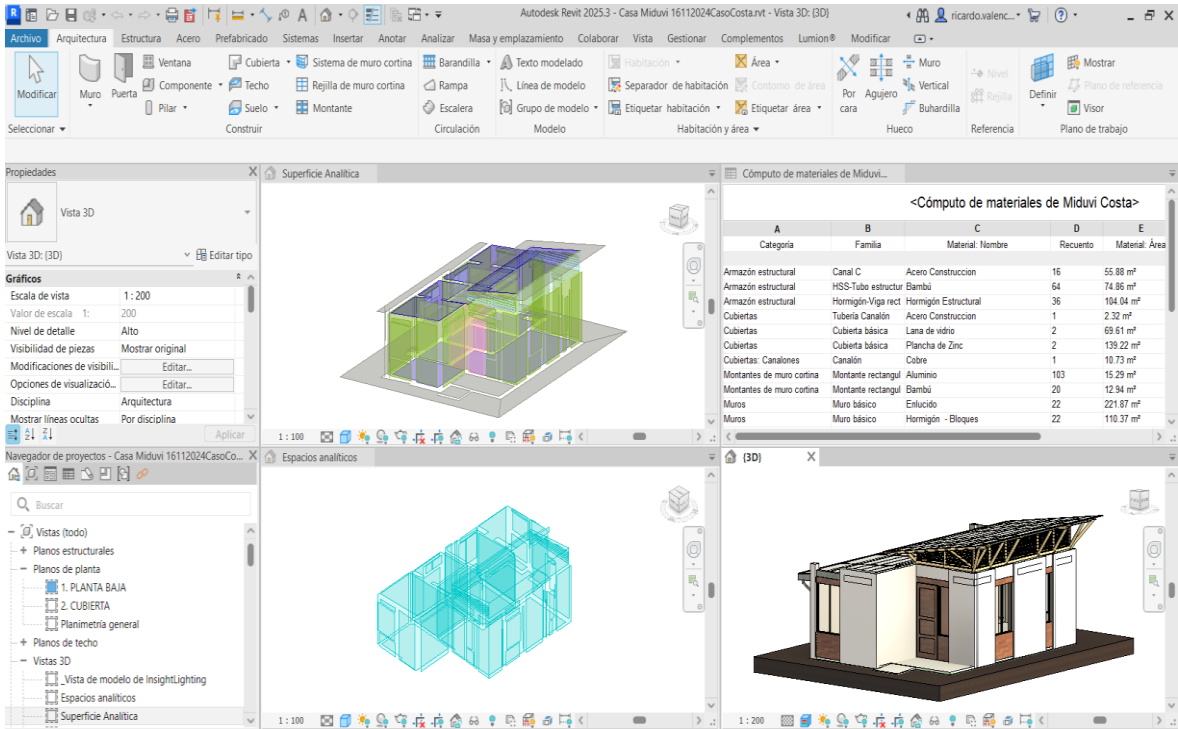


Figura 3. Metodología BIM. Revit 2025. Fuente: Elaboración Propia.

<Cómputo de materiales de Miduvi Costa>						
A	B	C	D	E	F	G
Categoría	Familia	Material: Nombre	Recuento	Material: �rea	Material: Volumen	Material: Peso unita
Armazón estructural	Canal C	Acero Construcc�n	16	55.88 m�	0.245 m�	77.0 kN/m�
Armazón estructural	HSS-Tubo estructu	Bambú	64	74.86 m�	0.465 m�	6.4 kN/m�
Armazón estructural	Hormigón-Viga rect	Hormigón Estructural	36	104.04 m�	6.422 m�	23.6 kN/m�
Cubiertas	Tubería Canal�n	Acero Construcc�n	1	2.32 m�	0.003 m�	77.0 kN/m�
Cubiertas	Cubierta básica	Lana de vidrio	2	69.61 m�	0.947 m�	0.2 kN/m�
Cubiertas	Cubierta básica	Plancha de Zinc	2	139.22 m�	0.139 m�	70.0 kN/m�
Cubiertas: Canales	Canal�n	Cobre	1	10.73 m�	0.026 m�	87.7 kN/m�
Montantes de muro cortina	Montante rectangul	Aluminio	103	15.29 m�	0.099 m�	26.5 kN/m�
Montantes de muro cortina	Montante rectangul	Bambú	20	12.94 m�	0.085 m�	6.4 kN/m�
Muros	Muro básico	Enlucido	22	221.87 m�	2.219 m�	11.0 kN/m�
Muros	Muro básico	Hormigón - Bloques	22	110.37 m�	13.831 m�	23.6 kN/m�
Muros	Muro básico	Pintura Exterior	17	79.23 m�	0.396 m�	10.8 kN/m�
Muros	Muro básico	Pintura Interior	29	146.84 m�	1.376 m�	10.8 kN/m�
Muros	Muro básico	Tablones de madera	8	9.34 m�	0.093 m�	6.8 kN/m�
Paneles de muro cortina	Muro básico	Cristal	23	11.61 m�	0.093 m�	0.1 kN/m�
Paneles de muro cortina	Panel de sistema	Cristal Vacío	12	5.16 m�	0.103 m�	0.0 kN/m�
Paneles de muro cortina	Muro básico	Pintura Interior	2	0.03 m�	0.007 m�	10.8 kN/m�
Pilares	Pilar rectangular	Pintura Exterior	12	8.19 m�	0.000 m�	10.8 kN/m�
Pilares	Pilar rectangular	Pintura Interior	21	32.54 m�	1.211 m�	10.8 kN/m�
Pilares estructurales	Tubo-Tubular	Bambú	2	1.42 m�	0.012 m�	6.4 kN/m�
Pilares estructurales	Pilar rectangular ho	Hormigón Estructural	21	39.06 m�	1.608 m�	23.6 kN/m�
Puertas	Puerta de 1 hoja	Madera - Castaño	3	20.83 m�	0.304 m�	0.1 kN/m�
Puertas	Puerta de panel si	Tablones de madera	1	5.80 m�	0.087 m�	6.8 kN/m�
Suelos	Suelo	Baldosa	4	52.32 m�	0.518 m�	19.6 kN/m�
Suelos	Suelo	Hormigón - Hormigón moldeado in situ	4	53.74 m�	3.395 m�	23.6 kN/m�
Sólido topográfico	Sólido topográfico	Tierra	1	109.34 m�	49.698 m�	12.7 kN/m�

Figura 4. Tabla de Planificación elaborada en Revit 2025

Para este estudio, se realizó la cuantificación de materiales (Fig.4) mediante la extracción de métricas directas desde Revit, lo que permitió determinar el volumen y el área total de cada material. Posteriormente, los datos fueron organizados y analizados en función de su impacto en la eficiencia energética y ambiental de la vivienda, considerando estudios previos sobre propiedades térmicas y mecánicas de materiales en la construcción [1], [3].

2.3. Integración de Datos en una Base de Datos de Materiales

La recopilación de datos a partir de fuentes bibliográficas permitió la estructuración de una base de datos comparativa que integra propiedades físicas, térmicas y ambientales de materiales empleados en la construcción de viviendas de interés social. Este análisis facilita la identificación de alternativas constructivas más sostenibles en términos de eficiencia energética y huella de carbono, proporcionando una herramienta valiosa para la optimización del diseño arquitectónico y la toma de decisiones en proyectos de edificación [1], [2].

Para la integración de estos datos, se organizaron las propiedades de los materiales en tres categorías fundamentales: propiedades físicas, propiedades térmicas y propiedades ambientales. Las propiedades físicas incluyen la resistencia a la compresión, densidad y absorpci n de humedad, mientras que las propiedades térmicas abarcan la conductividad térmica y el coeficiente de transmitancia térmica (U-value). Finalmente, las propiedades ambientales consideran la huella de carbono y la energía embebida de cada material. Esta sistematización permite comparar el desempeño de distintos materiales y evaluar su impacto en el consumo energético y la sostenibilidad de la vivienda modelada en BIM.

La Tabla 2. Resumen Comparativo de Propiedades de Materiales para Vivienda de Interés Social resume los principales materiales analizados, organizando sus propiedades clave con base en la información obtenida de la bibliografía revisada.

Tabla 2. Resumen Comparativo de Propiedades de Materiales para Vivienda de Interés Social.

Material	D. (kg/m ³)	R. (MPa)	Abs. (%)	C.T (W/m·K)	R.T (m ² ·K/W)	H.C (kg CO ₂ /m ²)	Recicl. (%)	Desempeño
Hormigón estructural	2400	25	5.2	1.75	0.57	150	25	Alto impacto
Bloque de arcilla	1700	12	14.5	0.80	1.25	100	40	Medio
Bambú	700	20	12.0	0.12	8.33	50	70	Bajo impacto
Vidrio mejorado	2500	-	-	0.78	1.28	60	90	Bajo impacto
Acero estructural	7850	>250	-	50.2	0.02	250	—	Alto impacto

En la Tabla 2, algunas propiedades como la energía embebida, el potencial de reciclabilidad o el coeficiente de transmitancia térmica (U-value) no se incluyen para todos los materiales en la tabla debido a la inexistencia o inconsistencia de datos en las fuentes científicas revisadas. Se priorizó la presentación de variables con disponibilidad uniforme y confiable entre los distintos materiales, con el fin de asegurar una comparación metodológicamente válida. Cuando fue posible, estos valores se incorporaron de forma complementaria en las secciones de análisis térmico y ambiental.

El análisis comparativo permite evidenciar que ciertos materiales, como el bambú, el vidrio mejorado, y la lana de vidrio, presentan un mejor desempeño en términos de conductividad térmica y huella de carbono, lo que sugiere su potencial uso en estrategias de eficiencia energética. Asimismo, los materiales con mayor resistencia a la compresión, como el acero de construcción y el concreto reforzado con fibra de acero, son idóneos para elementos estructurales que requieran alta capacidad de carga.

La base de datos elaborada servirá como insumo clave para estudios futuros orientados a la optimización del diseño de viviendas de interés social, permitiendo analizar cómo la combinación de materiales puede mejorar el desempeño energético y la sostenibilidad de los proyectos arquitectónicos [1], [2].

2.4. *Propuesta y Líneas de Investigación Futuras*

La metodología utilizada en este estudio permite identificar diversas oportunidades de investigación que contribuirían al desarrollo de soluciones más eficientes y sostenibles en la construcción de viviendas de interés social. Estas líneas de investigación se centran en la validación experimental de los materiales analizados, la integración de metodologías avanzadas en el modelado BIM y el desarrollo de estrategias optimizadas para la selección de materiales en función de su impacto ambiental y desempeño energético [5].

El enfoque adoptado en este trabajo proporciona una base de datos estructurada y una evaluación comparativa de los materiales más utilizados en la construcción, permitiendo la identificación de aquellos con mayor potencial para mejorar la eficiencia térmica y reducir la huella de carbono. En este sentido, la optimización de la selección de materiales a través

de simulaciones BIM y análisis paramétricos representa una de las principales áreas de exploración futura.

La Tabla 3 presenta una síntesis de las líneas de investigación propuestas, destacando su relevancia y posibles aplicaciones:

Tabla 3. Futuras Líneas de Investigación.

Línea de investigación futura	Descripción	Justificación
Incorporación de análisis de ciclo de vida completo (LCA)	Evaluar desde la extracción de materiales hasta la fase de operación y mantenimiento.	Permite una medición integral del impacto ambiental.
Aplicación de modelado BIM 7D	Incluir mantenimiento, costos y operación energética en un mismo modelo BIM.	Optimiza la planificación de proyectos sostenibles a largo plazo.
Evaluación económica comparativa	Comparar el costo-beneficio de usar materiales convencionales vs. sostenibles.	Fundamenta la toma de decisiones con datos financieros concretos.
Validación experimental de simulaciones	Medición en campo del comportamiento térmico real de los materiales seleccionados.	Fortalece la credibilidad del modelo y permite calibraciones.
Optimización energética por zona climática	Adaptar modelos a diferentes zonas tropicales para establecer estándares regionales.	Amplía la aplicabilidad de los resultados en otros contextos similares.
Inclusión de materiales reciclados o emergentes	Explorar nuevos compuestos basados en residuos agroindustriales u orgánicos.	Fomenta la economía circular y reduce residuos.

La consolidación de estas líneas de investigación permitirá fortalecer el conocimiento sobre el desempeño de los materiales de construcción en viviendas de interés social y generar estrategias innovadoras para su optimización en términos de sostenibilidad y eficiencia energética. El uso de metodologías BIM avanzadas, combinado con validaciones experimentales, ofrecerá un marco de referencia para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el sector de la arquitectura y la construcción [5].

3. Resultados

En la Figura 5, se observa la distribución de los materiales en términos de volumen. Se evidencia que ciertos materiales poseen un volumen significativamente mayor que otros, especialmente aquellos que constituyen la estructura principal de la vivienda, como el hormigón estructural y los bloques de mampostería.

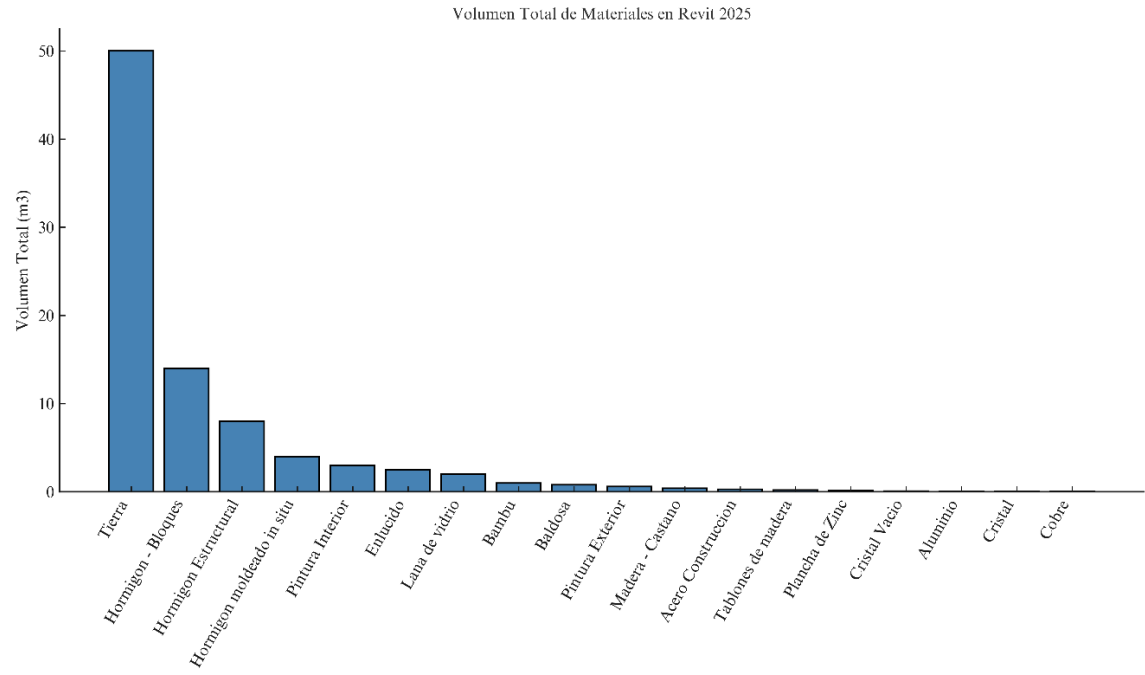


Figura 5. Distribución de Volumen de materiales. Revit 2025. Fuente Elaboración Propia.

Los materiales incluidos corresponden a los elementos constructivos más representativos en volumen y área dentro del modelo BIM de la vivienda, como se observa en las Figuras 4 y 5. La selección priorizó aquellos materiales cuya presencia incide significativamente en el desempeño térmico y ambiental del prototipo, tales como muros estructurales, cerramientos, cubiertas, vidrios y aislamientos. Algunos materiales específicos, como elementos de cubierta o detalles constructivos menores, no fueron incluidos en esta comparación por su impacto limitado o falta de datos completos en la literatura revisada.

Los materiales con menor volumen, como paneles de vidrio, metales y recubrimientos delgados presentan una menor participación en la composición volumétrica del proyecto. Este patrón es consistente con investigaciones previas que han señalado la relación entre el uso de materiales estructurales y su impacto en la eficiencia térmica y mecánica de edificaciones [4], [11].

En la Figura 6. Materiales de mayor a menor Área en M2. Fuente: Elaboración Propia. se visualiza la distribución de materiales en términos de área cubierta. En este caso, los materiales predominantes son aquellos utilizados en acabados y revestimientos, como el enlucido y la pintura interior, seguidos por elementos de cerramiento como láminas de zinc y paneles de hormigón.

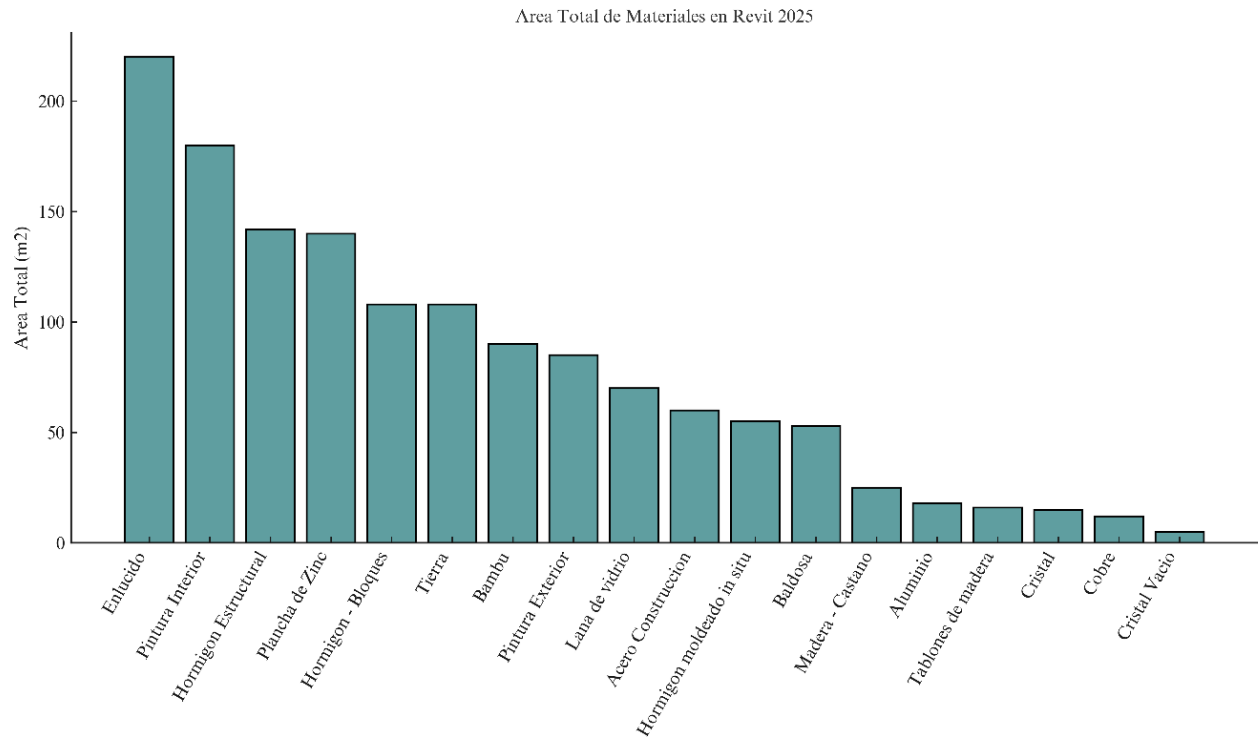


Figura 6. Materiales de mayor a menor Área en M2. Fuente: Elaboración Propia.

Los materiales con menor área cubierta suelen estar relacionados con elementos estructurales internos o componentes específicos del diseño arquitectónico, como detalles en madera o acero. Esto confirma hallazgos previos que indican que los revestimientos exteriores y materiales de terminación tienen un impacto significativo en la eficiencia energética de las viviendas [2], [14].

3.1. *Propiedades térmicas y eficiencia energética.*

Los valores de conductividad y resistencia térmica de los materiales analizados presentan diferencias significativas según su composición y función en la construcción. La conductividad térmica, que mide la capacidad de un material para transferir calor, muestra que los materiales convencionales como el acero de construcción, el hormigón estructural y el vidrio mejorado poseen valores elevados en comparación con alternativas sostenibles como el bambú (Tabla 4. Conductividad y resistencia térmica de los materiales analizados) [19].

El análisis de los datos indica que el acero de construcción presenta la mayor conductividad térmica (~50.2 W/m·K), lo que indica que es un excelente conductor de calor. En contraste, el hormigón estructural (~1.75 W/m·K) y el vidrio mejorado (~0.78 W/m·K) muestran valores más bajos dentro de los materiales convencionales (Tabla 4. Conductividad y resistencia térmica de los materiales analizados) [4], [6]. Por otro lado, el bambú, con una conductividad térmica de 0.12 W/m·K, demuestra una menor transferencia de calor, lo que sugiere una mejor eficiencia energética en edificaciones situadas en climas cálidos [9].

Tabla 4. Conductividad y resistencia térmica de los materiales analizados

Material	Conductividad térmica (W/m·K)	Resistencia térmica (m²·K/W)	Desempeño térmico
Bambú	0.12	8.33	Excelente aislante
Vidrio mejorado	0.78	1.28	Moderado
Bloque de arcilla	0.80	1.25	Moderado
Hormigón estructural	1.75	0.57	Deficiente
Acero estructural	50.20	0.02	Muy deficiente

En términos de resistencia térmica, los datos reflejan una clara ventaja de los materiales sostenibles. El bambú presenta la mayor resistencia térmica con 8.33 m²·K/W, lo que lo posiciona como un material con alto potencial de aislamiento térmico. En contraste, el hormigón estructural tiene una resistencia térmica de 0.57 m²·K/W, mientras que el vidrio mejorado presenta un valor moderado de 1.28 m²·K/W (Tabla 4. Conductividad y resistencia térmica de los materiales analizados) [4], [6]. En el caso del acero, debido a su alta conductividad térmica, su resistencia térmica es despreciable y no se considera en análisis de aislamiento térmico.

El gráfico de comparación de conductividad y resistencia térmica (Figura 7. Comparación de Conductividad Térmica entre Materiales. Fuente: Elaboración Propia) ilustra la relación inversa entre ambas propiedades. Se observa que los materiales convencionales tienen alta conductividad y baja resistencia térmica, mientras que el bambú exhibe el comportamiento opuesto, lo que sugiere su potencial para estrategias de aislamiento térmico sostenible (Figura 8. Comparación de Resistencia Térmica entre Materiales. Fuente: Elaboración Propia).

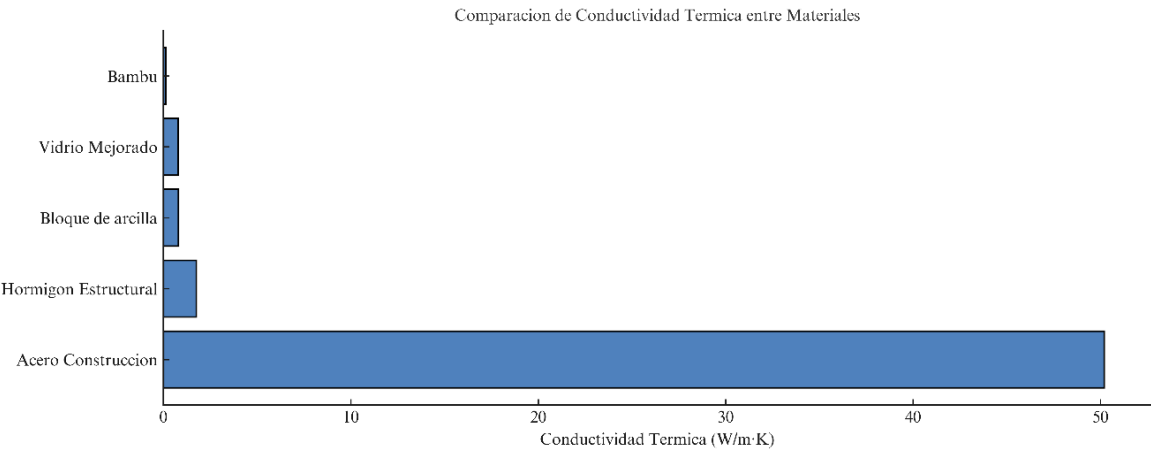


Figura 7. Comparación de Conductividad Térmica entre Materiales. Fuente: Elaboración Propia.

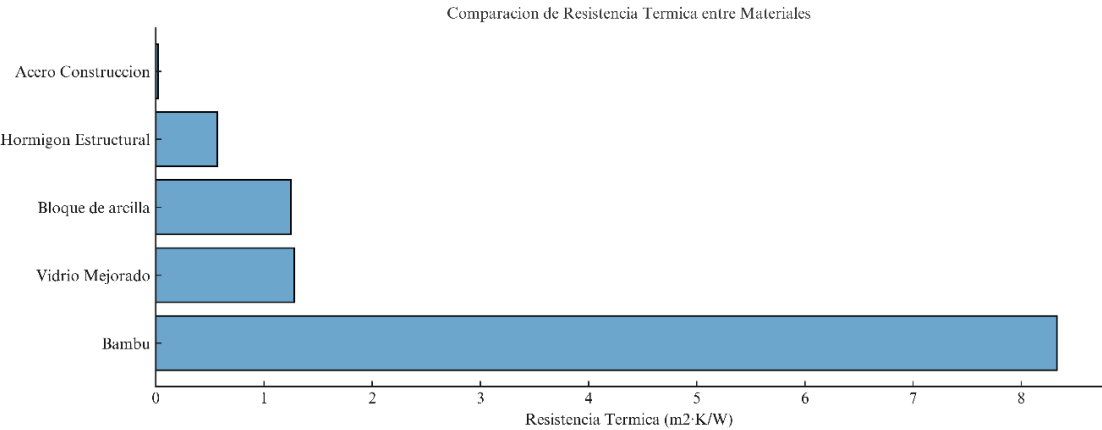


Figura 8. Comparación de Resistencia Térmica entre Materiales. Fuente: Elaboración Propia.

El análisis de estas propiedades térmicas permite evaluar la eficiencia energética de los materiales en construcción, evidenciando que la selección adecuada puede contribuir a la reducción del consumo energético en edificaciones. La incorporación de materiales con baja conductividad térmica y alta resistencia térmica, como el bambú, podría mejorar el desempeño ambiental de las construcciones en climas tropicales [1], [2].

3.2. *Impacto ambiental y huella de carbono.*

El análisis del impacto ambiental de los materiales de construcción se ha centrado en dos indicadores clave: la huella de carbono (kg CO₂/m²) y el potencial de reciclabilidad (%). Los resultados evidencian diferencias significativas en los materiales convencionales y sostenibles en términos de su contribución a las emisiones de carbono y su capacidad de ser reutilizados en procesos productivos (Tabla 5. Huella de carbono y potencial de reciclabilidad de los materiales analizados).

Tabla 5. Huella de carbono y potencial de reciclabilidad de los materiales analizados.

Material	Huella de carbono (kg CO ₂ /m ²)	Reciclabilidad (%)	Evaluación ambiental
Bambú	50	70	Bajo impacto
Vidrio mejorado	60	90	Bajo impacto
Bloque de arcilla	100	40	Impacto medio
Hormigón estructural	150	25	Alto impacto
Acero estructural	250	—	Muy alto impacto

Los valores de huella de carbono y reciclabilidad presentados en la Tabla 5 fueron utilizados como criterios de comparación para orientar la elección de materiales dentro del modelo BIM. Si bien el software no permite la simulación directa del impacto ambiental, estos parámetros fueron fundamentales para analizar el desempeño ambiental de cada alternativa constructiva, en conjunto con sus propiedades térmicas. Así, la evaluación no se limita a un análisis aislado, sino que integra el criterio ambiental dentro del proceso de selección técnica de materiales.

Los valores obtenidos muestran que el acero de construcción posee la mayor huella de carbono (~250 kg CO₂/m²), lo que indica un alto impacto ambiental. Este material es ampliamente utilizado en estructuras por sus propiedades mecánicas, pero su proceso de fabricación es intensivo en energía y emisiones (Tabla 5. Huella de carbono y potencial de reciclabilidad de los materiales analizados) [2]. El hormigón estructural, con una huella de carbono de aproximadamente 150 kg CO₂/m², sigue siendo un material con impacto ambiental considerable, aunque en menor medida que el acero [7].

Por otro lado, el vidrio mejorado presenta un impacto intermedio, con una huella de carbono de 90 kg CO₂/m², mientras que el bambú destaca por su menor huella de carbono, con un valor de 50 kg CO₂/m², lo que refuerza su potencial como alternativa sostenible en la construcción [9].

El potencial de reciclabilidad también presenta variaciones significativas entre los materiales analizados. El vidrio mejorado, con una reciclabilidad del 90%, es el material con mayor capacidad de reutilización en comparación con el hormigón estructural, que alcanza un 60% de reciclabilidad (Figura 9. Comparación de Huella de Carbono y Reciclabilidad en Materiales de

Construcción) [6]. En el caso del acero estructural, no se incluyó un valor numérico de reciclabilidad en la tabla debido a la ausencia de un dato específico y uniforme en las fuentes revisadas. No obstante, diversos estudios industriales y normativos reconocen que el acero es uno de los materiales más reciclables a nivel global, con tasas que superan el 90 % en muchos contextos productivos. Esta característica se menciona en el texto como una valoración cualitativa respaldada por la práctica industrial, aunque no se visualiza cuantitativamente en la tabla por razones metodológicas (Figura 9. Comparación de Huella de Carbono y Reciclabilidad en Materiales de Construcción).

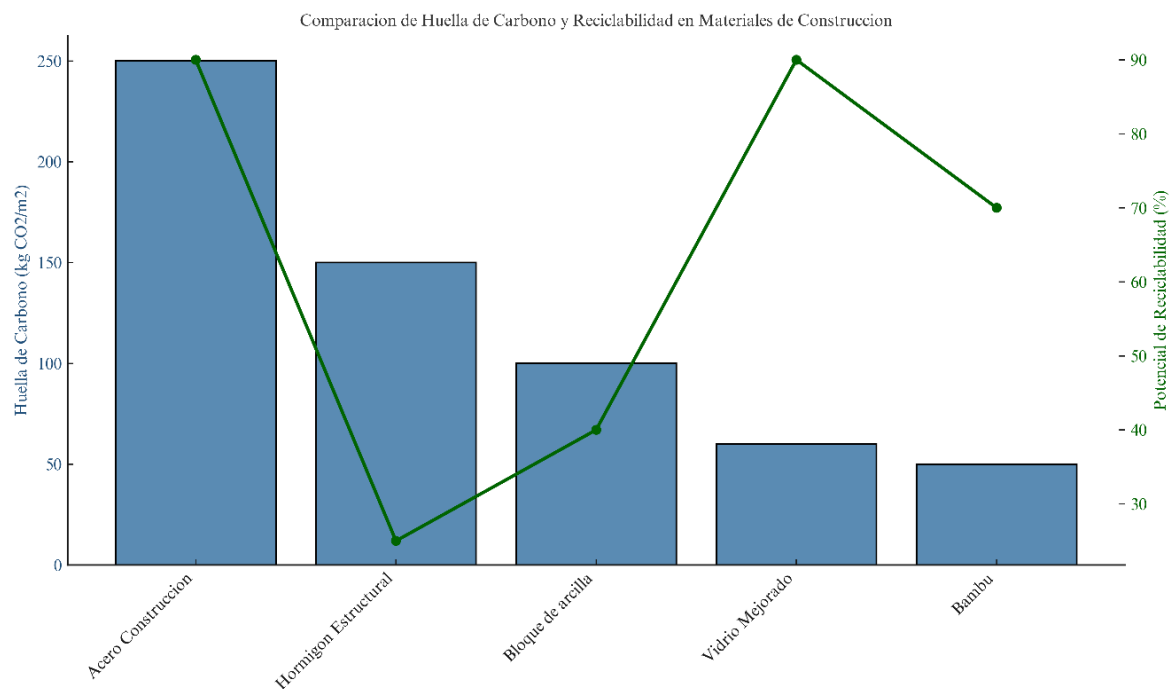


Figura 9. Comparación de Huella de Carbono y Reciclabilidad en Materiales de Construcción. Fuente: elaboración Propia.

El análisis comparativo resalta la necesidad de incorporar materiales con menor huella de carbono y mayor reciclabilidad en el diseño de viviendas sostenibles. En particular, el bambú emerge como una alternativa viable para reducir el impacto ambiental en climas tropicales, mientras que la optimización del uso de materiales como el hormigón y el vidrio mejorado puede contribuir a estrategias de economía circular en la construcción [1], [2].

3.3. Comparación con datos de consumo energético en la vivienda modelada.

Además del análisis individual de propiedades térmicas y ambientales, este estudio implementó un análisis comparativo de escenarios constructivos, modelando diferentes configuraciones de materiales convencionales y sostenibles dentro del entorno BIM. A través de esta comparación, fue posible evaluar el desempeño energético simulado en la vivienda bajo distintas combinaciones de cerramientos, estructuras y elementos de la envolvente. Esta estrategia permitió cuantificar cómo las decisiones de diseño basadas en la selección de materiales inciden directamente en el consumo energético total estimado. (Figura 10. Consumo Energético por Categoría y su Relación con Materiales).

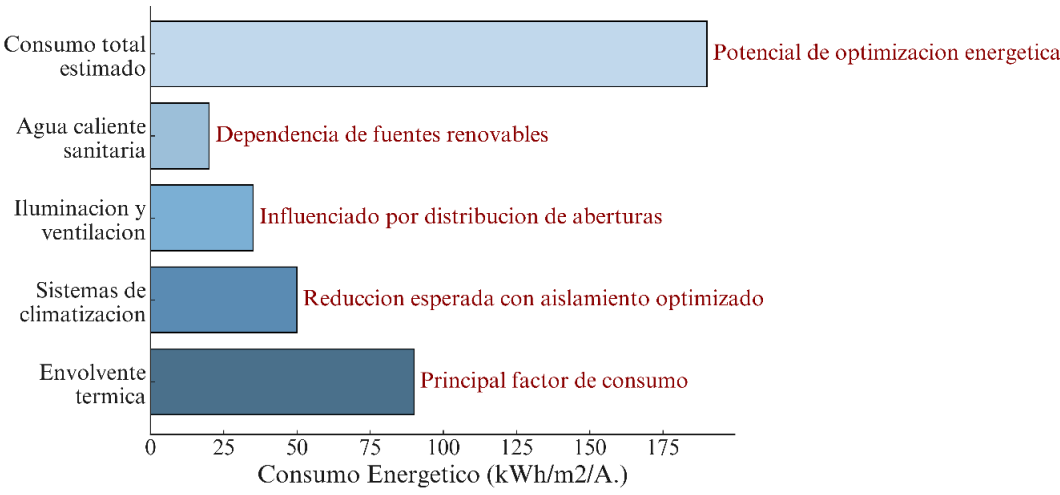


Figura 10. Consumo Energético por Categoría y su Relación con Materiales. Fuente: Elaboración Propia.

El consumo energético de los sistemas de climatización alcanza 50 kWh/m²/año, lo que sugiere que su eficiencia está estrechamente vinculada a la capacidad aislante de los materiales empleados en la construcción. La selección de materiales con alta inercia térmica, como el hormigón denso, puede contribuir a reducir las oscilaciones de temperatura y minimizar el uso de sistemas mecánicos de climatización (Tabla 6. Resumen del consumo energético del modelo BIM) [1], [4].

Tabla 6. Resumen del consumo energético del modelo BIM

Categoría	Consumo energético (kWh/m²/año)	% del consumo total	Observación técnica / impacto
Envolvente térmica	85	44.7 %	Principal factor de consumo. Mejora posible con aislamiento.
Sistemas de climatización	50	26.3 %	Reducción esperada si se optimizan cerramientos.
Iluminación y ventilación	35	18.4 %	Afectado por diseño pasivo y ubicación de aberturas.
Agua caliente sanitaria	20	10.5 %	Alta dependencia de fuentes energéticas.
Consumo total estimado	190	100%	Potencial de reducción general mediante diseño integrado.

Los valores de consumo energético presentados en la Tabla 6 fueron estimados a partir de simulaciones realizadas en Revit Insight, considerando escenarios con materiales convencionales y sostenibles. Si bien el software permite calcular la carga térmica en función de las propiedades de los elementos constructivos, no incorpora directamente indicadores como la reciclabilidad o la huella de carbono. No obstante, estos valores ambientales (Tabla 5) fueron utilizados como criterios adicionales de análisis para seleccionar combinaciones materiales más sostenibles, sin alterar los parámetros energéticos del software. En este sentido, la reciclabilidad del acero (90 %) y del bambú (70 %) se consideran en el análisis global, aunque no afectaron directamente los cálculos energéticos del modelo.

En cuanto a la iluminación y ventilación, el consumo estimado es de 35 kWh/m²/año, influenciado en gran medida por la distribución de aberturas y el uso de materiales que permitan la entrada de luz natural sin incrementar la carga térmica. El empleo de vidrios de baja emisividad y materiales reflectantes podría optimizar la iluminación y reducir la

necesidad de iluminación artificial (Figura 10. Consumo Energético por Categoría y su Relación con Materiales) [6].

El consumo energético del sistema de agua caliente sanitaria se estima en 20 kWh/m²/año, dependiendo en gran medida del uso de fuentes renovables y de la eficiencia de los sistemas de aislamiento térmico en tuberías y depósitos. La aplicación de aislantes térmicos en las conducciones de agua caliente podría reducir significativamente estas pérdidas de energía (Tabla 6. Resumen del consumo energético del modelo BIM) [17].

Finalmente, el consumo total estimado de la vivienda es de aproximadamente 190 kWh/m²/año, lo que evidencia un potencial de optimización energética mediante estrategias de selección de materiales más eficientes. Se observa que la reducción del consumo en la envolvente térmica y los sistemas de climatización podría generar una mejora sustancial en la eficiencia del edificio (Figura 10. Consumo Energético por Categoría y su Relación con Materiales) [2].

Estos resultados refuerzan la importancia del uso de materiales con baja conductividad térmica, alta inercia térmica y propiedades reflectantes en la optimización energética de viviendas en climas tropicales. Además, la incorporación de estrategias de iluminación natural y aislamiento térmico en instalaciones sanitarias puede contribuir a una reducción significativa del consumo energético, mejorando el desempeño ambiental del edificio [1], [5].

4. Discusión

4.1. *Materiales y eficiencia energética: el dilema entre conductividad y sostenibilidad*

El principal hallazgo de este estudio evidencia que la selección de materiales en la construcción de viviendas de interés social en climas tropicales tiene un impacto determinante en la eficiencia energética y el desempeño ambiental de los proyectos. La conductividad térmica de los materiales analizados presenta una relación directa con la demanda energética de climatización, lo que resalta la importancia de optar por materiales con baja transferencia de calor para reducir el consumo energético del edificio (Tabla 6. Resumen del consumo energético del modelo BIM).

En este contexto, los materiales sostenibles como el bambú han demostrado ventajas térmicas y ambientales al exhibir una resistencia térmica significativamente mayor en comparación con materiales convencionales como el hormigón estructural y el acero [9]. La baja conductividad térmica del bambú (~ 0.12 W/m·K) permite minimizar la ganancia de calor en el interior de la vivienda, reduciendo la necesidad de climatización artificial (Figura 7. Comparación de Conductividad Térmica entre Materiales. Fuente: Elaboración Propia). Además, su baja huella de carbono y alto potencial de reciclabilidad lo posicionan como una alternativa viable para proyectos de construcción sostenible en climas tropicales [2], [6].

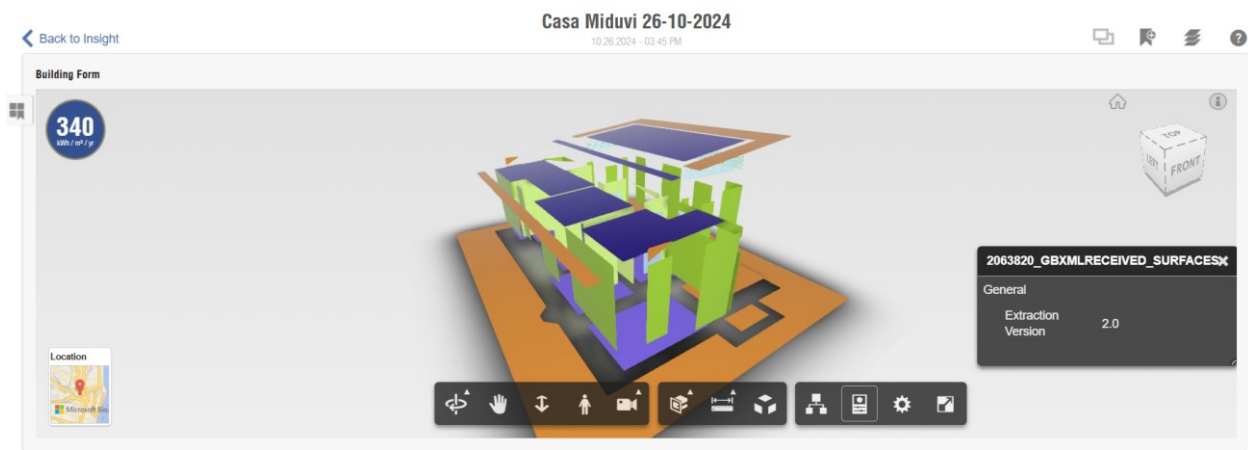


Figura 11. Interfaz Insight. <https://insight.autodesk.com/OneEnergy/Insight/230648>. Fuente: Elaboración Propia.

Por otro lado, los materiales convencionales como el acero y el hormigón estructural presentan altos valores de conductividad térmica ($\sim 50.2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ y $\sim 1.75 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, respectivamente), lo que aumenta la demanda energética debido a la rápida transferencia de calor hacia el interior del edificio [19]. A su vez, estos materiales poseen una huella de carbono elevada, especialmente el acero ($\sim 250 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2$), lo que incrementa el impacto ambiental del proyecto (Figura 11. Interfaz Insight. <https://insight.autodesk.com/OneEnergy/Insight/230648>. Fuente: Elaboración Propia). Estos resultados coinciden con investigaciones previas que han señalado al acero y el hormigón como materiales con alto consumo energético en su producción y ciclo de vida [1].

Si bien el vidrio mejorado ofrece una conductividad térmica moderada ($\sim 0.78 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) y una alta reciclabilidad ($\sim 90\%$), su capacidad de aislamiento térmico sigue siendo inferior a la de materiales naturales como el bambú o los compuestos de fibras vegetales [6]. Estudios previos han demostrado que la combinación de vidrios de baja emisividad con sistemas de ventilación pasiva puede mejorar la eficiencia térmica sin necesidad de aumentar el uso de materiales de alta densidad [9].

Estos hallazgos confirman la importancia de replantear los criterios de selección de materiales en viviendas de interés social, priorizando alternativas con baja conductividad térmica y menor impacto ambiental. La adopción de materiales como el bambú, combinados con estrategias de diseño pasivo, podría representar una solución efectiva para reducir el consumo energético y la huella de carbono en edificaciones en climas tropicales. Sin embargo, futuras investigaciones deben enfocarse en la validación empírica de estos materiales en condiciones reales, considerando variables como la degradación con el tiempo, la resistencia estructural y la eficiencia en el desempeño térmico a largo plazo [4].

4.2. ¿Sostenibilidad o rendimiento estructural? Análisis de materiales en la construcción.

Los resultados obtenidos en este estudio confirman que la conductividad y la resistencia térmicas de los materiales influyen directamente en el consumo energético de las edificaciones. En particular, los materiales con baja conductividad térmica y alta resistencia térmica ofrecen mejores condiciones de aislamiento, lo que reduce la demanda de

climatización y mejora la eficiencia energética de la vivienda modelada (Tabla 4. Conductividad y resistencia térmica de los materiales analizados).

El bambú destacó como una opción viable para construcciones sostenibles debido a su baja conductividad térmica ($\sim 0.12 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) y su elevada resistencia térmica ($\sim 8.33 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$), lo que sugiere un importante potencial de ahorro energético en climas tropicales [9]. Este resultado refuerza hallazgos previos sobre el uso de materiales naturales en edificaciones con criterios de eficiencia energética [6].

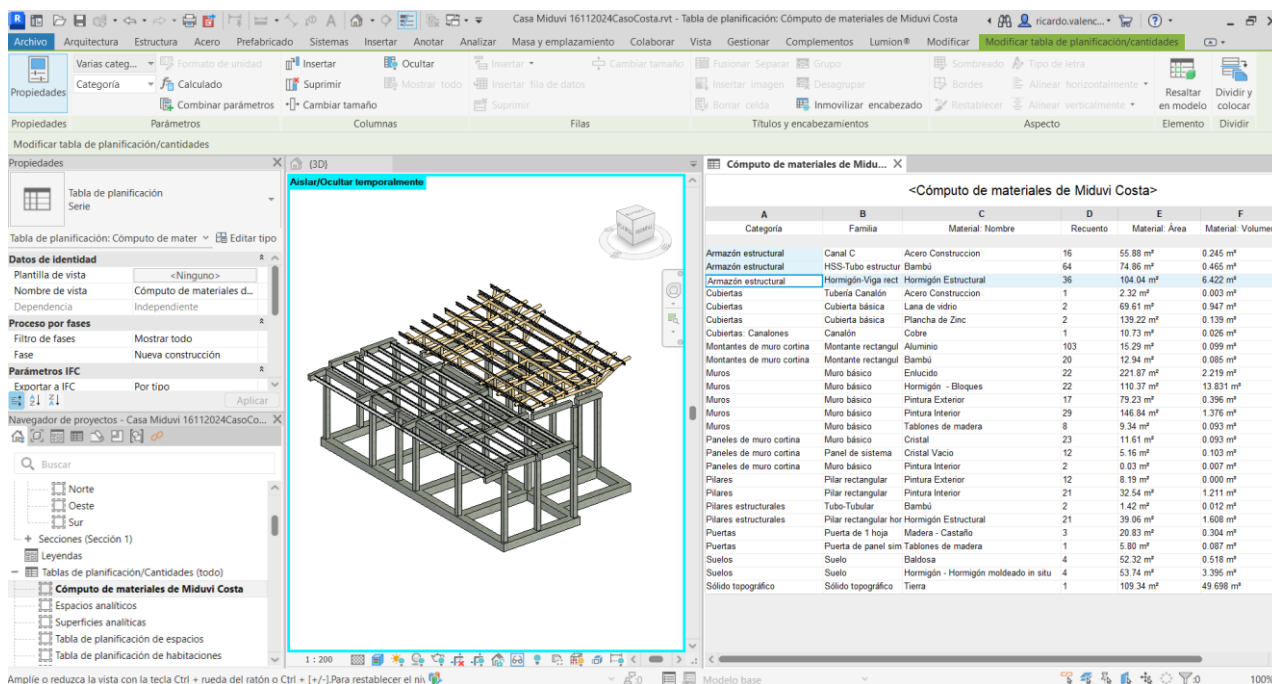


Figura 12. Estructura y modelado de Cubierta, soporte bambú. Fuente: Elaboración Propia.

En contraste, el acero presentó la conductividad térmica más alta ($\sim 50.2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), lo que lo convierte en un material ineficiente en términos de aislamiento térmico y, por ende, requirió un mayor consumo energético para regular la temperatura interior [19]. Además, el acero y el hormigón estructural exhibieron la mayor huella de carbono ($\sim 250 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2$ y $\sim 150 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2$, respectivamente), lo que resalta su impacto ambiental y refuerza la necesidad de buscar alternativas más sostenibles (Figura 12. Estructura y modelado de Cubierta, soporte bambú. Fuente: Elaboración Propia.).

En términos de potencial de reciclabilidad, el vidrio mejorado mostró un desempeño favorable ($\sim 90\%$), aunque su huella de carbono sigue siendo considerable ($\sim 90 \text{ kg CO}_2/\text{m}^2$) [6]. Estos datos sugieren que la sostenibilidad en la construcción no solo debe considerar el rendimiento térmico de los materiales, sino también su impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida [2].

Desde el punto de vista del consumo energético, el análisis BIM evidenció que la envolvente térmica representa la categoría con mayor demanda energética ($\sim 85 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$), seguida por los sistemas de climatización ($\sim 50 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$) y la iluminación y ventilación ($\sim 35 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$). Este resultado indica que la selección de materiales adecuados podría reducir considerablemente la carga térmica de la edificación, mejorando así su eficiencia energética y disminuyendo el impacto ambiental asociado a su operación [1].

En conclusión, este análisis resalta el dilema entre sostenibilidad y rendimiento estructural en la selección de materiales para la construcción. Si bien los materiales convencionales como el acero y el hormigón ofrecen resistencia mecánica, su alto impacto ambiental y su baja eficiencia térmica los convierten en opciones menos sostenibles. En contraste, materiales como el bambú y el vidrio mejorado pueden optimizar el desempeño energético y reducir la huella de carbono, promoviendo un enfoque más sustentable en el diseño de viviendas en climas tropicales. No obstante, futuras investigaciones deben abordar la viabilidad estructural y la durabilidad a largo plazo de estos materiales, así como evaluar su comportamiento en condiciones climáticas reales y su integración con tecnologías de construcción avanzada [4].

4.3. *Construcción tradicional vs. innovación: lo que la bibliografía nos dice.*

Los resultados de este estudio son consistentes con investigaciones previas, que han destacado la relevancia de los materiales naturales y reciclables en la reducción de la demanda energética y la minimización del impacto ambiental en edificaciones sostenibles [1], [2]. En particular, estudios recientes han demostrado que la selección de materiales con alta resistencia térmica y baja huella de carbono desempeña un papel fundamental en la optimización de la eficiencia energética de los edificios.

Los datos obtenidos en este estudio reafirman que los materiales convencionales como el acero y el hormigón estructural tienen una huella de carbono significativamente alta (~ 250 kg CO₂/m² y ~ 150 kg CO₂/m², respectivamente), lo que los convierte en materiales menos sostenibles dentro del sector de la construcción (Figura 9. Comparación de Huella de Carbono y Reciclabilidad en Materiales de Construcción). Estos valores coinciden con reportes previos que identifican a estos materiales como principales contribuyentes a las emisiones globales de CO₂ [20].

Sin embargo, a diferencia de estudios anteriores que han enfatizado únicamente el impacto ambiental, este análisis incorpora la relación directa entre las propiedades térmicas de los materiales y el consumo energético de la vivienda modelada en BIM. Los datos revelan que la envolvente térmica es el factor de mayor consumo (~ 85 kWh/m²/año), seguido por los sistemas de climatización (~ 50 kWh/m²/año) y la iluminación y ventilación (~ 35 kWh/m²/año) (Figura 13. Modelado de Cubierta y análisis energético de Bambú. Fuente: Elaboración Propia). Estos hallazgos refuerzan la necesidad de considerar estrategias de diseño pasivo y la utilización de materiales con baja conductividad térmica y alta capacidad de aislamiento para reducir la demanda de climatización artificial [5].

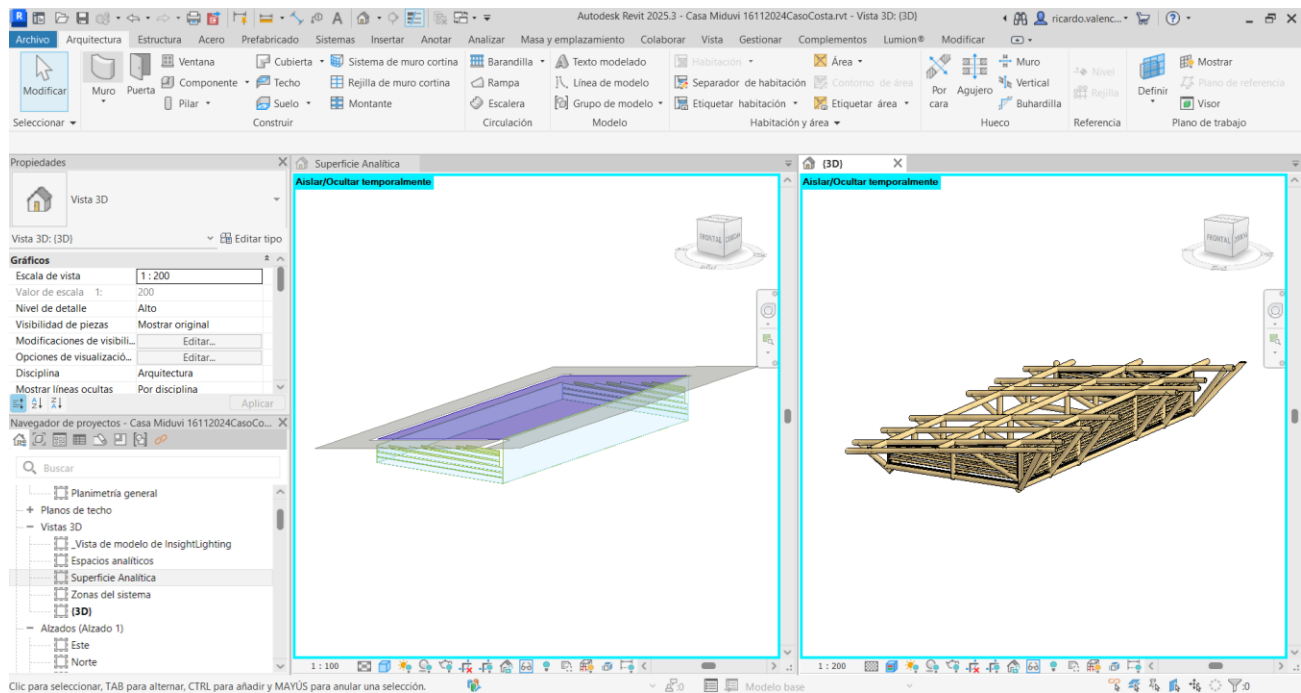


Figura 13. Modelado de Cubierta y análisis energético de Bambú. Fuente: Elaboración Propia

Desde la perspectiva de la innovación en la construcción, se evidencia que materiales alternativos como el bambú y el vidrio mejorado presentan una menor huella de carbono y un mayor potencial de reciclabilidad (~90%), lo que refuerza su viabilidad como sustitutos sostenibles en edificaciones de interés social [6]. Estos resultados coinciden con estudios recientes que sugieren que la integración de materiales renovables y estrategias de diseño bioclimático podría reducir significativamente el impacto ambiental del sector de la construcción [2], [12].

Es importante destacar que los materiales modelados no fueron seleccionados de manera subjetiva, sino a partir de criterios técnicos previamente definidos. Las decisiones se fundamentaron en datos documentados sobre conductividad térmica, huella de carbono y reciclabilidad, lo que permitió evaluar su comportamiento a través de simulaciones energéticas con mayor rigor metodológico.

En conclusión, este estudio demuestra que la eficiencia energética y la sostenibilidad no deben considerarse de manera aislada, sino como parte de un enfoque integral en el diseño de viviendas en climas tropicales. La incorporación de modelos BIM ha permitido cuantificar de manera precisa la relación entre selección de materiales, impacto ambiental y demanda energética, proporcionando herramientas para mejorar la toma de decisiones en el sector [3]. Sin embargo, futuras investigaciones deberían profundizar en la combinación de materiales innovadores con tecnologías de construcción digital para optimizar aún más el desempeño térmico y la sostenibilidad de las edificaciones.

4.4. Más allá del diseño: la importancia de optimizar la huella de carbono en vivienda social.

El análisis de la huella de carbono en materiales de construcción ha cobrado gran relevancia en los últimos años, especialmente en el contexto de la vivienda social en climas tropicales, donde la demanda energética y las condiciones ambientales pueden acentuar el

impacto ambiental de las edificaciones. Los resultados obtenidos en este estudio confirman que los materiales tradicionalmente utilizados en la construcción, como el acero y el hormigón estructural, presentan altos valores de emisiones de CO₂ (~250 kg CO₂/m² y ~150 kg CO₂/m², respectivamente), lo que refuerza la necesidad de optimizar la selección de materiales para mitigar su impacto ambiental (Figura 9. Comparación de Huella de Carbono y Reciclabilidad en Materiales de Construcción. Fuente: elaboración Propia.).

Este hallazgo es consistente con estudios previos, que han identificado que el sector de la construcción es responsable de una parte significativa de las emisiones globales de gases de efecto invernadero [20]. Sin embargo, en este estudio se ha abordado el problema desde una perspectiva más integral, considerando la relación entre la huella de carbono, la reciclabilidad de los materiales y su eficiencia energética en la edificación. Se ha evidenciado que materiales como el vidrio mejorado presentan una moderada huella de carbono (~90 kg CO₂/m²), pero un alto potencial de reciclabilidad (~90%), lo que lo convierte en una alternativa viable en el marco de la sostenibilidad [6].

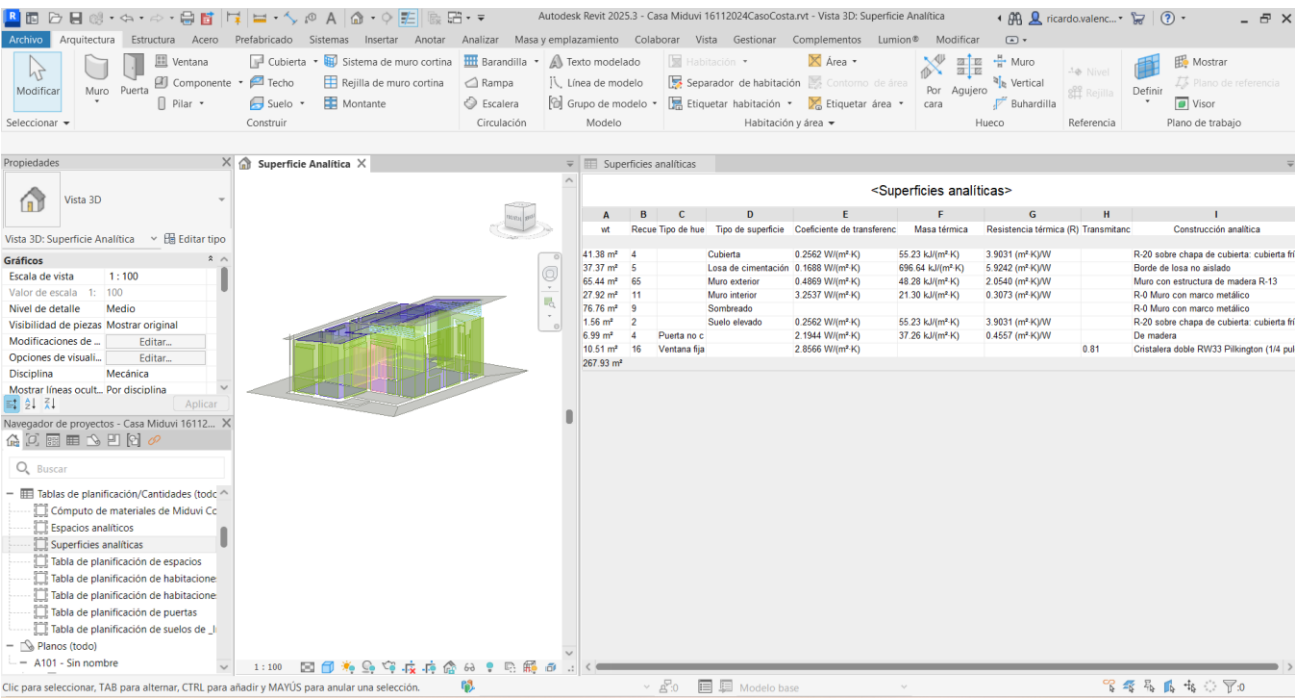


Figura 14. Modelado de Superficies Analíticas Revit Insight. Fuente: Elaboración Propia

En contraste, los materiales renovables, como el bambú, han demostrado ser opciones altamente sostenibles, ya que presentan una de las menores huellas de carbono (~50 kg CO₂/m²) y un excelente desempeño térmico, con alta resistencia térmica y baja conductividad térmica (~8.33 m²·K/W y 0.12 W/m·K, respectivamente) (Figura 14. Modelado de Superficies Analíticas Revit Insight. Fuente: Elaboración Propia. Estos resultados coinciden con estudios que promueven el uso de materiales de rápido crecimiento y baja energía embebida para disminuir el impacto ambiental de las construcciones [9].

Desde la perspectiva de la vivienda social, la optimización de la huella de carbono debe abordarse no solo desde la selección de materiales, sino también desde la integración de estrategias de diseño bioclimático y el uso de herramientas digitales para mejorar la eficiencia energética de los edificios. El modelado BIM ha permitido cuantificar el impacto

de los materiales en la huella ambiental de la vivienda modelada, lo que facilita la toma de decisiones fundamentadas para futuras construcciones de interés social [5].

A pesar de estos avances, el desafío radica en equilibrar costos, accesibilidad y sostenibilidad. En muchos casos, los materiales de menor impacto ambiental pueden tener costos iniciales más elevados o requerir adaptaciones en los procesos constructivos tradicionales. Sin embargo, el análisis de consumo energético realizado en este estudio demuestra que la inversión en materiales más eficientes térmicamente puede traducirse en una reducción significativa de la demanda de climatización ($\sim 50 \text{ kWh/m}^2/\text{año}$), lo que a largo plazo genera ahorros en consumo energético y contribuye a la reducción de emisiones de CO_2 [2].

En conclusión, la optimización de la huella de carbono en la vivienda social no puede depender únicamente de la elección de materiales, sino que debe integrarse en un enfoque sistémico que incluya diseño bioclimático, selección estratégica de materiales y herramientas digitales como BIM para mejorar la precisión en la cuantificación del impacto ambiental [3]. Las estrategias de optimización energética y reducción de la huella de carbono deben estar alineadas con políticas públicas y normativas que fomenten una construcción más sostenible y accesible.

4.5. *¿Qué tan precisos son los modelos digitales? Limitaciones del análisis en BIM.*

El uso de Building Information Modeling (BIM) en el análisis de materiales y consumo energético ha demostrado ser una herramienta fundamental para la optimización de diseños arquitectónicos y la cuantificación de insumos en la construcción [5]. Sin embargo, su precisión está condicionada por ciertos factores que limitan su aplicabilidad en escenarios reales.

En primer lugar, las simulaciones en BIM se basan en valores teóricos y parámetros predefinidos, lo que implica que no se contemplan de manera exhaustiva las variaciones ambientales a las que estarán expuestos los materiales en el tiempo. Factores como la humedad, la radiación solar y la calidad del aire pueden influir significativamente en la durabilidad y eficiencia de los materiales, afectando sus propiedades térmicas y mecánicas a largo plazo [2]. Estudios previos han demostrado que los valores de conductividad y resistencia térmicas pueden presentar diferencias notables cuando se contrastan mediciones experimentales con datos simulados [1].

Otra limitación clave es que el análisis realizado en este estudio no considera variaciones en el diseño arquitectónico, tales como la ventilación cruzada, el uso de estrategias de sombreado pasivo o la orientación de la edificación, aspectos que podrían optimizar significativamente el desempeño térmico sin necesidad de modificar los materiales utilizados [9]. Modelos más avanzados de simulación energética, como los que incluyen análisis dinámicos de cargas térmicas y flujos de aire, permitirían integrar estos factores y ofrecer una evaluación más representativa de la realidad [3].

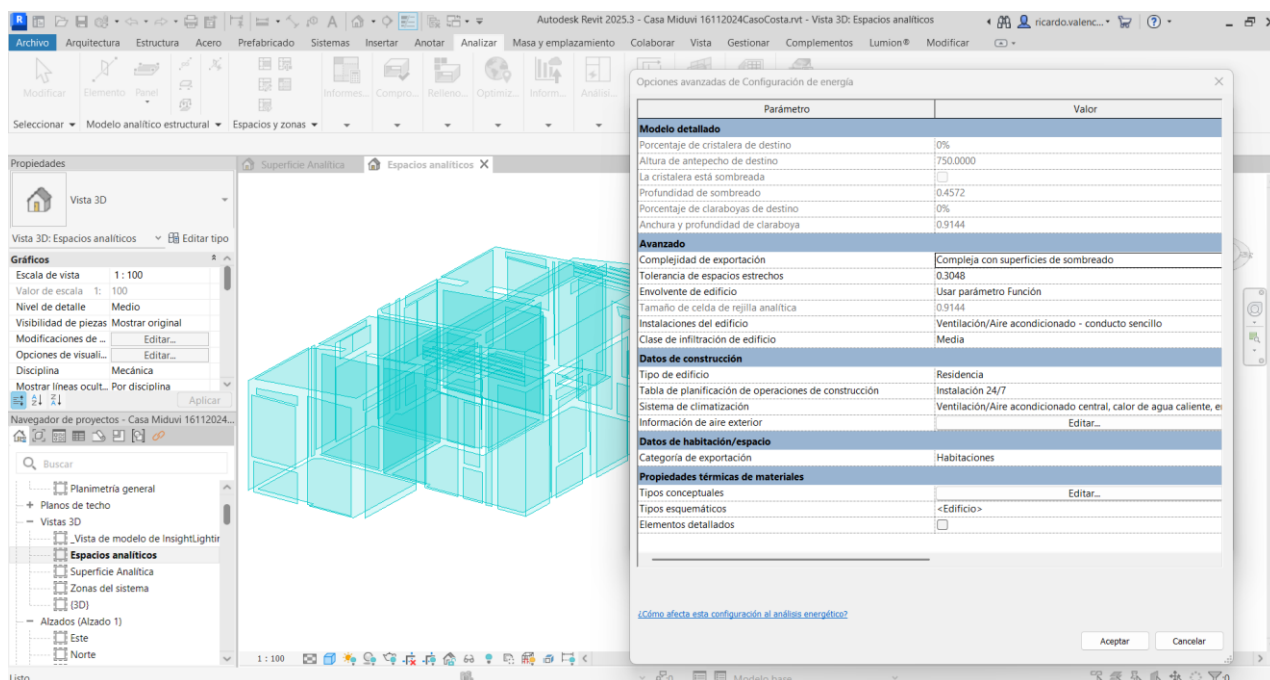


Figura 15. Configuración Energética de Modelo Revit Insight. Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, el consumo energético calculado en BIM depende de los valores predeterminados de los softwares de simulación (Fig. 15), que pueden no reflejar con exactitud el comportamiento real de un material en diferentes condiciones climáticas. La incorporación de datos empíricos obtenidos de mediciones en campo sería esencial para mejorar la confiabilidad de los resultados y reducir la brecha entre la simulación y la aplicación práctica [4]. Finalmente, si bien la modelación BIM facilita la cuantificación precisa de materiales y la estimación de impactos ambientales, este estudio no aborda el ciclo de vida completo de los materiales, incluyendo su fabricación, transporte, instalación y disposición final. Evaluaciones basadas en Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y modelos híbridos que combinen datos de simulación con mediciones empíricas permitirían un enfoque más integral en futuras investigaciones [20].

A pesar de estas limitaciones, la implementación de BIM en este estudio demuestra su potencial como herramienta de planificación en la construcción sostenible. No obstante, la precisión de los modelos digitales debe ser complementada con estudios experimentales y validaciones empíricas que permitan generar un conocimiento más robusto y aplicable a diversos contextos climáticos y constructivos.

4.6. BIM y bases de datos inteligentes: el futuro de la selección de materiales en arquitectura.

Los avances en tecnología digital y modelado de información para la construcción (BIM) han transformado la manera en que se seleccionan y evalúan los materiales en proyectos arquitectónicos. En este estudio, el uso de BIM en combinación con bases de datos estructuradas de materiales permitió cuantificar de manera precisa la cantidad de materiales empleados en la vivienda modelada, así como analizar su impacto en el consumo energético y la huella de carbono [5]. Esta metodología facilita la toma de decisiones fundamentadas en información cuantitativa, lo que resulta esencial en la construcción sostenible y la optimización de recursos en viviendas de interés social.

Desde una perspectiva aplicada, los resultados obtenidos pueden integrarse en estrategias de eficiencia energética en arquitectura, permitiendo a arquitectos, ingenieros y urbanistas seleccionar materiales que reduzcan el consumo energético de los edificios y minimicen su impacto ambiental. En climas tropicales, donde las altas temperaturas y la humedad condicionan el desempeño térmico de las edificaciones, la elección de materiales con baja conductividad térmica y alta resistencia térmica puede contribuir significativamente a la reducción de la demanda de climatización artificial [2].

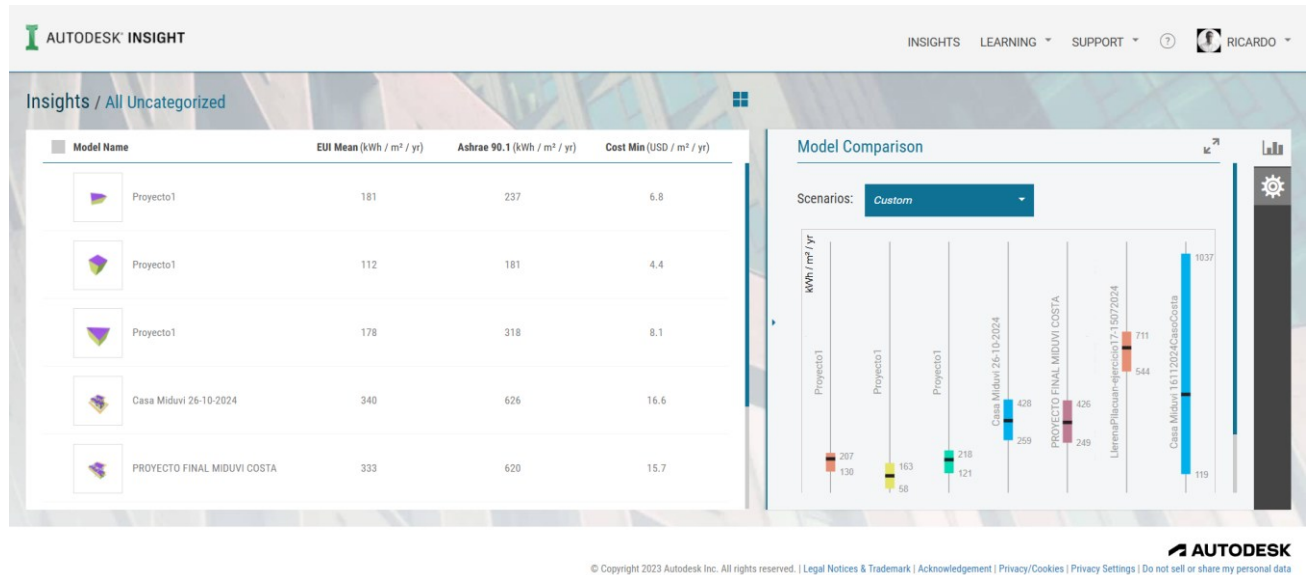


Figura 16. Modelos Comparativos de Consumo Energético Autodesk Insight. Fuente: Elaboración Propia.

Los hallazgos también aportan a la construcción de modelos integrados de diseño arquitectónico, proporcionando una base cuantitativa para futuras decisiones en construcción sostenible. A través del uso de bases de datos inteligentes, se pueden identificar tendencias en el rendimiento de los materiales, evaluar su viabilidad en distintos entornos y generar modelos predictivos que optimicen la selección de materiales en función de su desempeño térmico, impacto ambiental y costo energético. Estudios recientes han destacado la importancia de desarrollar sistemas BIM vinculados con bases de datos dinámicas para mejorar la eficiencia en la planificación y gestión de proyectos [3].

Además, la incorporación de metodologías digitales como BIM no solo mejora la precisión en la evaluación de materiales, (Figura 16. Modelos Comparativos de Consumo Energético Autodesk Insight. Fuente: Elaboración Propia, sino que también permite explorar el impacto de nuevos materiales con baja huella de carbono en el diseño de edificaciones más sostenibles. Materiales como el bambú, los concretos reciclados y los polímeros reforzados presentan un alto potencial para ser integrados en bases de datos inteligentes de selección de materiales [9].

A pesar de sus ventajas, la integración de BIM con bases de datos de materiales sigue enfrentando desafíos, particularmente en la estandarización de información y la accesibilidad a datos precisos sobre las propiedades mecánicas, térmicas y ambientales de los materiales. Estudios previos han señalado que la falta de estandarización en las bases de datos de materiales dificulta la comparabilidad de datos entre diferentes plataformas y herramientas digitales [1].

En este sentido, el presente estudio destaca la importancia de fortalecer la vinculación entre BIM y bases de datos inteligentes, con el objetivo de mejorar la precisión en la selección de materiales y facilitar el diseño de edificaciones energéticamente eficientes. La consolidación de estos modelos permitirá no solo reducir la huella de carbono y el impacto ambiental de la construcción, sino también mejorar la accesibilidad a herramientas de análisis de materiales para arquitectos y diseñadores, promoviendo una construcción más sostenible y eficiente a nivel global.

4.7. *De la teoría a la práctica: desafíos y oportunidades en la construcción sostenible.*

Los hallazgos obtenidos en este estudio evidencian que la selección de materiales tiene un impacto directo en la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental de las viviendas de interés social en climas tropicales. En particular, los materiales convencionales, como el acero y el hormigón estructural, si bien poseen ventajas en resistencia y durabilidad, presentan valores elevados de conductividad térmica y una alta huella de carbono, lo que incrementa la demanda energética de los edificios [4], [19]. En contraste, los materiales sostenibles, como el bambú y el vidrio mejorado, exhiben menor impacto ambiental y mejores propiedades térmicas, lo que los convierte en alternativas viables para optimizar el desempeño energético de edificaciones en regiones de altas temperaturas [6], [9].

Desde una perspectiva aplicada, estos resultados presentan implicaciones significativas en el sector de la construcción, ya que proporcionan evidencia cuantitativa que respalda la integración de criterios de sostenibilidad en la selección de materiales. El uso de herramientas BIM, en particular Revit y Revit Insight, ha permitido cuantificar con precisión la cantidad de materiales empleados y analizar su impacto en el consumo energético del edificio modelado [3], [5]. Esta metodología refuerza la utilidad de la simulación digital para optimizar la elección de materiales en función de sus propiedades térmicas, mecánicas y ambientales.

No obstante, aún persisten desafíos para lograr una transición efectiva hacia prácticas constructivas más sostenibles. Uno de los principales retos es la falta de normativas específicas que regulen el uso de materiales alternativos en la construcción de vivienda social en climas tropicales. A pesar de los beneficios del bambú y otros materiales reciclados, su adopción en proyectos de gran escala sigue siendo limitada debido a barreras regulatorias, costos de producción y resistencia estructural en comparación con materiales tradicionales [1], [9]. Por otro lado, si bien las herramientas BIM permiten una evaluación detallada del comportamiento térmico de los materiales, el estudio aún no incorpora mediciones en condiciones reales, lo que podría ofrecer una validación empírica más robusta de los resultados obtenidos [2].

5. Conclusiones

Este estudio ha demostrado que la selección de materiales desempeña un papel determinante en la eficiencia energética y el impacto ambiental de las viviendas de interés social en climas tropicales. A través del modelado BIM en Revit, se logró una cuantificación precisa de los materiales empleados y un análisis detallado de su comportamiento térmico y ambiental. Los resultados evidencian que materiales convencionales como el acero y el

hormigón estructural presentan una alta huella de carbono y baja resistencia térmica, lo que incrementa el consumo energético de la edificación [2]. En contraste, alternativas sostenibles como el bambú y el vidrio mejorado han demostrado ser soluciones eficientes, con baja conductividad térmica, mayor resistencia térmica y alta reciclabilidad, favoreciendo la reducción del consumo energético en la envolvente térmica [3].

El uso de herramientas digitales como BIM no solo permitió cuantificar los materiales con precisión, sino que también facilitó la evaluación del impacto energético, estableciendo una relación clara entre la selección de materiales y la eficiencia energética del proyecto. Este enfoque integrador permite optimizar el diseño arquitectónico, priorizando materiales con menor huella ambiental y maximizando la eficiencia térmica de la edificación [5]. Los resultados de este estudio consolidan una base de datos estructurada con propiedades térmicas y ambientales de los materiales evaluados, lo que representa un recurso valioso para la toma de decisiones informadas en el diseño y la construcción sostenible en climas tropicales [11].

Desde una perspectiva práctica, estos hallazgos refuerzan la necesidad de incorporar metodologías avanzadas de simulación y selección de materiales en la planificación de viviendas de bajo impacto ambiental. La reducción del consumo energético a través de la elección estratégica de materiales no solo mejora la sostenibilidad del sector de la construcción, sino que también contribuye a mitigar los efectos del cambio climático mediante la disminución de emisiones de CO₂ [2], [20].

Como línea de investigación futura, se recomienda la realización de validaciones experimentales en viviendas construidas con los materiales evaluados, así como la integración de metodologías avanzadas de simulación para analizar el desempeño térmico y ambiental bajo diversas condiciones climáticas. Adicionalmente, la exploración de nuevos materiales alternativos, con menor impacto ambiental y alto desempeño térmico, podría expandir las opciones disponibles para la construcción sostenible en el futuro [3], [11].

Los resultados presentados en esta investigación sientan las bases para el desarrollo de políticas de diseño sostenible en entornos de vivienda social, y posicionan al modelado BIM como una herramienta estratégica en la transición hacia una arquitectura climáticamente responsable.

Fuente de financiamiento

Esta investigación es el resultado del proyecto "Análisis Comparativo del Índice de Circularidad de Prototipos de Viviendas Sociales en Ecuador", identificado con el código FCI-007-2023, aprobado en la Convocatoria de Proyectos de Investigación 2023 y respaldado por la Universidad de Guayaquil según la Resolución No. R-CSU-UG-SE34-313-14-09-2023. Cabe destacar que este estudio no ha requerido financiamiento directo, ya que se han empleado herramientas digitales, licencias educativas de software especializado y acceso a bases de datos científicas para la recopilación, modelado y análisis de información.

Contribución de los Autores

Conceptualización, R.A.V.R.; metodología, R.A.V.R., G.R.M.C. y M.I.R.J.; software, R.A.V.R. (simulaciones en Revit Insight), G.R.M.C. (modelado BIM en Revit 2025); validación, R.A.V.R. y G.R.M.C.; análisis formal, R.A.V.R.; investigación, M.I.R.J. (recolección de bibliografía en bases de datos científicas con acceso institucional); recursos, Universidad de Guayaquil (licencias educativas de software y acceso a bases de datos científicas); curación de datos, R.A.V.R.; redacción—preparación del borrador original, R.A.V.R.; redacción—revisión y edición, R.A.V.R., G.R.M.C. y M.I.R.J.; visualización, R.A.V.R. (estructuración de datos y generación de gráficos); supervisión, R.A.V.R.; administración del proyecto, R.A.V.R. Todos los autores han leído y aprobado la versión publicada del manuscrito.

Conflicto de Interés

Los autores no reportan conflictos de interés relacionados con esta investigación.

Declaración sobre el uso de Inteligencia Artificial Generativa

En la preparación de este artículo, se utilizó ChatGPT-4 (versión GPT-4 Turbo, plan de suscripción Plus) y herramientas especializadas de GPT para Excel para la optimización de redacción técnica, corrección gramatical y estructuración del contenido, así como para la generación y análisis de tablas de datos. Estas herramientas facilitaron la organización de información cuantitativa y cualitativa, mejorando la precisión en la presentación de resultados. No obstante, todas las interpretaciones, análisis y validaciones fueron realizadas y aprobadas por los autores, asegurando la coherencia científica y la alineación con los objetivos de la investigación.

Referencias

- [1] A. Lyons, *Modern Methods of Construction and Innovative Materials*. New York: Routledge, 2024. doi: <https://doi.org/10.1201/9781003360469>.
- [2] N. S. Pardo, G. L. Penagos, y H. Acevedo, "Impactos Ambientales Asociados a la Huella de Carbono y la Energía Incorporada del Ciclo de Vida de una Edificación en Medellín," *Inf. Constr.*, vol. 74, no. 565, p. e436, mar. 2022, doi: <https://doi.org/10.3989/ic.82758>.
- [3] A. Alsehaimi *et al.*, "Building a Sustainable Future: BIM's Role in Construction, Logistics, and Supply Chain Management," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 15, no. 12, p. 103103, dic. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.103103>.
- [4] K. S. Satyanarayanan, H.-J. Seo, y N. Gopalakrishnan, *Sustainable Construction Materials: Select Proceedings of ACMM 2021*. Springer: Singapore, 2022. doi: <https://doi.org/10.1007/978-981-16-6403-8>.
- [5] G. Manzaba-Carvajal, R. Valencia-Robles, M. Romero-Jara, y C. Cuenca-Márquez, "Modelado BIM en el Diseño Residencial: Estrategias Paramétricas de Arquitectura Digital," in *Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura JIDA'24*, Universitat Politècnica de Catalunya, nov. 2024. doi: <https://doi.org/10.5821/jida.2024.13318>.
- [6] C. B. C. S. Alvarenga, O. M. Heiderick, T. A. Couto, P. R. Cetlin, R. B. C. Sales, y M. T. P. Aguilar, "Influence of Soda-Lime Waste Glass Microparticles on Workability and Thermal Properties of

- Portland Cement Compounds," *Mater. Constr.*, vol. 69, no. 335, p. e192, sep. 2019, doi: <https://doi.org/10.3989/mc.2019.05818>.
- [7] E. Fraile-García, J. Ferreira-Cabello, and F. J. Martínez de Pison, y "Effects of Design and Construction on the Carbon Footprint of Reinforced Concrete Columns in Residential Buildings," *Mater. Constr.*, vol. 69, no. 335, p. e193, sep. 2019, doi: <https://doi.org/10.3989/mc.2019.09918>.
- [8] J. Sánchez-Molina, F. A. Corpas-Iglesias, y J. P. Rojas-Suárez, "Cenizas Volantes de Termoeléctrica Como Materia Prima para la Fabricación de Materiales Cerámicos de Construcción: Efecto de la Temperatura de Cocción sobre el Material," *Inf. Tecnol.*, vol. 30, no. 1, pp. 285–298, feb. 2019, doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000100285>.
- [9] J. Bredenoord, "Bamboo as a Sustainable Building Material for Innovative, Low-Cost Housing Construction," *Sustainability*, vol. 16, no. 6, p. 2347, mar. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/su16062347>.
- [10] G. F. Huseien y K. W. Shah, *Sustainable Nanomaterials for the Construction Industry*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2023. doi: <https://doi.org/10.1201/9781003281504>.
- [11] N. H. Dinh, H. H. Pham, S.-H. Kim, y K.-K. Choi, "Tensile Performance and Cracking Characteristics of Sustainable Textile-Reinforced Cementitious Composites Utilizing Expanded Glass Aggregate and Fly Ash Replacement," *Constr. Build. Mater.*, vol. 425, p. 136084, abr. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136084>.
- [12] Y. Li *et al.*, "Assessing Carbon Emissions of Facility Agriculture Involving Photovoltaic Greenhouses – Insights from Table Grapes Cultivation," *Carbon Neutr.*, vol. 4, no. 1 p. 4, ene. 2025, doi: <https://doi.org/10.1007/s43979-025-00118-x>.
- [13] N. Chang *et al.*, "Mechanical Strength, Hydration Products, and Microstructure of Waste-Derived Composite-Activated Cementitious Materials by Varying Titanium Gypsum Phase Composition," *Constr. Build. Mater.*, vol. 456, p. 139328, dic. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.139328>.
- [14] K. Wang, S. Guo, H. Yuan, J. Ren, P. Chen, y Q. Zhang, "Influence of Cement Particle Size, Ultra-Fine Fly Ash, and Ultra-Fine Silica Fume on the Physical and Microscopic Properties of Slurry," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 22, p. e04337, jul. 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04337>.
- [15] A. C. de Jesus Tainara y M. F. F. M. Barreto, "Análise Comparativa dos Sistemas Construtivos em Alvenaria Convencional, Alvenaria Estrutural e Moldes Isolantes para Concreto (Icf)," *E&S Eng. Sci.*, vol. 7, no. 3, pp. 12–15, sep. 2018, doi: <https://doi.org/10.18607/ES201876926>.
- [16] Y. Xu, T. Xu, G. Li, y T. Xie, "Modeling Smeared Fiber-Matrix Pullout Strength of Steel Fiber-Reinforced Concrete with Various Types of Steel Fiber and Its Tensile and Compressive Strength," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 22, p. e04242, jul. 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04242>.
- [17] M. Abu-Bakr, H. F. Mahmood, A. A. Mohammed, y S. A. Ahmed, "Evaluation of Mechanical Properties and Shear-Bond Strength of Mortar Containing Natural Extract," *Constr. Build. Mater.*, vol. 418, p. 135377, mar. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135377>.
- [18] K. Kalinowska-Wichrowska, C. Piña Ramírez, y A. Vidales Barriguete, and, "La segunda vida de los residuos de construcción. Propuesta para reutilizar como agregado árido reciclado y residuos de material aislante," *An. Edif.*, vol. 5, no. 2, pp. 1–8, ago. 2019, doi: <https://doi.org/10.20868/ade.2019.4039>.
- [19] R. Pöttgen, T. Jüstel, y C. A. Strassert, Eds., *Applied Inorganic Chemistry, Volume 1: From Construction Materials to Technical Gases*. Berlin: Walter de Gruyter GmbH, 2023. doi: <https://doi.org/10.1515/9783110733143>.
- [20] A. Shahrokhi, M. Adelikhah, S. Chalupnik, E. Kocsis, E. Toth-Bodrogi, y T. Kovács, "Radioactivity of Building Materials in Mahallat, Iran – An Area Exposed to a High Level of Natural Background Radiation – Attenuation of External Radiation Doses," *Mater. Constr.*, vol. 70, no. 340, p. e233, nov. 2020, doi: <https://doi.org/10.3989/mc.2020.03820>.