



## Herramienta de automatización de la taxonomía edificatoria para la evaluación de sostenibilidad ambiental

*Building taxonomy automation tool for environmental sustainability assessment*

DOI: <https://doi.org/10.51378/ilia.vi2.10240>

R. Melara<sup>1</sup> , M. Osorio<sup>1</sup> , D. Peñate<sup>1</sup> , L. Rodríguez<sup>2</sup> , R. Ariza<sup>3</sup> , J. Ramos<sup>4</sup> , L. Martínez<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, UCA, El Salvador

<sup>2</sup>Departamento de Organización del Espacio, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, UCA, El Salvador,

<sup>3</sup>Departamento de Ciencias Energéticas y Fluídicas, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, UCA, El Salvador,

<sup>4</sup>Departamento de Mecánica Estructural, Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, UCA, El Salvador

E-mail: [lrrodriguez@uca.edu.sv](mailto:lrrodriguez@uca.edu.sv)

Fecha de recepción: 8 de septiembre de 2025

Fecha de aprobación: 11 de noviembre de 2025

### Resumen

Esta investigación presenta el desarrollo y resultados de TAXODIM-RMD/V1.0, una herramienta que contiene un conjunto de hojas de cálculo automatizadas, cuyo objetivo es la génesis y el análisis integral de un edificio, esencialmente del predimensionamiento estructural, el comportamiento térmico de la envolvente, el consumo energético y la huella de carbono, en etapa temprana de diseño, para facilitar la evaluación ambiental comparativa de configuraciones edificatorias. La propuesta se basa en un enfoque interdisciplinario entre Arquitectura, Ingeniería Civil e Ingeniería Energética, integrando criterios normativos y de sostenibilidad ambiental. Se definieron dos taxonomías: una estructural, que considera sistemas en concreto, acero y mampostería y otra energética, basada en zonas climáticas ASHRAE y perfiles de consumo en edificaciones de uso multifamiliar, escolar y oficinas. La herramienta se compone de tres módulos: cálculo estructural bajo normativas sísmicas, análisis de transmitancia térmica (U) en la envolvente, la estimación del consumo energético anual, según clima y uso. Además, incluye un Análisis de Ciclo de Vida (LCA) con base en la base de datos ICE y el marco Level(s).

**Palabras clave** – predimensionamiento, envolvente, análisis de ciclo de vida, transmitancia térmica.

### Abstract

Gender inequality in science remains a persistent This research presents the development and results of TAXODIM-RMD/V1.0, a tool containing a set of automated spreadsheets designed for the creation and comprehensive analysis of a building, essentially covering structural pre-dimensioning, the thermal behavior of the envelope, energy consumption, and carbon footprint in the early design stage to facilitate the comparative environmental assessment of building configurations. The proposal is based on an interdisciplinary approach between architecture, civil engineering, and energy engineering, integrating regulatory and environmental sustainability criteria. Two taxonomies were defined: one structural, which considers concrete, steel and masonry systems, and another energy-based, based on ASHRAE climate zones and consumption profiles in multi-family, school and office buildings. The tool consists of three modules: structural calculation under seismic regulations, thermal transmittance (U) analysis in the building envelope, and estimation of annual energy consumption according to climate and use. It also includes a Life Cycle Assessment (LCA) based on the ICE database and the Level(s) framework.

**Keywords** – structural pre-sizing, building envelope, life cycle assessment, thermal transmittance.



## I. INTRODUCCIÓN

La implementación de estrategias de sostenibilidad en el sector de la construcción se ha convertido en una prioridad ante la creciente presión por reducir el impacto ambiental de las edificaciones. Aunque se ha registrado una disminución progresiva en la intensidad energética del sector, entre un 0.5 % y 1 % anual desde 2010 [1], los edificios siguen siendo los causantes del 36 % del consumo mundial de energía final y del 39 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con el uso de energía y procesos industriales [2]. Esta realidad plantea la necesidad de transformar los enfoques tradicionales de diseño arquitectónico e ingeniería estructural, orientándolos hacia prácticas bajo un enfoque ambiental.

La investigación responde a esta problemática, por medio del desarrollo de una herramienta digital que permite analizar las configuraciones estructurales y térmicas, en distintos escenarios constructivos y climáticos. Basada en normativas técnicas nacionales e internacionales, y que se apoya en la construcción de dos taxonomías; una estructural que incluye sistemas en concreto, acero y mampostería; y otra energética, basada en los perfiles de consumo correspondientes a los usos de edificio en las nueve zonas climáticas definidas por ASHRAE [3] [4] [5] [6].

## II. METODOLOGÍA

La metodología de esta investigación se basa en el desarrollo y aplicación de la herramienta digital TAXODIM-RMD/V1.0, en su primera versión [7], la cual permite realizar un análisis interdisciplinario de edificaciones mediante la integración de conocimientos provenientes de la Arquitectura, Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Energética. Cada uno de los componentes se encuentra interrelacionados dentro del entorno de la herramienta, lo que posibilita una evaluación integral del edificio desde una etapa temprana de diseño, hasta la finalización del proyecto.

### A. Predimensionado estructural

Como primera etapa, en el libro geometría general, se ingresan datos generales del “edificio prototipo X” en los ejes norte-sur y este-oeste, la herramienta realiza un cálculo preliminar de la cantidad estimada de elementos estructurales: vigas, columnas y losas. Con base en la información geométrica ingresada en el libro 1, los datos son distribuidos automáticamente en los libros 2, 3 y 4, correspondientes a las

configuraciones de predimensionamiento estructural seleccionadas.

La herramienta permite desarrollar el análisis considerando tres sistemas constructivos definidos en el sistema “A” de la Norma Técnica para Diseño por Sismo [8], el cual abarca, marcos estructurales de concreto armado, marcos de acero estructural y sistemas de muros de mampostería, de acuerdo a la tabla 1.

**Tabla 1.** Sistemas de predimensionamiento estructural

Marcos de concreto	Columnas
	Vigas
	Losa de concreto <i>in situ</i>
	Losa prefabricada
Marcos de acero	Columnas
	Vigas
	Losa metal deck
Paredes de mampostería	Paredes
	Losa prefabricada

### B. Envolvente

El libro 5 titulado: envolvente, permite la selección y combinación de materiales para la conformación de los cerramientos exteriores del edificio, específicamente muros y cubiertas. La selección se realiza considerando los valores de transmitancia térmica  $U$  (W/m<sup>2</sup>.K) de cada componente, con el objetivo de evaluar el comportamiento térmico de la envolvente en relación al entorno climático, según la latitud.

Dentro del análisis se consideran los siguientes aspectos:

1. Transmitancia térmica de referencia, tomando en cuenta la tipología de uso del edificio y la zona climática correspondiente.
2. Resistencia térmica, obtenidos a partir de la conductividad térmica de los materiales, cuyos datos provienen del CTE [9] y del espesor del material, ingresado por el usuario, según especificaciones técnicas del proyecto.

### C. Consumo energético

El libro 6, permite estimar el consumo energético mensual y anual de la edificación. Entre los principales parámetros se consideran (ver figura 1):

1. Área de construcción, el cual está determinada a partir de los datos de la geometría general.

2. Energía del sitio, estimada según los valores tabulados que corresponden a la tipología de uso y la zona climática.



Fig. 1. Cálculo del consumo energético.

D. Análisis de ciclo de vida

El libro 7 de la herramienta permite estimar las emisiones de (CO2e) asociados a los sistemas estructurales evaluados. Este análisis es extraído del modelo de cálculo LR [10] se fundamenta en las etapas de ciclo de vida [11] siguiendo el enfoque cradle to cradle, así como los factores de circularidad definidos por el Marco Europeo de sostenibilidad Level(s) [12] [13] [14].

Las etapas de LCA analizada según la Norma ISO 14044 [15] de acuerdo a Tabla 2.

Tabla 2. Etapas de la metodología LCA.

A	A1-A3. Etapa de producto	A1. Suministro de materias primas
		A2. Transporte
		A3. Fabricación
	A4-A5. Etapa de proceso de construcción	A4. Transporte
		A5. Proceso de construcción e instalación o montaje
B	B1-B7. Etapa de uso	B1. Uso
		B2. Mantenimiento
		B3. Reparación
		B4. Sustitución
		B5. Rehabilitación
		B6. Uso de energía en servicio
		B7. Uso de agua en servicio
C	C1-C4. Etapa de fin de vida	C1. Deconstrucción y demolición
		C2. Transporte
		C3. Tratamiento de residuos
		C4. Vertido

III. RESULTADOS

La herramienta fue puesta a prueba en diversos escenarios clasificados por geometría, uso y clima, con el objetivo de validar su funcionamiento y capacidad para estimar la huella de carbono. El sujeto de análisis “edificio prototipo X” se distribuye en nue-

ve escenarios, los cuales se dividen en los sistemas constructivos: concreto, acero y mampostería, considerando los usos de la edificación: oficina, multifamiliar y escolar (como se ve en las figuras 2, 3, 4).

CONCRETO	
Concreto-Oficina (CON-OF)	
Dimensiones	24m x 20m
Claros	6m x 4m
Niveles	6 niveles
Altura de entrepiso	3.5m
Concreto-Multifamiliar (CON-MF)	
Dimensiones	24m x 20m
Claros	6m x 4m
Niveles	6 niveles
Altura de entrepiso	3.5m
Concreto-Escolar (CON-SC)	
Dimensiones	24m x 20m
Claros	6m x 4m
Niveles	6 niveles
Altura de entrepiso	3.5m

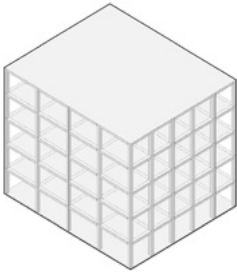


Fig. 2. Escenarios de marco de concreto.

ACERO	
Acero-Oficina (AC-OF)	
Dimensiones	24m x 20m
Claros	6m x 4m
Niveles	6 niveles
Altura de entrepiso	3.5m
Acero-Multifamiliar (AC-MF)	
Dimensiones	24m x 20m
Claros	6m x 4m
Niveles	6 niveles
Altura de entrepiso	3.5m
Acero-Escolar (AC-SC)	
Dimensiones	24m x 20m
Claros	6m x 4m
Niveles	6 niveles
Altura de entrepiso	3.5m

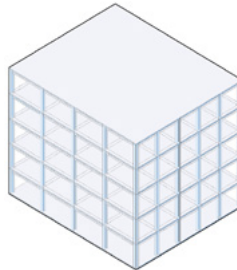


Fig. 3. Escenarios de marcos de acero.

MAMPOSTERÍA	
Mampostería-Oficina (MAP-OF)	
Dimensiones	24m x 20m
Claros	6m x 4m
Niveles	6 niveles
Altura de entrepiso	3.5m
Mampostería-Multifamiliar (MAP-MF)	
Dimensiones	24m x 20m
Claros	6m x 4m
Niveles	6 niveles
Altura de entrepiso	3.5m
Mampostería-Escolar (MAP-SC)	
Dimensiones	24m x 20m
Claros	6m x 4m
Niveles	6 niveles
Altura de entrepiso	3.5m

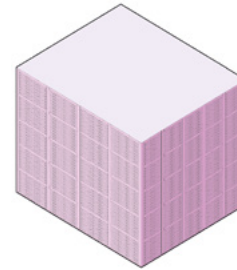


Fig. 4. Escenarios de paredes de mampostería.

Con el propósito de analizar el comportamiento energético y ambiental de los escenarios en contextos climáticos diversos, la investigación contempla tres zonas geográficas representativas de distintas condiciones térmicas y de humedad. La selección se realizó con base en la clasificación climática de ASHRAE, buscando contrastar el desempeño de sistemas estructurales y de envoltente en función del entorno. Esto permite evaluar cómo influyen las condiciones climáticas en el diseño, el consumo energético y los impactos asociado al ciclo de vida del edificio. Las zonas analizadas corresponden a la tabla 3 (para más información ver figura 5).

Tabla 3. Zonas climáticas analizadas.

Zonas Climáticas			
Zona	1A	3C	4A
Ciudad	San Salvador	Ciudad del Cabo	Madrid
País	El Salvador	Sudáfrica	España
Latitud	13,39	-33,97	40,45



Fig. 5. Mapa de zonas climáticas.

A. Envoltente

Las figuras 6 y 7 evidencian cómo la transmitancia térmica varía según la zona climática, el sistema estructural y el uso del edificio. San Salvador presenta los valores más altos debido a su clima cálido y baja exigencia de aislamiento. Madrid, con clima frío, muestra las transmitancias más bajas, reflejando mayores requerimientos de aislamiento térmico. Ciudad del Cabo se sitúa en un punto intermedio. Además, los edificios multifamiliares (MF) registran menores transmitancias, indicando una mayor necesidad de eficiencia térmica.

Combinación: cubierta + muro enmarado (ace-ro, concreto):

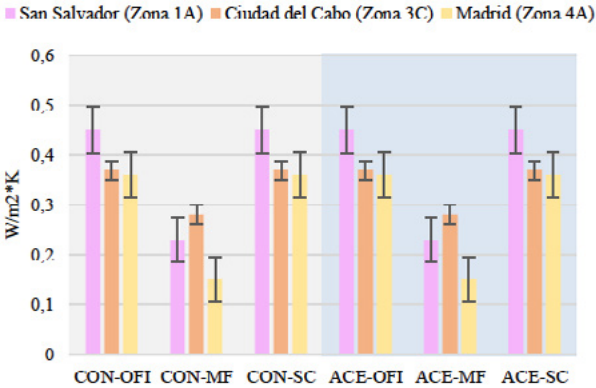


Fig. 6. Transmitancia térmica alcanzada de componente cubierta para los escenarios de concreto y acero.

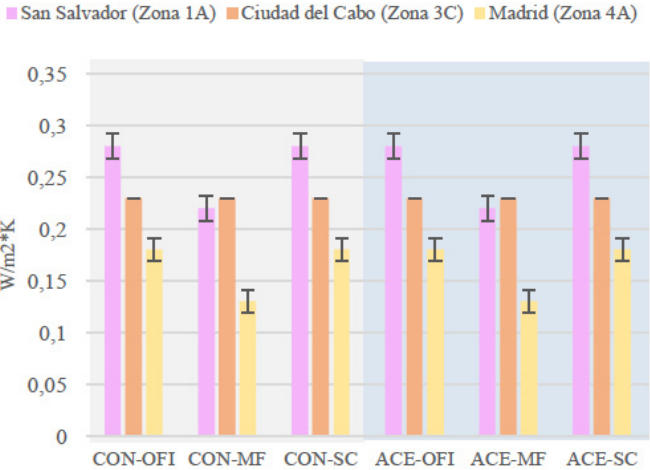


Fig. 7. Transmitancia térmica alcanzada de componente muro enmarcado para los escenarios de concreto y acero.

En la figuras 8 y 9, se observa que San Salvador presenta la mayor transmitancia térmica, indicando menor aislamiento, mientras que en Madrid muestra el mejor desempeño térmico. Ciudad del Cabo se sitúa entre ambas. Las configuraciones multifamiliar (MF) y escolar (SC) son más eficientes que las de oficinas (OF). El análisis confirma que el clima influye en el aislamiento y que aplicar mejoras puede optimizar el rendimiento térmico.

Combinación: cubierta + muro masa (mampostería):

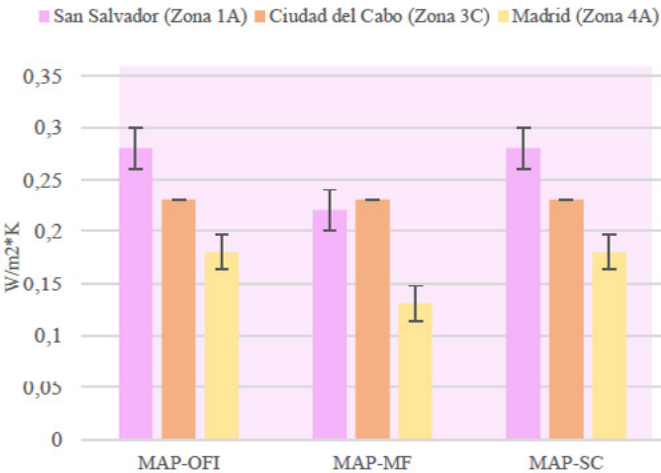


Fig. 8. Transmitancia térmica alcanzada de componente cubierta para los escenarios de mampostería.



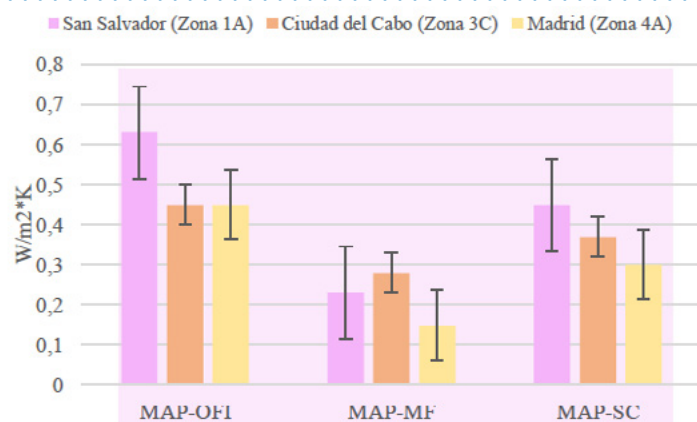


Fig. 9. Transmitancia térmica alcanzada de componente muro masa para los escenarios de mampostería.

## B. Consumo energético

Se observa en la figura 10, que San Salvador presenta los consumos energéticos más elevados en todas las configuraciones analizadas, especialmente en las tipologías de multifamiliares de concreto y mampostería. Esto se atribuye principalmente al uso intensivo de sistemas de refrigeración, característico de su clima cálido y húmedo.

Ciudad del Cabo, por el contrario, presenta los valores más bajos destacando en edificios de oficinas y escolares debido a su clima que reduce la demanda de calefacción y refrigeración. Madrid se posiciona en un punto intermedio, aunque en algunas tipologías, como multifamiliar en mampostería, el consumo se acerca a los niveles de San Salvador. Su comportamiento energético refleja la influencia de un clima con marcadas variaciones estacionales. En conjunto, los resultados evidencian que el clima es el factor más determinante en el consumo energético, por encima del sistema constructivo utilizado.

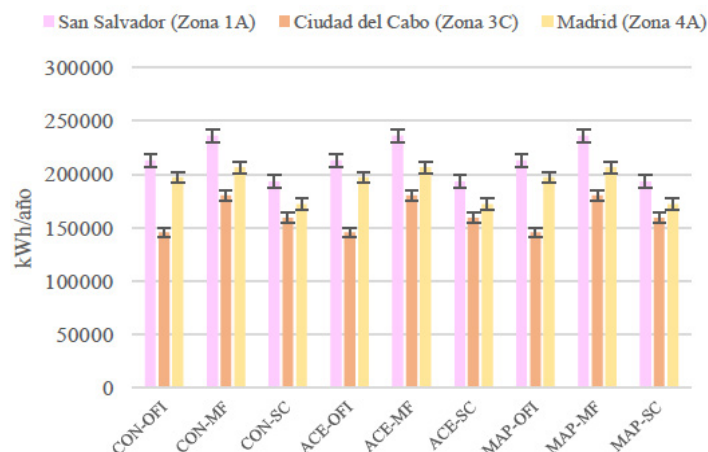


Fig. 10. Valores de consumo energético calculados para los casos de estudio (kWh/año).

## C. Análisis de ciclo de vida

El análisis del ciclo de vida de las edificaciones revela que el mayor porcentaje del peso estructural se concentra en los elementos horizontales (losas y vigas), representando entre el 55 % y 75 % del total. Estos elementos están diseñados para resistir cargas permanentes y variables. Las estructuras verticales (columnas) aportan entre el 25 % y 35 % del peso en sistemas de marcos de concreto y mampostería, mientras que en sistemas de acero su participación es menor al 10 %. La envolvente (muros y cubierta) representa entre el 8 % y 15 % del peso total, como se ve en la figura a continuación.

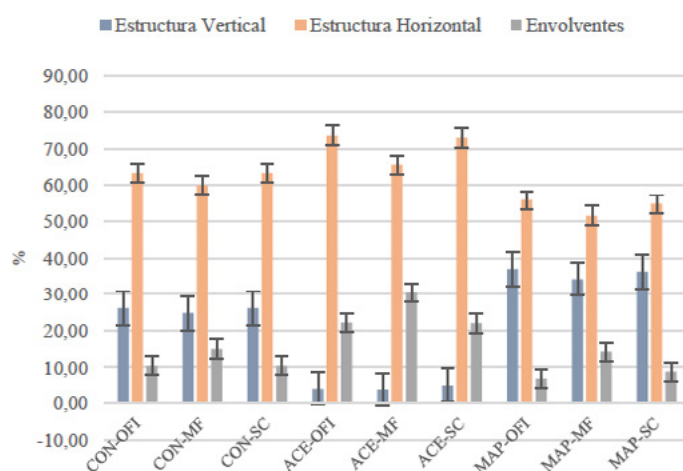


Fig. 11. Peso de los sistemas.

Según la figura 12, la mayor proporción de carbono incorporado (CI) en los nueve escenarios analizados proviene de las estructuras horizontales (losas y vigas), alcanzando un 80 % de las emisiones, sin importar el sistema estructural o tipo de uso. Esta alta proporción está relacionada con el volumen de material utilizado. En cambio, las estructuras verticales y envolventes representan entre el 15 % y 20 % del CI. Por tanto, para reducir la huella de carbono en edificaciones, se recomienda enfocar las estrategias en la optimización o sustitución de materiales en las estructuras horizontales.

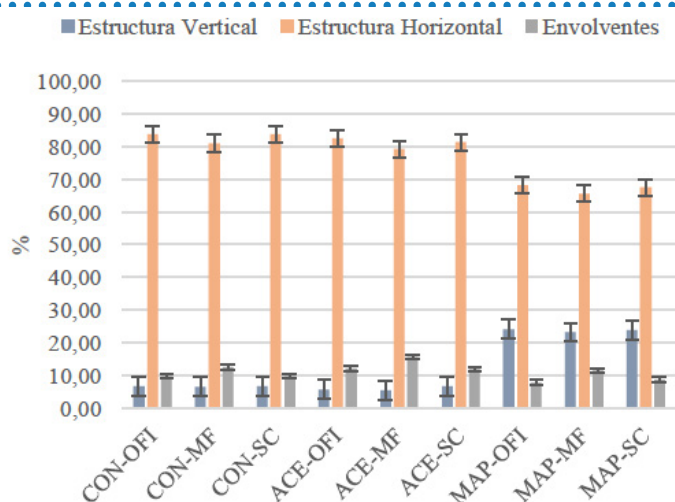


Fig. 12. Carbono incorporado en los escenarios).

En la figura 13 se observa la distribución del impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de distintas edificaciones clasificadas por sistema estructural y uso, descritos en los capítulos anteriores. Las etapas de ciclo de vida se agrupan y se clasifican en fases: (A1-A3) producción de los materiales, (A4-A5) transporte y construcción, (B1-B5) uso, (B6) consumo energético operativo, (C1-C4) fin de vida y (D) reutilización o reciclaje de materiales.

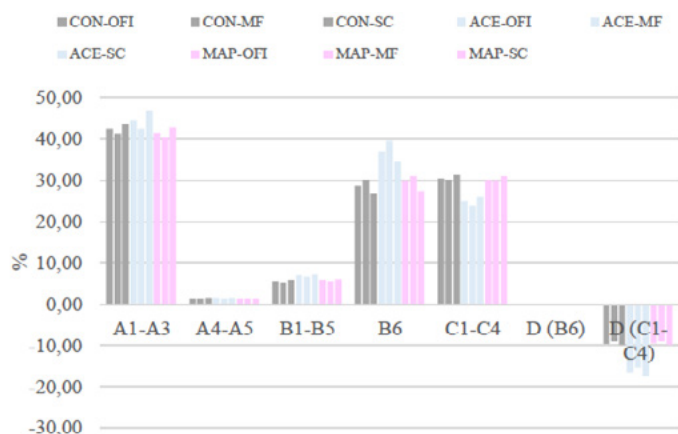
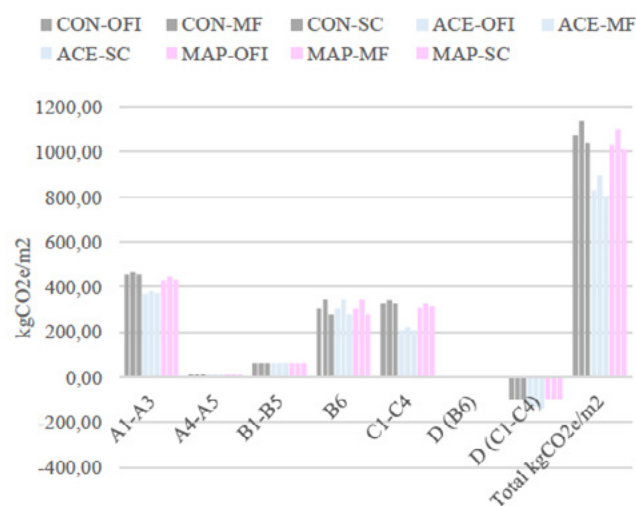


Fig. 13. LCA (%) en los escenarios

La mayor parte de las emisiones de carbono en edificaciones proviene de la producción de materiales, especialmente en acero, concreto y mampostería. También se generan emisiones durante el uso del edificio (por consumo energético). Aunque otras etapas como transporte, construcción y fin de vida tienen menor impacto individual, su efecto acumulado es relevante.

El reciclaje puede ayudar a evitar emisiones. En total, las emisiones por metro cuadrado construido oscilan entre 800 y 1150 kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, lo que resalta la necesidad de evaluar el ciclo de vida completo, para

comprobar que las decisiones de diseño de edificaciones son sostenibles de una perspectiva ambiental.

Fig. 14. LCA (kgCO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>) en los escenarios.

## IV. DISCUSIÓN

Se identificó que la etapa de producción de materiales es la que genera la mayor cantidad de emisiones de carbono a lo largo del ciclo de vida del edificio, superando las etapas como transporte, construcción o mantenimiento. Esto refuerza la necesidad de emplear materiales con una menor huella ambiental y de optimizar los procesos de fabricación.

La etapa de uso también representa una fuente de emisiones, especialmente por el consumo energético, lo que subraya la importancia de diseñar edificaciones más eficientes desde el punto de vista energético.

Por otro lado, la etapa final del ciclo de vida (etapa D) muestra que el reciclaje y la reutilización de materiales pueden ayudar a evitar parte del impacto ambiental, destacando el potencial de aplicar principios de economía circular en el sector de la construcción.

En conjunto, estos hallazgos demuestran que una visión integral del ciclo de vida permite identificar con mayor claridad las oportunidades de mejora ambiental y estructural, orientando decisiones más sostenibles en el diseño y construcción de edificaciones, desde etapas tempranas del diseño.

## V. CONCLUSIÓN

La herramienta desarrollada demuestra un alto potencial como instrumento de apoyo para instituciones y entidades encargadas de evaluar la sostenibilidad ambiental en edificaciones, al permitir la

integración automatizada de criterios estructurales, térmicos y de impacto ambiental desde las etapas iniciales del diseño. Su capacidad para distribuir materiales y generar un desglose detallado por elemento constructivo, aporta una base cuantitativa que facilita la aplicación de metodologías como el Análisis de Ciclo de Vida (LCA), que echa mano de los datos geométricos de proyecto asociados con factores de huella de huella de carbono.

Así, el predimensionamiento estructural trasciende su función técnica y se convierte en un componente clave para la toma de decisiones de diseño. Además, la herramienta permite adaptar el diseño de la envolvente térmica a las condiciones climáticas locales, optimizando el rendimiento energético y orientando el proyecto hacia soluciones coherentes con los objetivos de sostenibilidad. En este sentido, las envolventes adquieren un rol estratégico, ya que son una fuente significativa de carbono incorporado que influye directamente en el impacto ambiental global del edificio.

Por otro lado, los sistemas constructivos afectan la distribución del peso de los elementos, siendo un factor determinante en el diseño estructural, así como en la eficiencia térmica, económica y constructiva, lo que refuerza la importancia de un análisis integrado desde la etapa temprana de diseño.

## VI. REFERENCIAS

- [1] L. Rodríguez et al., Life cycle assessment in net zero energy building scenarios in a tropical country, *Discov. Civ. Eng.*, vol. 1, no. 1, p. 18, 2024.
- [2] U. N. E. Programme and G. A. for B. and Construction, 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emissions, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector - Executive Summary, 2020.
- [3] ASHRAE, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2019, 2019.
- [4] ASHRAE. USGBC. UDOE, Advanced Energy Design Guide for K-12 School Buildings. Achieving Zero Energy, 2018.
- [5] ASHRAE. USGBC. UDOE, Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings. Achieving Zero Energy, 2019.
- [6] ASHRAE. USGBC. UDOE, Advanced Energy Design Guide for Multifamily Buildings. Achieving Zero Energy, 2022.
- [7] Modelo de cálculo TAXODIM-RMD/V1.0. [Online]. Available: <https://micelio.uca.edu.sv/entities/product/69aab01a-417b-4980-849c-5eb-222d0df59>. [Accessed: 12-Oct-2025].
- [8] Ministerio de Obras Públicas, Norma técnica para diseño por sismo. El Salvador, 1997.
- [9] G. de E. Ministerio de Fomento, CTE Código Técnico de la Edificación, Catálogo de elementos constructivos del CTE. 2010.
- [10] Modelo de cálculo LR-LCA: Hojas de cálculo de huella de carbono en ciclo de vida. [Online]. Available: <https://micelio.uca.edu.sv/entities/product/95ac43f5-5ae3-4ae2-af20-8cb8a7752c8f>. [Accessed: 12-Oct-2025].
- [11] L. Rodríguez, Análisis comparativo del ciclo de vida de edificaciones construidas con prefabricación industrializada en latitudes mediterránea y tropical, TDX (Tesis Dr. en Xarxa), Jun. 2024.
- [12] N. Dodd, M. Cordella, M. Traverso, and S. Donatello, Level(s), el marco común de la UE de indicadores básicos de sostenibilidad para edificios residenciales y de oficinas. Partes 1 y 2. Luxemburgo, 2021.
- [13] N. Dodd, M. Cordella, M. Traverso, and S. Donatello, Level(s) indicator 2.4: Design for deconstruction. Luxemburgo, 2021.
- [14] A. E. de N. y C. AENOR, Norma UNE-ISO 20887 Sostenibilidad en edificios y obras de ingeniería civil Diseño para el desmontaje y la adaptabilidad Principios, requisitos y directrices. 2023.
- [15] I. O. for Standardization, ISO 14044:2006 (traducción oficial) Gestión ambiental Análisis del ciclo de vida Requisitos y directrices, 2006.



TAXODIM-RMD/V1.0, todos los derechos reservados

