

# Biomass Modeling to Optimize Energy Performance in Sustainable Multifamily Buildings

Carlos Magno Chavarry Vallejos, Doctor<sup>1</sup>; Joaquín Samuel Támara Rodríguez, Doctor<sup>2</sup>; Liliana Janet Chavarría Reyes, Doctor(c)<sup>3</sup>; Enriqueta Pereyra Salardi, Doctor(c)<sup>4</sup>; Jackeline Carol Escobar Serrano, Magister<sup>5</sup>; Leydy Nataly Zamora Terrones, Magister<sup>6</sup>; Kelly Raquel Pazos Sedano, Magister<sup>7</sup>

<sup>1,3,4,5</sup> Universidad Ricardo Palma, Perú, carlos.chavarry@urp.edu.pe; liliana.chavarría@urp.edu.pe; enriqueta.pereyra@urp.edu.pe; jackeline.escobar@urp.edu.pe;

<sup>2,6,7</sup> Universidad Santiago Antúnez de Mayolo, Perú, jtamarar@unasam.edu.pe; lizamorat@unasam.edu.pe; kpazoss@unasam.edu.pe

**Abstract** - The objective of this research is to optimize energy performance by establishing different energy alternatives, compare the efficiency of each of them, define a model that optimizes their energy performance, create much cheaper simulations and guarantee a sustainable design in terms of energy from the approach of biomass modeling in projects of the Mivivienda Fund Program of Metropolitan Lima. The real estate projects were studied under the control of the triangle of effectiveness, productivity and profitability derived from the costs, time and quality associated with decarbonization technologies. Different energy alternatives were analyzed during the initiation phase, finding models that optimize their energy performance taking into account a sustainable design in terms of energy during the early design stage. The research method is deductive, quantitative, applied and descriptive, correlational and explanatory. The design is non-experimental, cross-sectional, prospective and descriptive. The technique used is the personal interview, aimed at managers, construction engineers and/or other professionals in charge of the design and technical part of the project. The data collection instrument is a semi-structured questionnaire, consisting of closed questions, with polytomic values. Based on studies carried out, this research determined that the reduction of CO<sub>2</sub> emissions at the international level is 6.72% and energy 7.20%. At the national level, the reduction of CO<sub>2</sub> emissions by 2.69% and energy emissions by 3.10%.

**Keywords:** Decarbonization technologies, energy efficiency, CO<sub>2</sub> emissions, biomass modeling, Multifamily buildings.

**Resumen** - La presente investigación tiene como objetivo optimizar el rendimiento energético estableciendo diferentes alternativas energéticas, comparar la eficiencia de cada una de ellas, definir un modelo que optimice su rendimiento energético, crear simulaciones mucho más económicas y garantizar un diseño sustentable en términos de energía desde el enfoque de la modelación de la biomasa en proyectos del Programa Fondo Mivivienda de Lima Metropolitana. Los proyectos inmobiliarios fueron estudiados bajo el control del triángulo de efectividad,

productividad y rentabilidad derivado de los costos, el tiempo y la calidad asociados a las tecnologías de descarbonización. Se analizaron diferentes alternativas energéticas durante la fase de iniciación encontrando modelos que optimice su rendimiento energético tomando en cuenta un diseño sustentable en términos de energía durante la etapa temprana del diseño. El método de la investigación es deductivo, enfoque cuantitativo, orientación aplicada y de tipo descriptivo, correlacional y explicativo. El diseño es no experimental, transversal, prospectivo y de nivel descriptivo. La técnica empleada es la entrevista personal, dirigido a gerentes, ingenieros de obra y/o otro profesional encargado del diseño y de la parte técnica del proyecto. El instrumento de recolección de datos es un cuestionario semiestructurado, constituida de preguntas cerradas, con valores politómicos. En base a estudios realizados la presente investigación determinó que la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel internacional es de 6.72% y de energía 7.20%. A nivel nacional la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> es de 2.69% y de energía 3.10%.

**Palabras claves:** Tecnologías de descarbonización, rendimiento energético, emisiones de CO<sub>2</sub>, modelación de la biomasa, Edificaciones Multifamiliares.

## I. INTRODUCCIÓN

El presente estudio consiste en un modelo que genere conciencia de futuras edificaciones adecuadas bajo conceptos de sostenibilidad. Las acciones promovidas con el fin de contar con un medio ambiente saludable evitando generar cambios en los patrones climáticos en el mundo que producen enfermedades respiratorias por el incremento de mayores partículas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Es fundamental limitar el incremento de la temperatura de la atmósfera mediante la reducción de los niveles de emisión de los gases

efecto invernadero, que se generan en el planeta como es el CO<sub>2</sub>.

Desde el enfoque de la modelación de la biomasa la edificación establece diferentes alternativas energéticas, comparar la eficiencia de cada una de ellas, encontrar un modelo que optimice su rendimiento energético creando simulaciones mucho más económicas que garanticen un diseño sustentable en términos de energía. Reducir los diferentes puntos de la cadena de suministro hasta en un 40% con tecnologías modernas que reduzcan hasta un 80% al año 2030 y del 93% al año 2045 [1].

Las modelaciones en los edificios antes de ser construidos o renovados, conlleva a encontrar un modelo del edificio que optimice su rendimiento energético que llevar a cabo los cambios una vez construido el edificio. Los formuladores de políticas deberían fortalecer aún más la mejora de la eficiencia tecnológica para ayudar a mejorar el rendimiento energético, mientras se diseñan cuidadosamente políticas prospectivas de carbono para facilitar una mitigación rápida y temprana. Desde la fase de diseño se debe tener en cuenta soluciones de eficiencia energética logrando ahorros económicos y energéticos. Los impactos obtenidos por la eficiencia energética contribuyen al ahorro de energía y reducción de emisión de gases de efecto invernadero generando ahorros energéticos en espacios de calefacción y refrigeración [2].

Los sistemas combinados de refrigeración, calefacción y energía se consideran uno de los sistemas energéticos más eficientes, ya que tienen un impacto ambiental menos perjudicial y un ahorro de energía sostenible con menos emisiones de CO<sub>2</sub>. Las simulaciones dinámicas muestran [3]:

- Alrededor del 8,86% de la energía térmica se pierde en pérdidas de transmisión (por ejemplo, tanques de almacenamiento y tuberías);
- Solo el 2,76% del total de la energía eléctrica producida es consumida por los componentes del sistema.
- La electricidad producida por las centrales eléctricas convencionales añadiría unas 585,9 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente/año y las producidas en caldera añadiría 46,24 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente/año al medio ambiente.

La elección y el tamaño de los sistemas energéticos proponen estrategias como la combinación de bombas de calor, almacenamiento térmico de agua caliente y energía solar fotovoltaica que pone de relieve los sistemas de calefacción energéticamente eficientes [4]. Integrar sistemas energéticos cuyo objetivo es eliminar gradualmente los combustibles fósiles y depender de fuentes de energía renovables locales, aplicando el concepto de centro de energía que puede utilizarse para optimizar el consumo durante el mantenimiento y operación de los proyectos. Evaluar el potencial

renovable local centralizadas y descentralizadas con la utilización de energía fotovoltaica o pequeñas centrales hidroeléctricas en función de su desempeño ambiental y ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> [5].

Los edificios más antiguos tienen un bajo rendimiento energético, para los que deben aplicarse medidas con la finalidad de reducir la demanda de energía y garantizar un suministro de bajas emisiones. En el contexto urbano, las redes de calefacción son una forma prometedora de hacer esto último, especialmente con la captura y almacenamiento de carbono en el horizonte. Una combinación de bombas de calor, almacenamiento térmico de agua caliente y energía solar fotovoltaica no solo es la opción de calefacción descentralizada óptima en cuanto a CO<sub>2</sub>, sino también la más rentable. Esto pone de manifiesto el atractivo de los sistemas de calefacción energéticamente eficientes que ya existen hoy en día [6].

Las tecnologías de descarbonización en el diseño y construcción de edificios sustentables y certificadas por instituciones internacionales tienen que ser desarrolladas mediante un plan para lograr procesos eficientes orientados a evitar el aumento de las emisiones de gases y crear edificios resistentes a los impactos del cambio climático, con materiales de construcción y técnicas de diseño sostenibles, enfocados a proteger el medio ambiente y la salud de los usuarios. Fabricar materiales geopoliméricos verdes en construcción innovadoras que incidan en la reducción de gases de efecto invernadero para promover un proceso de diseño arquitectónico con diferentes soluciones tecnológicas con una modelación energética virtual simulando el comportamiento del edificio en diferentes condiciones climáticas estimando una relación entre la eficiencia y la gestión de costos [7].

El potencial de reducción en el escenario de emisiones casi nulas proviene principalmente del sector residencial urbano, y para lograr una descarbonización profunda para 2050, es importante lograr una reducción significativa del consumo de energía per cápita en los hogares urbanos como rurales. El análisis de beneficios colaterales sugiere que los contaminantes del aire también pueden reducirse significativamente mediante políticas profundas de descarbonización [8].

La efectividad del Biochar (BC) en el secuestro de carbono sobre las características mecánicas, microestructurales y de durabilidad del mortero de cemento compuesto con la adición de dosis más altas de BC, el estudio determinó:

- Entre el 5% y el 8% en peso, da como resultado una reducción más significativa de la fluidez. La adición de 1% a 2% en peso de BC condujo a un aumento en la resistencia a la compresión en edades tempranas y disminuye cuando aumenta más allá del 2% en peso.

- La adición de 300 °C BC y 500 °C BC al 1% condujo a un aumento considerable en la resistencia a la tracción.
- Las mezclas con 1% de BC 300 y BC 500 tuvieron una reducción en la profundidad de penetración del agua, en un 68% y 60%, respectivamente.
- La adición de BC a razón del 1% en peso al cemento logró el equilibrio ideal entre mejores características mecánicas y una mayor eficacia en el secuestro de carbono.

Con la aplicación de la modelación de la biomasa se puede determinar las condiciones y efectos que estarían expuesto los materiales de la edificación, es por ello el estudio propone al BC como adición para el desarrollo de materiales de construcción sostenibles y respetuosos del medio ambiente que ayuden a mitigar los efectos adversos que las crecientes emisiones de CO<sub>2</sub> [9]. Los biocombustibles a partir de biomasa lignocelulósica convertida mediante tecnologías termoquímicas pueden ser renovables y sostenibles, lo que los hace prometedores como alternativas a los combustibles fósiles convencionales basados en inteligencia artificial que ofrecen una precisión destacada en comparación con los modelos de equilibrio termodinámico implementados en algunos modelos [10].

El sector construcción muestra reducciones similares en la intensidad de carbono con diferentes palancas de reducción de emisiones desde una perspectiva sectorial, en modelos de sistemas sobre la difusión de la electrificación en los edificios, aunque pueden ser demasiado conservadores con respecto a el impacto de las energías renovables (principalmente biomasa) y la calefacción urbana como el uso de bombas de calor limitado en edificios no renovados, los modelos de todo el sistema pueden sobreestimar el potencial de la electrificación para la descarbonización, si los modelos no incluyen stock antiguo por tipo de edificio [11]

## II. MATERIALES Y MÉTODO

Como consecuencia del aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> que generan un fuerte impacto en el planeta tierra a través del efecto invernadero, el director de proyectos tiene que analizar las especificaciones técnicas del proyecto con la finalidad de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Utilizar desde un enfoque de modelado de información (BIM) para la toma de decisiones ambientalmente sostenibles e inducir a la reducción del desperdicio de energía. La aplicación del BIM en *green* en edificios utilizan para los análisis índices promedio para validarlo mediante criterios energéticos a través de BIM 3D [12]. Para reducir el carbono incorporado y operativo durante el ciclo de vida de los proyectos se debe considerar la implementación adicional de tecnologías limpias y bajas en carbono [13].

El método utilizado en la investigación es el deductivo, debido que mediante las alternativas de solución se presentan escenarios de menor y/o mayor consumo de energía identificando las causas de generación de emisiones como la ubicación del proyecto con respecto al dimensionamiento de los ambientes, iluminación y circulación del aire. Es de orientación aplicada, porque se pretende establecer los criterios de diseño y construcción empleando tecnologías de descarbonización, también es de enfoque es cuantitativo porque se presentan los porcentajes de reducción de energía y de emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel nacional e internacional por medio de publicaciones realizadas sobre el tema y de acuerdo con la fuente de recolección de datos es prolectiva, debido a que la información se recogerá de acuerdo con los objetivos establecidos del estudio.

La investigación es de tipo descriptivo, porque se establecen las principales causas de éxito y/o fracaso de los diseños y procedimientos constructivos, también es de tipo correlacional y explicativa, dado que, reconoce la relación entre las tecnologías de descarbonización y las emisiones de CO<sub>2</sub>, brindando el conocimiento necesario para el mejoramiento de los procedimientos e identificación de los factores que producen los gases de efecto invernadero, de tal manera que se establezcan una cultura de descarbonización con las prácticas utilizadas en la organización [14]

El nivel de la investigación es descriptivo, porque se establecen las causas que originan las emisiones de CO<sub>2</sub>. Es de enfoque cuantitativo dado que se determinan frecuencias, promedios e intervalos de confianza que sirven como referencia para definir los lineamientos de gestión para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. De acuerdo con la técnica de contrastación es no experimental, dado a que se estudiaron las mejores condiciones de distribución, materiales utilizados, ventilación e iluminación de tal manera de generar menos consumo de energía. De acuerdo con la direccionalidad la investigación es transversal y prospectiva, porque se recolectaron los datos en un momento determinado mediante encuestas a profesionales que participaron en el desarrollo del proyecto inmobiliario. El diseño de estudio es de cohorte porque el fenómeno estudiado tiene causa en el presente (diseños de los proyectos) y efecto en el futuro (consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub>).

## III. RESULTADOS

La población son las edificaciones multifamiliares construidas en la ciudad de Lima Metropolitana entre los años 2021 y 2022, registradas en *el Programa Fondo Mivivienda* y mediante un muestreo intencionado con criterios de inclusión y exclusión se determinó el tamaño de muestra. La unidad de análisis son los profesionales con conocimientos de las especificaciones técnicas del proyecto y la unidad de observación son los proyectos inmobiliarios. En los criterios de inclusión, se consideró el personal que

utilizó la empresa constructora para planificar y gestionar la Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente (SSOMA). Para el cálculo de la muestra se estableció un 95% de confiabilidad y 5% de error muestral, resultando un tamaño de muestra de 148 proyectos inmobiliarios. La técnica empleada para la obtención de la información fue un muestreo aleatorio sistemático (MAS).

El estudio determinó que las construcciones de edificios multifamiliares como se muestra en la tabla 1, tienen en promedio 10 pisos, siendo las más frecuentes las construcciones de 5 pisos, además cuentan con 50 departamentos en promedio por proyecto. El área construida varía entre 35 m<sup>2</sup> a 140 m<sup>2</sup>, con un área promedio de 75 m<sup>2</sup> y un costo promedio de 1,315 U.S. dólar por m<sup>2</sup>.

**Tabla 1**  
Estadísticas de los proyectos de edificios del Programa Fondo Mivivienda de Lima metropolitana

Estadísticos	Nro. Pisos	Nro. Dptos.	Área m <sup>2</sup>	Dólar \$
Recuento	148	148	148	148
Media	10	50	75	1315
Mediana	8	40	77	1210
Moda	5	22	75	1150
Mínimo	3h	3	35	650
Máximo	20	210	140	2200
Rango	17	217	105	1550

La validez del instrumento se realizó por juicio de expertos, donde el cuestionario obtuvo un valor de 94.25% (Ver tabla 2), donde se deduce criterios de calidad que reúne el instrumento de medición.

**Tabla 2**  
Nivel de validez de los cuestionarios, según el juicio de expertos.

Expertos	Tecnologías de descarbonización %
Andrés Valencia Gutiérrez Doctor, Ingeniero civil	94.65
Chavarría Reyes Liliana Maestra, Ingeniero Civil, Xavier Laos Laura	96.45
Dr, MBA, Ingeniero Civil	93.72
Joaquín Samuel Támara Rodríguez Dr, Maestro, Ingeniero Civil	93.00
Wilder Rodríguez Maestro, Ingeniero Civil	93.44
<b>Promedio</b>	94,25

La consistencia interna y solidez de los resultados se obtuvo mediante el procesamiento de datos en el programa estadístico SPSS versión 22 (Ver tabla 3), alcanzando el instrumento de medición un calificativo de excelente debido que el coeficiente alfa de Cronbach fue 0.936 basada en elementos estandarizados [15]. La correlacion promedio fue de 0.862, siendo una correlación positiva muy fuerte.

**Tabla 3**  
Estadística del elemento – Alfa de Cronbach

Descripción	Alfa de Cronbach
La empresa establece diferentes alternativas energéticas durante la fase de iniciación del proyecto.	0.945
La empresa programa alternativas energéticas durante la fase de planificación del proyecto.	0.960
La empresa cuenta con un prototipo de modelo del edificio que optimice su rendimiento energético.	0.970
La empresa tiene conocimiento de modelos del edificio que optimice su rendimiento energético.	0.922
La empresa crea simulaciones mucho más económicas en un enfoque de eficiencia energética en sus edificaciones.	0.935
La empresa tiene como política crear simulaciones desde un enfoque de la biomasa para establecer la eficiencia energética en sus edificaciones.	0.923
La empresa garantiza un diseño sustentable en términos de energía en sus edificaciones.	0.935
La empresa tiene como principio utilizar materiales de la zona del proyecto con un enfoque de eficiencia energética.	0.915
La empresa utiliza herramientas que facilitan el análisis energético de manera preliminar durante la etapa temprana del diseño de una edificación.	0.925
La empresa cuenta con una herramienta como la metodología BIM durante el análisis energético durante la etapa de diseño.	0.928

Las estadísticas obtenidas en la investigación mostrado en la tabla 4, determinaron que el 5.41%, la empresa encuentra un modelo del edificio que optimice su rendimiento energético, el 4.73% la empresa establece diferentes alternativas energéticas durante la fase de iniciación del proyecto y el 2.76% garantizan un diseño sustentable en términos de energía en sus edificaciones. La Tecnología de descarbonización desde el enfoque de la modelación de la biomasa de la edificación en un promedio del 25.00% son aceptables

para este fin en los proyectos del *Programa Fondo Mivivienda* en Lima Metropolitana.

**Tabla 4**

Estadística de la tecnología de descarbonización desde el enfoque de la modelación de la biomasa de las edificaciones del *Programa Fondo Mivivienda*

Descripción		Porcentaje acumulado
La empresa establece diferentes alternativas energéticas durante la fase de iniciación del proyecto	Muy frecuent.	4.73
	Frecuentemente	25.68
	Ocasionalmente	58.78
	Raramente	82.43
La empresa programa alternativas energéticas durante la fase de planificación del proyecto.	Nunca	100.00
	Muy frecuent.	5.55
	Frecuentemente	21.55
	Ocasionalmente	53.44
La empresa encuentra un modelo del edificio que optimice su rendimiento energético	Raramente	83.56
	Nunca	100.00
	Muy frecuent.	5.41
	Frecuentemente	25.68
La empresa tiene conocimiento de modelos del edificio que optimice su rendimiento energético.	Ocasionalmente	64.19
	Raramente	85.14
	Nunca	100.00
	Muy frecuent.	5.49
La empresa crea simulaciones mucho más económicas en un enfoque de eficiencia energética en sus edificaciones	Frecuentemente	23.65
	Ocasionalmente	68.19
	Raramente	91.33
	Nunca	100.00
La empresa tiene como política crear simulaciones desde un enfoque de la biomasa para establecer la eficiencia energética en sus edificaciones.	Muy frecuent.	3.38
	Frecuentemente	24.32
	Ocasionalmente	51.35
	Raramente	76.35
La empresa garantiza un diseño sustentable en términos de energía en sus edificaciones	Nunca	100.00
	Muy frecuent.	3.66
	Frecuentemente	21.55
	Ocasionalmente	56.32
La empresa tiene como principio utilizar materiales de la zona del proyecto con un enfoque de eficiencia energética.	Raramente	83.44
	Nunca	100.00
	Muy frecuent.	2.70
	Frecuentemente	26.35
La empresa utiliza herramientas que facilitan el análisis energético de manera preliminar durante la etapa temprana del diseño de una edificación	Ocasionalmente	62.16
	Raramente	81.76
	Nunca	100.00
	Muy frecuent.	3.13
La empresa cuenta con una herramienta como la metodología BIM durante el análisis energético durante la etapa de diseño.	Frecuentemente	24.55
	Ocasionalmente	69.32
	Raramente	84.76
	Nunca	100.00
La empresa garantiza un diseño sustentable en términos de energía en sus edificaciones	Muy frecuent.	3.38
	Frecuentemente	23.65
	Ocasionalmente	58.11
	Raramente	81.08
La empresa tiene como principio utilizar materiales de la zona del proyecto con un enfoque de eficiencia energética.	Nunca	100.00
	Muy frecuent.	3.87
	Frecuentemente	21.22
	Ocasionalmente	54.65
La empresa utiliza herramientas que facilitan el análisis energético de manera preliminar durante la etapa temprana del diseño de una edificación	Raramente	86.49
	Nunca	100.00
	Muy frecuent.	3.87
	Frecuentemente	21.22
La empresa cuenta con una herramienta como la metodología BIM durante el análisis energético durante la etapa de diseño.	Ocasionalmente	54.65
	Raramente	86.49
	Nunca	100.00
	Muy frecuent.	3.87

La prueba de normalidad para un  $n \leq 50$  se utilizó Shapiro-Wilk (tabla 5), que indica que el estudio proviene de una población que no sigue una distribución normal, por lo tanto para contrastación de

las hipótesis se utilizaron pruebas no paramétricas debido a que los resultados el valor sig. =  $p \leq 0.05$ .

**Tabla 5**

Pruebas de normalidad

Descripción	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
La empresa establece diferentes alternativas energéticas durante la fase de iniciación del proyecto.	,908	148	,000
La empresa programa alternativas energéticas durante la fase de planificación del proyecto.		148	,000
La empresa cuenta con un prototipo de modelo del edificio que optimice su rendimiento energético.	,906	148	,000
La empresa tiene conocimiento de modelos del edificio que optimice su rendimiento energético.		148	,000
La empresa crea simulaciones mucho más económicas en un enfoque de eficiencia energética en sus edificaciones.	,894	148	,000
La empresa tiene como política crear simulaciones desde un enfoque de la biomasa para establecer la eficiencia energética en sus edificaciones.	,901	148	,000
La empresa garantiza un diseño sustentable en términos de energía en sus edificaciones.	,893	148	,000
La empresa tiene como principio utilizar materiales de la zona del proyecto con un enfoque de eficiencia energética.	,875	148	,000
La empresa utiliza herramientas que facilitan el análisis energético de manera preliminar durante la etapa temprana del diseño de una edificación.	,902	148	,000
La empresa cuenta con una herramienta como la metodología BIM durante el análisis energético durante la etapa de diseño.	,900	148	,000

Se estableció que el 5.00% utilizan muy frecuentemente tecnologías de descarbonización para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, por consiguiente, en un 95.00% de los proyectos se puede implementar mejoras para inducir a la reducción de los costos en la construcción de edificios.

Se analizó el impacto correspondiente sobre los objetivos del proyecto como la inducción a la reducción de las emisiones del CO<sub>2</sub>, para lo cual se estudió las restricciones del proyecto en cuanto al diseño. Estas evaluaciones reflejaron la actitud frente a los riesgos, tanto del equipo del proyecto como de otros interesados. Para el análisis de los datos cualitativos se optó por establecer una mejora en aquellos procesos de igual o menor al 60.00% de los procedimientos que utilizan las tecnologías de descarbonización. En la fig. 1 muestra los procesos que no han alcanzado el porcentaje esperado por el estudio, en donde se presentarán las recomendaciones de mejora.

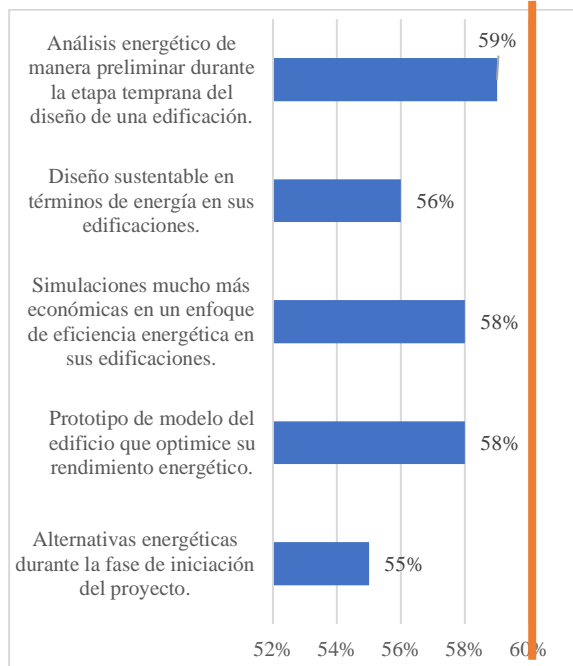


Fig. 1  
Análisis cualitativo – Histograma de frecuencias (porcentaje)

Las mejoras propuestas consiguieron un ahorro energético respecto a la situación actual. En resumen, se representan gráficamente los diferentes escenarios analizados en la simulación energética aplicada (Ver fig. 2). En este apartado se muestra el gráfico de las diferentes alternativas de mejora estudiadas en la simulación energética, donde se puede apreciar el ahorro del 46.68% ( $1 - (138.17/259.11) \times 100$ ) de mejora global respecto a la situación inicial.

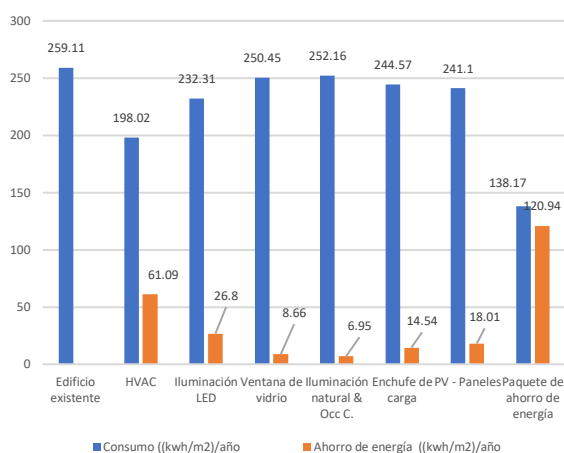


Fig. 2  
Gráfico con los diferentes escenarios analizados para el edificio

Los procesos que optimizan el plan de mejora:

- Generar y consumir energía enfocado en edificaciones sostenibles teniendo como indicadores parámetros como la ocupación prevista, horarios de funcionamiento, cargas internas, termostatos o niveles de iluminación. Obtener

energía y transformarla, en energía eléctrica como el viento, el agua o el sol, entre otras.

- Ubicar adecuadamente la edificación creando un archivo de clima al modelo con información de la temperatura, la humedad, el viento y la radiación solar, estos datos da en valores medios y también en días extremos que sirven para dimensionar los equipos de aire acondicionado y calefacción.
- Utilizar combustibles fósiles por tecnologías que provienen solamente de fuentes renovables, como sensores de calidad del aire. Usar ventilación de recuperación de energía, después de gastar toda la energía para calentar o enfriar un edificio. Electrificar alejará a los edificios de los combustibles fósiles sucios, logrando que la red sea más limpia mediante la expansión de las energías renovables, como la eólica y la solar.
- Introducir las características de la envolvente determinada por la geometría de la edificación ya que es la capa del edificio en contacto con el exterior y que define el comportamiento térmico. Definir los parámetros térmicos de la envolvente, cómo los aislamientos, los puentes térmicos, cubiertas, fachadas, medianeras, vidrios, forjados en contacto con espacios no acondicionados, entre otros.

Recomendaciones para la propuesta de mejora desde el Enfoque de la modelación de la biomasa: Obtener energía y transformarla, en energía eléctrica como el viento, el agua o el sol, entre otras. Crear un archivo de clima al modelo con información de la temperatura, la humedad, el viento y la radiación solar, estos datos da en valores medios y también en días extremos que sirven para dimensionar los equipos de aire acondicionado y calefacción.

El espacio de solución técnica para futuros sistemas de energía dentro de una demanda sostenible de biomasa hacia sistemas energéticos y materiales no fósiles, la biomasa es una fuente atractiva de carbono para aquellas demandas que también en los sistemas no fósiles dependen de combustibles y materias primas de alta densidad que contengan carbono que, según un consenso internacional de expertos, es de alrededor de 10 a 30 GJ/persona/año en 2050. Seguir una estrategia de bioenergía de energía renovable sin electrificación ni hidrógeno conducirá a una demanda de biomasa de más de 200 GJ/persona/año a alrededor de 120 GJ/persona/año en sistemas energéticos mal integrados y con baja eficiencia energética, respectivamente. La electrificación del sector calefacción permite una demanda de biomasa por debajo de este punto, desde un grado muy bajo de electrificación que lleva a una demanda de biomasa de alrededor de 110 GJ/persona/año hasta un grado muy alto de electrificación que lleva a alrededor de 40 GJ./persona/año [16].

La bioenergía con captura y almacenamiento de carbono se prevé como un elemento crítico de la

mayoría de las vías de descarbonización profunda compatible. Esta transformación requiere un esfuerzo tecnológico, económico, sociocultural y político sin precedentes, junto con una comunicación transparente entre todas las partes interesadas. Los Modelos de Evaluación Integrada sustentan los escenarios de 1,5 °C, 0987 que han desempeñado un papel fundamental en la construcción y evaluación de narrativas de descarbonización profunda [17].

La finalidad es establecer diferentes alternativas energéticas y comparar la eficiencia de cada una de ellas, encontrar un modelo del edificio que optimice su rendimiento energético, crear simulaciones mucho más económicas y garantizar un diseño sustentable en términos de energía. El sistema envolvente proporciona un aumento del 15.00% para el factor de luz natural, el 30.00% para la autonomía de la luz natural y el 15.00% para la iluminación útil de la luz natural, en comparación con la condición de la unidad de apartamento existente [18].

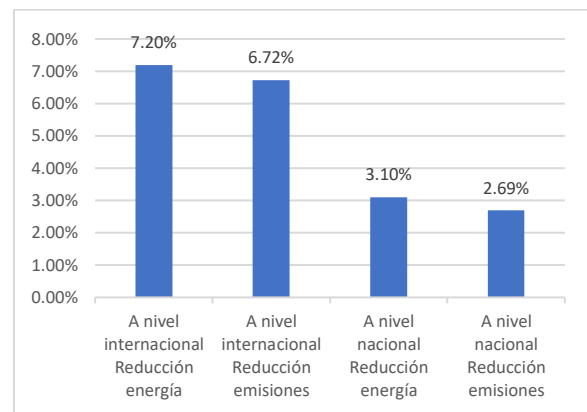
El sistema de climatización, la configuración energética y sus características ocupacionales en donde se realizaron las simulaciones del análisis energético con el complemento de REVIT y INSIGHT, se analizaron las visualizaciones a través de diagramas de rendimiento directamente del modelo virtual a ser incluido en el diseño definitivo [19]. Modelar y analizar el rendimiento de los invernaderos desde una central eléctrica, pasando por el sistema de calefacción hasta la envolvente del invernadero, es utilizado con éxito en el diseño de edificios sostenibles. Para las aplicaciones de calefacción, se estudia un sistema tipo invernadero, una caldera de biomasa de madera y una caldera de gas natural, que funcionan con energía renovable y no renovable [20].

Los materiales de construcción tradicionales con un gran ahorro financiero de fabricación, hasta un 37 % para el 17,5 % con reutilización alternativa de los posos de café, y una mejora energética de hasta aproximadamente un 19 % anual, lo que lleva a un ahorro en la gestión anual del edificio [13]. Los resultados muestran una sostenibilidad energética del 83% y una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> del 86%, sugieren además que hasta el 50% del potencial energético disponible procedente de energías renovables no se puede utilizar si no se proporcionan suficiente almacenamiento en el sistema energético [15]. El indicador energético de un sistema tipo invernadero son 0,28, 0,69 y 0,39, mientras que los valores correspondientes del índice de renovabilidad que considera el aporte de las energías renovables en la matriz energética son 0,02, 0,64 y 0,29 respectivamente [20].

El uso de energías renovables ha prestado especial atención a la modelización de las demandas de calefacción y refrigeración, obtenido con el método de grados-día y validado mediante la elaboración de los resultados del modelado del parque de edificaciones

residenciales. Las tecnologías de energías renovables pueden plantear algunos problemas críticos, como el exceso o la escasez de producción de electricidad y la explotación no sostenible de la biomasa. La calefacción y refrigeración urbanas cubren alrededor del 50% y el 40% de la demanda total de calefacción y refrigeración residencial. Si la biomasa pudiera cubrir entre el 16% y el 19% de la generación eléctrica la sostenibilidad de producción podría evitar impactos ambientales y económicos [21].

Los resultados mostrados permitieron realizar un análisis exhaustivo del impacto de rehabilitación, comparando el estado actual con el estado futuro en términos de balance energético y económico. Eso permite evaluar todas las mejoras de manera que será posible seleccionar alternativas de mayor eficiencia energética, menor impacto ambiental, mayor comodidad para los usuarios y una mejora en la certificación energética del edificio. Porcentaje a nivel nacional e internacional de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y reducción de energía (Ver fig. 3).



**Fig. 3**  
Resumen del porcentaje de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y reducción de energía  
Tomado de (Amoruso et al., 2019) [18]

**Discusión.** - El consumo de energía de los edificios es uno de los contribuyentes más importantes a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en todo el mundo, responsable del 23.00% de las emisiones de CO<sub>2</sub> [22]. El consumo de carbón genera más de 15.000 millones de toneladas de emisiones globales de CO<sub>2</sub> al año, que continuarán incrementándose si es que no tomamos medidas para eliminar la enorme cantidad de CO<sub>2</sub> además propone desarrollar formas factibles de mitigación directa del carbono en lugar de capturarlo de los gases de cola diluidos como estaba previsto en el desarrollo de tecnologías innovadoras [23]. Usar un material de cáñamo, para el aislamiento térmico de las paredes, reduce significativamente el porcentaje de impactos ambientales en todo el ciclo de vida del material. Esto se debe a que la planta ya elimina un porcentaje significativo de CO<sub>2</sub> de la atmósfera cuando está creciendo [24].

Los procesos de fotocatalisis contribuyen a reducir el grado de contaminación del aire con compuestos

peligrosos para la salud humana, como compuestos inorgánicos volátiles o NO<sub>x</sub> o microorganismos. Los materiales de construcción en lo posible deben eliminar los contaminantes a un nivel constante en diversas condiciones ambientales que permitan desarrollar herramientas que determinen la cantidad de emisiones de dióxido de carbono expresadas por indicadores de emisión permiten evaluar las actividades realizadas tanto en términos ecológicos como económicos [25]. Una reducción de la vida útil del edificio también tiene un impacto en el ciclo de vida que se supone que es de 25 años, porque aumenta de 8.78 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>×año a casi 17 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>×año. Un valor más alto de la etapa operativa, pero esto se debe a los materiales de biomasa (utilizados en particular para los dispositivos de sombreado del edificio que absorben CO<sub>2</sub> durante el crecimiento de las plantas y que permanecen almacenados en productos durante el ciclo de vida del edificio [26].

El costo actual neto de descarbonizar los servicios de energía de los edificios residenciales en un 90.00% para 2050, es un aumento bastante moderado en relación con el punto de referencia sin política [27], esto refleja en gran medida las fuertes reducciones de costos recientes y proyectadas para la generación de electricidad renovable. Cuando el precio del carbono aumenta, se logra una reducción insignificante de las emisiones en el sistema de electricidad y el aumento de los precios del carbono conduce a un aumento en el costo nivelado de la electricidad y el calor [28]. La bioenergía son las principales opciones que se han evaluado hasta ahora para la descarbonización profunda de las industrias en energía en los cuatro subsectores clave (cemento, acero, productos químicos y pulpa y papel) que evalúan con mayor detalle y pueden reducir las emisiones de dióxido de carbono en el rango de 70.00% a 90.00% [29].

#### IV. CONCLUSIONES

Las mejoras propuestas consiguieron un ahorro energético respecto a la situación actual en un 25%, mostrando diferentes alternativas de mejora estudiadas en la simulación energética, donde se puede apreciar el ahorro del 46.68% de mejora global respecto a la situación inicial. Los resultados mostrados permitieron realizar un análisis exhaustivo del impacto de la rehabilitación, comparando el estado actual con el estado futuro en términos de balance energético y económico. Eso permitirá evaluar todas las mejoras en su conjunto de manera que será posible seleccionar alternativas de mayor eficiencia energética, menor impacto ambiental y mayor comodidad para los usuarios y una mejora en la certificación energética del edificio.

Los proyectos crean simulaciones mucho más económicas en un enfoque de eficiencia energética en sus edificaciones y utiliza herramientas que facilitan el análisis energético de manera preliminar durante la etapa temprana del diseño. También digitaliza e

impulsa la edificación sostenible alcanzando la neutralidad de las emisiones de carbono y los diseños realizados cambian la forma de generar y consumir energía enfocado en edificaciones sostenibles. Establecen un seguimiento regular del patrón de consumo e identifican funcionamientos anómalos para reducir el consumo de energía mediante sensores inteligentes y crean simulaciones mucho más económicas en un enfoque de eficiencia energética en sus edificaciones.

Las Tecnologías de descarbonización desde el enfoque de la modelación de la biomasa utilizados en el *Programa Fondo Mivivienda* en Lima Metropolitana alcanzó altos índices de consistencia interna excelente con un coeficiente alfa = 0.936 basada en elementos estandarizados. La correlación promedio de 0.862, siendo una correlación positiva muy fuerte entre ellas. Se utilizó Shapiro-Wilk como prueba de normalidad, porque  $n \leq 50$ , obteniendo como resultado un valor de significancia  $p \leq 0.05$ , lo cual indica que proviene de una población que no sigue una distribución normal. El estudio determinó que la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel internacional es de 6.72% y de energía 7.20%. A nivel nacional la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> es de 2.69% y de energía 3.10%.

#### AGRADECIMIENTO

A las Universidades Ricardo Palma (URP) y Santiago Antúñez de Mayolo (UNASAM) lo por los asesores especialistas y metodólogos que participaron en la elaboración del presente artículo.

#### REFERENCIAS

- [1] Karlsson, I., Rootzén, J., Johnsson, F., & Erlandsson, M. (2021). Achieving net-zero carbon emissions in construction supply chains – A multidimensional analysis of residential building systems. *Developments in the Built Environment*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2021.100059>.
- [2] Chen, H., Wang, L., & Chen, W. (2019). Modeling on building sector's carbon mitigation in China to achieve the 1.5 °C climate target. *Energy Efficiency*, 12(2), 483–496. <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9687-8>.
- [3] Di Fraia, S., Shah, M., & Vanoli, L. (2023). A biomass-based polygeneration system for a historical building: A techno-economic and environmental analysis. *Energy Conversion and Management*, 291, 117336. DOI: 10.1016/j.enconman.2023.117336.
- [4] Lerbinger, A., Petkov, I., Mavromatidis, G., & Knoeri, C. (2023). Optimal decarbonization strategies for existing districts considering energy systems and retrofits. *Applied Energy*, 352, 121863. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121863>.
- [5] Orehounig K., Mavromatidis G., Evins R., Dorer V., Carmeliet J. (2014). Towards an Energy Sustainable Community: An Energy System Analysis for a Village in Switzerland *Energy & Buildings*, 84 (2014), págs. 277-286. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.08.012>.
- [6] Lerbinger, A., Petkov, I., Mavromatidis, G., & Knoeri, C. (2023). Optimal decarbonization strategies for existing districts considering energy systems and retrofits. *Applied Energy*, 352, 121863. DOI: 10.1016/j.apenergy.2023.121863.
- [7] Saeli, M., Batra, V. S., Singh, R. K., Tobaldi, D. M., & Labrincha, J. A. (2023). The coffee-house: Upcycling spent coffee grounds for the production of green geopolymeric architectural energy-saving products. *Energy and Buildings*, 286, 112956. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112956>.



- [8] Xing, R., Hanaoka, T., & Masui, T. (2021). Deep decarbonization pathways in the building sector: China's NDC and the Paris agreement. *Environmental Research Letters*, 16(4), 044054. DOI 10.1088/1748-9326/abe008.
- [9] Sobuz, M. H. R., Khan, M. H., Kabbo, M. K. I., Alhamami, A. H., Aditto, F. S., Sajib, M. S., ... & Alam, A. (2024). Assessment of mechanical properties with machine learning modeling and durability, and microstructural characteristics of a biochar-cement mortar composite. *Construction and Building Materials*, 411, 134281. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.134281.
- [10] Sakheta, A., Nayak, R., O'Hara, I., & Ramirez, J. (2023). A review on modelling of thermochemical processing of biomass for biofuels and prospects of artificial intelligence-enhanced approaches. *Bioresource Technology*, 129490. DOI: 10.1016/j.biortech.2023.129490.
- [11] Riemer, M., Wachsmuth, J., Boitier, B., Elia, A., Al-Dabbas, K., Alibaş, Ş., ... & Neuner, F. (2023). How do system-wide net-zero scenarios compare to sector model pathways for the EU? A novel approach based on benchmark indicators and index decomposition analyses. *Energy Strategy Reviews*, 50, 101225. DOI: 10.1016/j.esr.2023.101225.
- [12] Khahro, S. H., Kumar, D., Siddiqui, F. H., Ali, T. H., Raza, M. S., & Khoso, A. R. (2021). Optimizing Energy Use, Cost and Carbon Emission through Building Information Modelling and a Sustainability Approach: A Case-Study of a Hospital Building. *Sustainability*, 13(7), 3675. <https://doi.org/10.3390/su13073675>.
- [13] Brooks, M., Abdellatif, M., & Alkhaddar, R. (2021). Application of life cycle carbon assessment for a sustainable building design: a case study in the UK. *International Journal of Green Energy*, 18(4), 351–362. <https://doi.org/10.1080/15435075.2020.1865360>.
- [14] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación* (Vol. 4, pp. 310-386). México: McGraw-Hill Interamericana.
- [15] George, D., & M. P. (2003). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference*. 11.0 update (4th ed.). Boston: Allyn & Bacon.
- [16] Mortensen, A. W., Mathiesen, B. V., Hansen, A. B., Pedersen, S. L., Grandal, R. D., & Wenzel, H. (2020). The role of electrification and hydrogen in breaking the biomass bottleneck of the renewable energy system—A study on the Danish energy system. *Applied Energy*, 275, 115331. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115331.
- [17] Butnar, I., Li, P. H., Strachan, N., Portugal Pereira, J., Gambhir, A., & Smith, P. (2020). A deep dive into the modelling assumptions for biomass with carbon capture and storage (BECCS): a transparency exercise. *Environmental Research Letters*, 15(8), 084008. DOI: 10.1088/1748-9326/ab5c3e.
- [18] Amoruso, F. M., Dietrich, U., & Schuetze, T. (2019). Integrated BIM-Parametric Workflow-Based Analysis of Daylight Improvement for Sustainable Renovation of an Exemplary Apartment in Seoul, Korea. *Sustainability*, 11(9), 2699. <https://doi.org/10.3390/su11092699>.
- [19] Montiel-Santiago, F. J., Hermoso-Orzáez, M. J., & Terrados-Cepeda, J. (2020). Sustainability and Energy Efficiency: BIM 6D. Study of the BIM Methodology Applied to Hospital Buildings. Value of Interior Lighting and Daylight in Energy Simulation. *Sustainability*, 12(14), 5731.
- [20] Hepbasli, A. (2011). A comparative investigation of various greenhouse heating options using exergy analysis method. *Applied Energy*, 88(12), 4411-4423. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.05.022>.
- [21] Calise, F.; D'Accadia, MD; Barletta, C.; Battaglia, V.; Pfeifer, A.; Duic, N. (2017). Modelado detallado de escenarios de descarbonización profunda con tecnologías de respuesta a la demanda en el sector de calefacción y refrigeración: un estudio de caso para Italia. *Energías* 2017, 10, 1535. <https://doi.org/10.3390/es10101535>.
- [22] Levesque, A., Pietzcker, R. C., & Luderer, G. (2019). Halving energy demand from buildings: The impact of low consumption practices. *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 253–266. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.04.025>.
- [23] Guo, L., Ou, Z., Liu, Y., Ge, Z., Jin, H., Ou, G., ... & Jing, W. (2022). Technological innovations on direct carbon mitigation by ordered energy conversion and full resource utilization. *Carbon Neutrality*, 1(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s43979-022-00009-5>.
- [24] Angrisano, M., Fabbrocino, F., Iodice, P., & Girard, L. F. (2021). The evaluation of historic building energy retrofit projects through the life cycle assessment. *Applied Sciences* (Switzerland), 11(15). <https://doi.org/10.3390/app11157145>.
- [25] Rabajczyk, A., Zielecka, M., Klapsa, W. y Dziechciarz, A. (2021). Recubrimientos y superficies autolimpiantes de materiales de construcción modernos para la eliminación de algunos contaminantes del aire. *Materiales*, 14 (9), 2161. <https://doi.org/10.3390/ma14092161>.
- [26] Giordano, R.; Gallina, F.; Quaglio, B. Analysis and Assessment of the Building Life Cycle. Indicators and Tools for the Early Design Stage. *Sustainability* 2021, 13, 6467. <https://doi.org/10.3390/su13116467>.
- [27] Leibowicz, B. D., Lanham, C. M., Brozynski, M. T., Vázquez-Canteli, J. R., Castejón, N. C., & Nagy, Z. (2018). Optimal decarbonization pathways for urban residential building energy services. *Applied Energy*, 230, 1311–1325. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2018.09.046>.
- [28] Haghi, E., Raahemifar, K., & Fowler, M. (2018). Investigating the effect of renewable energy incentives and hydrogen storage on advantages of stakeholders in a microgrid. *Energy Policy*, 113, 206–222. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2017.10.045>.
- [29] Lechtenböhmer, S., Nilsson, L. J., Åhman, M., & Schneider, C. (2016). Decarbonising the energy intensive basic materials industry through electrification – Implications for future EU electricity demand. *Energy*, 115, 1623–1631. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2016.07.110>.