

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	Documento F-AC-DBL-007	Código 30-09-2024	Fecha Revisión C
	DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	Dependencia SUBDIRECTOR ACADEMICO	Aprobado 1(178)	Pág.

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Jesús David Márquez Montejo
FACULTAD	Ingenierías
PLAN DE ESTUDIOS	Maestría en Construcción
DIRECTOR	Romel Jesús Gallardo Amaya
CODIRECTOR	Agustín Armando Macgregor Torrado
TÍTULO DE LA TESIS	Propuesta para la reducción de la huella de carbono en edificios industrializados. Caso de estudio: Edificio Prado Verde, Ocaña, Norte de Santander
TITULO EN INGLES	Proposal for reducing the carbon footprint in industrialized buildings. Case study: Prado Verde Building, Ocaña, Norte de Santander
RESUMEN	
El crecimiento de la edificación y la adopción de sistemas industrializados aumentan el consumo de materiales y el carbono incorporado en los módulos de materiales (A1-A3), transporte (A4) y construcción (A5) de un análisis de ciclo de vida (ACV). Este proyecto identifica tendencias y parámetros, cuantifica el potencial de calentamiento global a 100 años (GWP100) de A1–A5 en un edificio caso de estudio y prioriza estrategias de mitigación.	
RESUMEN EN INGLES	
The growth of construction and the adoption of industrialized systems increase the consumption of materials and the carbon embodied in the material (A1-A3), transport (A4), and construction (A5) modules of a life cycle assessment (LCA). This project identifies trends and parameters, quantifies the 100-year global warming potential (GWP100) of A1–A5 in a case study building, and prioritizes mitigation strategies.	
PALABRAS CLAVES	Huella de carbono, Calentamiento global, Desarrollo sostenible, Materiales de construcción
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Carbon footprint, Global warming, Sustainable development, Construction materials
CARACTERÍSTICAS	
PÁGINAS: 178	PLANOS: 0
ILUSTRACIONES: 62	CD-ROM: 0



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88
 atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

Propuesta para la reducción de la huella de carbono en edificios industrializados.

Caso de estudio: Edificio Prado Verde, Ocaña, Norte de Santander

Jesús David Márquez Montejo

Facultad de Ingeniería, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Maestría en Construcción

Director: Msc. Romel Jesús Gallardo Amaya

CoDirector: Msc. Agustín Armando Macgregor Torrado

25 de Agosto de 2025

Contenido

1. Propuesta para la reducción de la huella de carbono en edificios industrializados. Caso de estudio: Edificio Prado Verde, Ocaña, Norte de Santander	12
1.1 Planteamiento del problema.....	12
1.2 Formulación del problema	15
1.3 Objetivos.....	15
1.3.1 Objetivo general.....	15
1.3.2 Objetivos específicos	15
1.4 Justificación	16
1.5 Delimitaciones	17
1.5.1 Delimitación Operativa.....	17
1.5.2 Delimitación Conceptual	19
1.5.3 Delimitación Geográfica.....	19
1.5.4 Delimitación Temporal	19
2. Marco referencial	20
2.1 Marco histórico	20
2.2 Marco contextual	23
2.2.1 Contexto geográfico y urbano.....	23
2.2.2 Contexto socioeconómico	24
2.2.3 Caso de estudio: Edificio Prado Verde.....	24

2.2.4 Actores involucrados.....	25
2.3 Marco conceptual.....	25
2.4 Marco teórico	28
2.4.1 Antecedentes teóricos.....	28
2.4.2 Fundamentos metodológicos	30
2.4.3 Objetivos de desarrollo sostenible	34
2.5 Marco legal	35
2.5.1 Estándares fundamentales.....	35
2.5.2 Estándares específicos para los trabajos de construcción (Edificios).....	36
2.5.3 Estándares de Declaraciones Ambientales de Producto.....	36
3. Diseño metodológico	38
3.1 Tipo de investigación	38
3.2 Población y muestra.....	38
3.2.1 Población.....	38
3.2.2 Muestra	38
4. Resultados	40
4.1 Realizar un análisis bibliométrico sobre la huella de carbono en construcciones verticales, mediante bases de datos bibliográficas, para la identificación de tendencias de investigación y parámetros asociados con la reducción de la huella de carbono en edificios industrializados.	40

4.1.1 Tendencias de investigación.....	41
4.1.1.1 Evolución temporal.....	41
4.1.1.2 Enfoques temáticos.....	41
4.1.1.3 Revistas, autores y países líderes.....	42
4.1.2 Parámetros asociados a la huella de carbono y edificios industrializados.....	42
4.1.2.1 Materiales de construcción.....	43
4.1.2.2 Procesos constructivos industrializados.....	43
4.1.2.3 Energía y emisiones.....	44
4.1.2.4 Diseño y optimización estructural.....	44
4.1.2.5 Gestión económica y política.....	44
4.2 Evaluar la huella de carbono en la fase de producción y construcción mediante declaraciones ambientales (EPD) y el software One Click LCA para el análisis de la cantidad de huella de carbono embebido en el edificio del caso de estudio.	46
4.2.1 Generalidades del proyecto.....	46
4.2.1.1 Propósito y alcance.	46
4.2.1.2 Descripción estudio de caso.....	49
4.2.1.3 Inventario de cantidades.	53
4.2.1.4 Proveedores de materiales y equipos.	56
4.2.2 Parámetros para el análisis de la huella de carbono.....	57
4.2.3 Materiales de construcción (Para módulo A1-A3).....	60

4.2.4 Transporte a la construcción (Para módulo A4).....	65
4.2.5 Proceso de instalación/construcción (Para módulo A5).....	71
4.2.6 Diseño del Edificio Prado Verde en One Click LCA.....	77
4.2.6.1 Generalidades del proyecto en One Click LCA.....	78
4.2.6.2 Importación de materiales de construcción a One Click LCA.	80
4.2.6.3 Ajuste del transporte a la construcción en One Click LCA.	82
4.2.6.4 Proceso de instalación/construcción en One Click LCA.	83
4.2.7 Resultados del diseño del Edificio Prado Verde en One Click LCA	85
4.2.7.1 Resultados globales por etapas o fases del ciclo de vida.	87
4.2.7.2 Desglose A1-A3 (Fabricación de materiales).	88
4.2.7.3 Desglose por tipos de recurso.	89
4.2.7.4 Resultados por estructura.	91
4.2.8 Escenario de reducción del impacto del calentamiento global	97
4.2.8.1 Definición de escenario para nuevo modelo.	99
4.2.8.2 Diseño del “Edificio Prado Verde (Modelo 2)”.	105
4.2.9 Comparación de escenarios.....	114
4.2.9.1 Comparación del impacto en el edificio.	115
4.2.9.2 Comparación de materiales.	117
4.2.9.3 Comparación por partes de la estructura.....	118
4.2.9.4 Análisis general de la reducción de la huella de carbono.	120

4.3 Proponer estrategias de reducción de la huella de carbono a través de acciones preventivas y correctivas para la mejora del impacto ambiental en la construcción de edificaciones con sistema constructivo industrializado.	121
4.3.1 Estrategias para etapa A1-A3 (Materiales)	123
4.3.1.1 Análisis de causas	123
4.3.1.2 Estrategias materiales.....	124
4.3.2 Estrategias para Etapa A4 (Transporte)	134
4.3.2.1 Análisis de causas	134
4.3.2.2 Estrategias transporte	134
4.3.3 Estrategias para etapa A5 (Construcción)	136
4.3.3.1 Análisis de causas	136
4.3.3.2 Estrategias proceso de construcción	137
5. Conclusiones	140
6. Recomendaciones	142
Referencias.....	143
Apéndice A. Análisis bibliométrico	150
Apéndice B. Cantidades de materiales.....	167
Apéndice C. Propiedades de los agregados	168
Apéndice D. Resultados del diseño de mezclas.....	169
Apéndice E. Fichas técnicas de equipos	173

Lista de figuras

Figura 1 Análisis de ciclo de vida	30
Figura 2 Caracterización de impactos.....	32
Figura 3 Objetivos de desarrollo sostenible.....	35
Figura 4 Etapas del ciclo de vida según EN 15978	48
Figura 5 Ubicación edificio Prado verde	50
Figura 6 Edificio Prado verde actualmente.....	50
Figura 7 Planta arquitectónica tipo del edificio Prado verde.....	51
Figura 8 Planta estructural típica del edificio Prado verde	52
Figura 9 Modelo en CypeCAD de la estructura.....	53
Figura 10 Cantidad de concreto en porcentaje según la resistencia.....	55
Figura 11 Diagrama que ilustra el límite del sistema de módulos A1–A5	58
Figura 12 Desglose de la estructura para la evaluación del impacto (módulo A1-A3)	61
Figura 13 Límite del sistema para el módulo A4.....	67
Figura 14 Límites del sistema para el módulo A5	73
Figura 15 Información general del proyecto.....	78
Figura 16 Configuración inicial del diseño en One Click LCA.....	79
Figura 17 Importación de materiales de construcción en One Click LCA	81
Figura 18 Materiales de construcción ajustados en One Click LCA para cimentación....	82
Figura 19 Transporte seleccionado para el análisis en One Click LCA	83
Figura 20 Consumo eléctrico de la obra en fase de construcción en One Click LCA.....	84
Figura 21 Resumen de resultados por categoría e impacto ambiental.....	86
Figura 22 Detalles para productos de construcción	86

Figura 23 Calentamiento global kg CO ₂ e – Fases del ciclo de vida analizadas	88
Figura 24 Materiales más influyentes (Calentamiento global)	89
Figura 25 Calentamiento global kg CO ₂ e – Tipos de recursos	90
Figura 26 Calentamiento Global (GWP) agrupados por partes del edificio desglose	93
Figura 27 Calentamiento global kg CO ₂ e por partes de la estructura.....	94
Figura 28 Impacto kg CO ₂ e/m ³ de concreto según resistencia	95
Figura 29 Diagrama Sankey, Calentamiento Global.....	96
Figura 30 Cemento alternativo sostenible recomendado por One Click LCA	100
Figura 31 Opciones sustentables de cemento en One Click LCA	100
Figura 32 Acero de refuerzo alternativo sostenible recomendado por One Click LCA .	101
Figura 33 Presentación de los dos modelos realizados en One Click LCA.....	105
Figura 34 Resumen de resultados por categoría e impacto ambiental (Modelo 2).....	106
Figura 35 Calentamiento global - Fases del ciclo de vida analizadas - Modelo 2.....	107
Figura 36 Calentamiento Global (GWP) por partes del edificio desglose (Modelo 2) ..	109
Figura 37 Materiales más influyentes (Calentamiento global)- Modelo 2	110
Figura 38 Calentamiento global kg CO ₂ e – Tipos de recursos (Modelo 2)	111
Figura 39 Calentamiento global kg CO ₂ e por partes de la estructura (Modelo 2).....	112
Figura 40 Impacto kg CO ₂ e/m ³ de concreto según resistencia (Modelo 2).....	113
Figura 41 Diagrama Sankey, calentamiento global	113
Figura 42 Comparación de etapas del ciclo de vida (A1-A5) por diseño	116
Figura 43 Comparación de materiales (A1-A3) por diseño.....	118
Figura 44 Comparación por partes de la estructura y por diseño	119
Figura 45 Esquema orientador para el análisis de las estrategias	122

Figura 46 Esquema orientador para estrategias de A1-A3.....	124
Figura 47 Alternativa sostenible agregado grueso reciclado	131
Figura 48 Comparación de los agregados grueso	132
Figura 49 Esquema orientador para estrategias de A4.....	135
Figura 50 Esquema orientador para estrategias de A5.....	137
Figura 51 Tipo de documentos.....	151
Figura 52 Producción científica anual	152
Figura 53 Caracterización de documentos analizados	153
Figura 54 Fuentes más relevantes	154
Figura 55 Autores más relevantes	155
Figura 56 Producción científica de los países	156
Figura 57 Documentos más citados a nivel mundial	157
Figura 58 Impacto local de los autores	158
Figura 59 Nube de palabras claves	159
Figura 60 Red de co-ocurrencia de palabras clave	160
Figura 61 Mapa temático (Densidad vs centralidad)	161
Figura 62 Evolución temática	162

Lista de tablas

Tabla 1 Datos requeridos del caso de estudio	47
Tabla 2 Cantidades de concreto y acero de refuerzo.....	54
Tabla 3 Cantidad total de concreto.....	55
Tabla 4 Proveedores o referencia de plantas para materiales y equipos	56
Tabla 5 Proporción de materiales para 1 m ³ de concreto	62
Tabla 6 Materiales de construcción para importación en One Click LCA	63
Tabla 7 Origen del recurso para el cálculo de kg CO ₂ e de los materiales.....	64
Tabla 8 Detalle de transporte para el cálculo del módulo A4	68
Tabla 9 Características de formaleta y datos de transporte.....	70
Tabla 10 Perfil e impacto del transporte de materiales	70
Tabla 11 Porcentaje de desperdicio y residuos considerados para los materiales.....	74
Tabla 12 Características de equipos eléctricos utilizados en obra (A5a).....	75
Tabla 13 Características de equipos diésel utilizados en obra (A5a).....	76
Tabla 14 Origen del recurso para el cálculo de kg CO ₂ e de los equipos.....	76
Tabla 15 Características del agua utilizada en obra para el mezclado (A5a).....	77
Tabla 16 Calentamiento global kg CO ₂ e – Fases del ciclo de vida analizadas.....	87
Tabla 17 Calentamiento global kg CO ₂ e – Tipos de recurso	90
Tabla 18 Masa en kg por estructura	91
Tabla 19 Valor del Calentamiento Global (GWP) por partes del edificio	92
Tabla 20 Calentamiento global kg CO ₂ e por partes de la estructura	94
Tabla 21 Calentamiento global kg CO ₂ e/m ³ de concreto.....	95

Tabla 22 Plan de cambios por etapa (A1-A5)	104
Tabla 23 Calentamiento global – Fases del ciclo de vida analizadas (Modelo 2)	107
Tabla 24 Valor del Calentamiento Global (GWP) agrupados por partes (Modelo 2)	108
Tabla 25 Calentamiento global kg CO ₂ e – Tipos de recurso	110
Tabla 26 Calentamiento global kg CO ₂ e por partes de la estructura (Modelo 2)	111
Tabla 27 Calentamiento global kg CO ₂ e/m ³ de concreto (Modelo 2)	112
Tabla 28 Matriz de comparación de escenarios	114
Tabla 29 Impacto de kg CO ₂ e por etapas de edificio base y modelo 2	115
Tabla 30 Impacto de kg CO ₂ e por materiales (A1-A3) de edificio base y modelo 2	117
Tabla 31 Impacto de kg CO ₂ e por partes de la estructura base y modelo 2	118
Tabla 32 Comparativos de insumos convencionales y alternativos el cemento	126
Tabla 33 Comparativos de insumos convencionales y alternativos para el acero	128
Tabla 34 Comparación entre agregado grueso natural y AGR	130
Tabla 35 Revisión de la bibliografía más relevante según análisis bibliométrico	165

1. Propuesta para la reducción de la huella de carbono en edificios industrializados. Caso de estudio: Edificio Prado Verde, Ocaña, Norte de Santander

1.1 Planteamiento del problema

El sector de la construcción a nivel mundial es una de las industrias más importantes y así mismo una de las más contaminantes en la actualidad, se puede estimar que un 40% de la contaminación, es generada por actividades ligadas directa o indirectamente a la construcción de obras civiles, la gran cantidad de recursos invertidos en la obtención de materias primas, así como su transporte y posterior manufacturación son prueba de ello, hasta 2 toneladas de materias primas son requeridas por cada metro cuadrado de una edificación. (García Ochoa et al., 2020)

El hormigón es el material de construcción más empleado en el mundo; cada año la industria del hormigón emplea 1.6 billones de toneladas de cemento y cada tonelada emite 1 tonelada de CO₂ a la atmósfera. Con todo ello, y sin querer ser alarmista, es obvio que, desde hace ya varios años, se esté haciendo un esfuerzo en determinar la huella de carbono. (Cano, 2022)

Los edificios contribuyen a una parte significativa de las emisiones globales de gases de efecto invernadero y tienen el potencial de reducir su impacto a gran escala. Reducir el impacto de los edificios a lo largo de su vida útil es fundamental para crear un entorno construido con cero emisiones netas de carbono. Para lograrlo, es necesario considerar el impacto de las

decisiones de diseño en las emisiones de carbono a lo largo de su vida útil durante el proceso de diseño. (Roberts et al., 2020)

Las emisiones de dióxido de carbono de las edificaciones pueden dividirse en dos grandes grupos: las emisiones incorporadas y las emisiones operativas. El carbono incorporado consiste en las emisiones asociadas con la producción de una edificación mientras que las emisiones operativas de una edificación corresponden a las que resultan de su funcionamiento. (Rivera García, 2020)

Históricamente, gran parte del progreso del sector se ha centrado en la reducción de las emisiones de carbono “operativas” de los edificios, es decir, las emisiones derivadas de la calefacción, la refrigeración y la iluminación. Las proyecciones sugieren que estas emisiones operativas disminuirán del 75% al 50% de las emisiones totales del sector en las próximas décadas. (United Nations Environment Programme [UNEP] & Yale Center for Ecosystems + Architecture [Yale CEA], 2023)

Sin embargo, las soluciones para mitigar las emisiones de “carbono incorporado” a los edificios, derivadas del diseño, la producción y la utilización de materiales como el cemento, el acero y el aluminio, se han quedado rezagadas (UNEP & Yale CEA, 2023) . Ahora bien, recientes avances han mejorado la eficiencia energética de algunos de los equipos utilizados en las edificaciones lo cual ha generado un mayor interés por el estudio del carbono en etapas diferentes a la operativa (Rivera García, 2020). Para no arruinar el ahorro de emisiones generado por el bajo consumo energético de los edificios, será necesario asegurar que los materiales

utilizados tengan una huella de carbono baja o incluso negativa. De hecho, el carbono incorporado, que se emite durante la fabricación de materiales, representa el 11% de las emisiones del sector. (Boucher, 2021)

En cuanto a la huella de carbono en construcción (carbono embebido), cada vez se demandan más estudios para ayudar a reducirla. Destacan los resultados obtenidos a través de la realización de un análisis de ciclo de vida completo de la solución base y de los diferentes escenarios de mejora propuestos para estimar la situación de partida y optimizar diseños que permitan minimizar su huella de carbono. (Llamas, 2023)

A nivel Nacional se tiene un estudio de caso en la Ciudad de Bogotá D.C. de una edificación industrializada para viviendas de interés social (VIS), ubicada en el sur oriente de la ciudad de Bogotá, siendo este de uso residencial, con 247 unidades de vivienda de 49 m², con una altura de 74.76 m conformando 31 pisos habitables (Gallego Gómez, 2023). La investigación desarrollada frente a la mitigación de CO₂ en el proceso de construcción de edificios con sistema constructivo industrializado de acuerdo al estudio de caso descrito, concluye que factores como la distancia de transporte de los materiales y la cantidad de cemento usados en las mezclas, inciden directamente en las emisiones y en el inventario de ciclo de vida del material (Gallego Gómez, 2023).

Por lo anterior, se selecciona como caso de estudio el edificio industrializado del Proyecto Prado Verde, construido en el municipio de Ocaña, el cual permitirá reconocer estrategias para el análisis y reducción de la huella de carbono en edificios industrializados.

1.2 Formulación del problema

¿Qué estrategias y acciones específicas pueden ser aplicadas para disminuir la huella de carbono en edificios industrializados, con base en el análisis del caso de estudio del Edificio Prado Verde en Ocaña, Norte de Santander?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Realizar una propuesta de reducción de huella de carbono analizando el caso de estudio del edificio Prado Verde ubicado en el municipio de Ocaña, Norte de Santander para establecer estrategias y acciones que se deben implementar.

1.3.2 Objetivos específicos

Realizar un análisis bibliométrico sobre la huella de carbono en construcciones verticales, mediante bases de datos bibliográficas, para la identificación de tendencias de investigación y parámetros asociados con la reducción de la huella de carbono en edificios industrializados.

Evaluar la huella de carbono en la fase de producción y construcción mediante declaraciones ambientales (EPD) y el software One Click LCA para el análisis de la cantidad de huella de carbono embebido en el edificio del caso de estudio.

Proponer estrategias de reducción de la huella de carbono a través de acciones preventivas y correctivas para la mejora del impacto ambiental en la construcción de edificaciones con sistema constructivo industrializado.

1.4 Justificación

En la actualidad, la reducción de la huella de carbono se ha convertido en una prioridad global debido al aumento de la conciencia sobre el cambio climático y sus impactos adversos en el medio ambiente y la sociedad. Los edificios representan una parte significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero, concretamente el sector de la construcción es responsable de aproximadamente el 40% de las emisiones de CO₂ a nivel mundial (García Ochoa et al., 2020). Por lo tanto, es urgente la necesidad de implementar estrategias para reducir estas emisiones, especialmente en edificios industrializados. Estas estructuras, caracterizadas por sus muros de concreto reforzado, conllevan un consumo importante de materia prima, como el cemento, lo que eleva significativamente su huella de carbono.

Actualmente en Colombia, para la construcción de edificaciones y para atender la demanda de vivienda se ha empezado a innovar en muros de concreto reforzado con sistema constructivo industrializado, los cuales han tomado gran fuerza por su velocidad de construcción, eficiencia en costos, tiempo y calidad, como acabados de mayor calidad. Estos tipos de edificaciones son una muestra de innovación tecnológica en el sector de la construcción. La base del sistema industrializado es el uso de formaleas reutilizables, que pueden ser de diversos

materiales, siendo los más comunes el acero y el aluminio. Según el peso y las dimensiones de las formaletas, pueden clasificarse en formaletas manoportables y sistema túnel. (Silva, 2024)

Ahora, abarcando la problemática local que existe en el municipio de Ocaña, donde el crecimiento de la construcción de edificaciones, genera un alto consumo de materiales de construcción y búsqueda de sistemas constructivos cada vez más económicos, fáciles y rápidos de ejecutar, ha llevado a que se empiecen a construir edificios industrializados que en poco tiempo se esperan alcancen una tendencia donde los constructores y clientes lo tomen como el sistema estructural de preferencia, ignorando las consecuencias que esto puede llegar a tener para el medio ambiente en relación con el aumento de la huella de carbono.

Mediante el análisis del caso de estudio del Edificio Prado Verde en Ocaña, Norte de Santander, el presente trabajo ofrece una oportunidad para investigar y proponer estrategias específicas de reducción de la huella de carbono para edificios industrializados. La ubicación geográfica y las características del edificio proporcionan un escenario representativo para este estudio, con el potencial de generar conocimientos aplicables a otros contextos similares.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación Operativa

Para el desarrollo de la investigación se realizará inicialmente un análisis bibliométrico de la huella de carbono en construcción de edificación para la identificación de tendencias de

investigación y parámetros asociados con la reducción de la huella de carbono en edificios industrializados, donde será necesario consultar bases de datos. Referente a las fuentes secundarias se podría tener poca bibliografía referente a edificaciones industrializadas construidas con formaleta tipo Manoportable, sin embargo, se espera consultar bibliografía de países como china los cuales son líderes en estos tipos de construcción.

Para la segunda etapa del desarrollo del proyecto, se utilizará declaraciones ambientales (EPD) y el software One Click LCA para el cálculo de la huella de carbono de los materiales en las etapas de fabricación y construcción del Proyecto Prado Verde construido en el Municipio de Ocaña, Norte de Santander. Para el uso del Software One Click LCA se cuenta con licencia educativa otorgada por el periodo de un (1) año para el proyecto en específico.

Durante la recolección de información para el cálculo de la huella de carbono, específicamente en los datos iniciales del proyecto como tipo de cemento y materiales utilizados en la construcción se cuenta con información recopilada por la ingeniera residente y empresa constructora, debido a que el edificio actualmente ya finalizó su etapa de construcción.

Finalmente se proponen estrategias de reducción de la huella de carbono para la construcción de edificios industrializados a través de acciones preventivas y correctivas mediante la revisión de bibliografía y así mismo con el análisis del cálculo de la huella de carbono utilizando como caso de estudio el Edificio del Proyecto Prado verde.

1.5.2 Delimitación Conceptual

Para el análisis de la reducción de la huella de carbono en edificios industrializados y para el desarrollo del presente proyecto, se hace necesario conocer conceptos como: huella de carbono, edificio industrializado, sostenibilidad, impacto ambiental, declaración ambiental y construcción sostenible.

1.5.3 Delimitación Geográfica

El presente proyecto de investigación se desarrollará analizando el caso de estudio del proyecto del Edificio Prado Verde construido en el municipio de Ocaña Norte de Santander. Ocaña es un municipio representativo de la región de Norte de Santander y el Edificio Prado Verde brinda un caso de estudio específico y relevante para analizar y proponer estrategias para la reducción de la huella de carbono en edificaciones industrializadas en esta área.

1.5.4 Delimitación Temporal

El proyecto tendrá una duración de seis (6) meses, durante los cuales se recolectará información, se evaluará la huella de carbono del Edificio Prado Verde en las etapas A1–A5 del ciclo de vida y se formularán estrategias de reducción para edificios industrializados.

2. Marco referencial

2.1 Marco histórico

La preocupación por los impactos ambientales del sector construcción, especialmente las emisiones de carbono, se ha intensificado en las últimas décadas. A continuación, se sintetiza los antecedentes y las prácticas asociadas a la huella de carbono en edificios industrializados.

El término huella de carbono se popularizó a principios de la década de 2000, aunque sus raíces se remontan a conceptos anteriores de impacto ambiental. Wiedmann y Minx (2008), como se cita en IPCC (2022), definen la huella de carbono como “la cantidad total de emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero causadas directa e indirectamente por un individuo, organización, evento o producto”.

En los últimos años, se ha prestado cada vez más atención a los impactos ambientales atribuidos al entorno construido. Esto se da tanto en forma de investigación académica como de iniciativas de la industria. (Roberts et al., 2020)

“El método de evaluación del ciclo de vida (ACV) se ha convertido en una herramienta importante para evaluar el impacto ambiental de los edificios y de la industria de la construcción (Soust-Verdaguer et al., 2017; Pomponi y Moncaster, 2018), resultando esencial para el desarrollo urbano sostenible (Petit-Boix et al., 2017).” (Wang et al., 2024)

Las Declaraciones Ambientales de Producto (EPD) son herramientas estandarizadas para comunicar el desempeño ambiental de los productos, incluida su huella de carbono. La norma NTC-ISO 14025:2013 se enfoca en los principios y procedimientos para estas declaraciones.

El concepto de la industrialización en la construcción nació a fin de lograr competitividad en la organización y planificación de los proyectos de construcción, tanto en la obra como en costos, entregando al comprador un mejor producto, teniendo mejor control sobre la obra y un acercamiento real a los costos del proyecto. (Silva, 2024)

Las formaleas para sistemas industrializados pueden ser de diversos materiales: acero, aluminio, madera e incluso plástico. Dependiendo de esto podrán utilizarse hasta en 1.500 ciclos con un adecuado almacenamiento y mantenimiento, así como la técnica utilizada para el desencofrado. Esto genera competitividad en costos, y lo convierte un sistema eficiente y de alto rendimiento en las construcciones. Se fabrican mediante procesos y equipos industriales con altos estándares de calidad. (Silva, 2025)

Existen dos sistemas de formalea para la construcción con sistemas industrializados: manoportable y túnel. En ambos sistemas, los paneles unidos forman una estructura temporal autoportante, capaz de soportar presiones sin deformarse demasiado. (Silva, 2025)

En materia de huella de carbono, la literatura reciente ha desplazado el foco exclusivo en la eficiencia constructiva hacia la evaluación ambiental del sistema. El impacto neto varía de manera sensible según el diseño, las especificaciones y las cantidades de material (en particular,

el contenido de cemento) y las prácticas de obra; así, aunque el método ofrece ventajas económicas y de productividad, un alto consumo de cemento puede aumentar de forma significativa el carbono incorporado. De ahí la necesidad de valorar su desempeño con un enfoque de ciclo de vida, que cubra como mínimo desde la fabricación de materiales hasta la fase de construcción.

En el plano normativo, el Acuerdo de París fue reforzado por el primer Balance Global adoptado en la COP28 (Decisión 1/CMA.5, 2023), que llama a acelerar la descarbonización y la transición energética a escala mundial (UNFCCC, 2023). En Colombia, la Ley 2169 de 2021 fija metas y medidas mínimas hacia la carbono-neutralidad, articuladas con la NDC actualizada 2020–2030 y la Resolución 0549 de 2015 del MVCT para ahorro de agua y energía en edificaciones nuevas (República de Colombia, 2021). En este marco, cobran centralidad el carbono incorporado y la evaluación de ciclo de vida a nivel de edificio, conforme a estándares recientes como ISO 21931-1 (2022) y el RICS Whole Life Carbon Assessment (2024). La digitalización ha impulsado la integración BIM+ACV, documentada en literatura reciente y soportada por flujos prácticos (por ejemplo, integración Revit–One Click LCA) para cuantificar y gestionar la huella desde el diseño (One Click LCA, 2025a).

En síntesis, la trayectoria histórica refleja una creciente conciencia y acción frente a la huella de carbono en la construcción, especialmente en edificaciones industrializadas. No obstante, persisten brechas para su adopción generalizada, en particular en contextos locales como el de Ocaña, Norte de Santander.

2.2 Marco contextual

El marco contextual del estudio se centra en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, y el crecimiento del sector de la construcción, en relación con el Edificio Prado Verde como caso de estudio. En este contexto se quiere proporcionar una visión general del entorno geográfico, urbano y socioeconómico de Ocaña, destacando los factores que han influido en la adopción de nuevas tecnologías constructivas, como el sistema industrializado in situ con formaleta tipo manoportable. Además, se presentan las características particulares del Edificio Prado Verde y se identifican los principales actores involucrados en el proyecto.

2.2.1 Contexto geográfico y urbano.

Ocaña es un municipio ubicado en el departamento de Norte de Santander, al Nororiente de Colombia. El departamento Norte de Santander, está ubicada dentro de la subregión de occidente en la región del Catatumbo. Según el DANE (2018), cuenta con una población aproximada de 100,000 habitantes. La ciudad se encuentra a una altitud de 1,202 metros sobre el nivel del mar, con un clima templado que varía entre los 18°C y 24°C.

En los últimos años, Ocaña ha tenido un crecimiento urbano importante, principalmente por la migración desde áreas rurales y el desarrollo económico regional. Este crecimiento ha generado un aumento de viviendas y edificaciones, lo que ha llevado a la implementación de nuevas tecnologías constructivas, como el sistema industrializado in situ con formaleta tipo manoportable.

2.2.2 Contexto socioeconómico

Ocaña es un importante centro económico y cultural de la región del Catatumbo. Su economía se basa principalmente en la agricultura, el comercio y, cada vez más, en el sector de la construcción. Según la Cámara de Comercio de Ocaña (2022), el sector de la construcción ha mostrado un crecimiento continuo en los últimos cinco años, representando aproximadamente el 8% del PIB local.

Este crecimiento económico ha impulsado la demanda de viviendas y edificios comerciales, lo que a su vez ha llevado a la adopción de métodos constructivos más eficientes y rápidos, como el sistema industrializado que se estudia en este proyecto.

2.2.3 Caso de estudio: Edificio Prado Verde

El Edificio Prado Verde es una construcción reciente en Ocaña que utiliza el sistema industrializado in situ con formaleta tipo manoportable. Este edificio se encuentra ubicado en el Barrio Hatillo en zona urbana del municipio de Ocaña, Norte de Santander. El edificio estudiado es tipo residencial y tiene las siguientes características:

Número de pisos: 4

Número de unidades habitacionales: 16

Área total construida: 732,12 m²

Año de construcción: 2020 - 2021

El Edificio Prado Verde fue seleccionado como caso de estudio por ser representativo de las nuevas tendencias constructivas en la ciudad y por la disponibilidad de datos sobre su proceso de construcción y operación.

2.2.4 Actores involucrados

Los principales actores involucrados en este estudio incluyen: la empresa constructora del Edificio Prado Verde, proveedores de materiales y equipos de construcción y la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

2.3 Marco conceptual

A continuación, se presenta definición de términos que forman la base teórica para evaluar y proponer estrategias de reducción de la huella de carbono en edificios industrializados.

Sostenibilidad. El concepto de sostenibilidad es fundamental para este estudio, ya que engloba la idea central de reducir el impacto ambiental en la construcción. Según NTC-ISO 15392 (2021d) la sostenibilidad es el “Estado del sistema global, incluidos los aspectos ambientales, sociales y económicos, en el que se satisfacen las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

Impacto ambiental. El impacto ambiental se refiere a los efectos que las actividades humanas tienen sobre el medio ambiente. La ISO 14050 (2020), lo definen como “Cambio en el

medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, incluidas las posibles consecuencias, total o parcialmente resultantes de los aspectos ambientales de una organización”. En la construcción de obras de ingeniería civil, el impacto ambiental contempla todas las etapas del análisis del ciclo de vida (ACV) de un proyecto.

Huella de carbono. Según NTC-ISO 14067 (2021c) es la suma de emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) y remociones de GEI en un sistema de producto expresados como CO2 equivalente y basadas en una evaluación del ciclo de vida utilizando categoría de impacto.

Construcción sostenible. La construcción sostenible busca minimizar el impacto ambiental del sector de la construcción. Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible (2025) “Es un proceso holístico que busca restaurar y mantener la armonía entre el ambiente natural y el espacio construido, buscando crear asentamientos que reafirmen la dignidad humana y promuevan la equidad social y económica, lo cual implica, adoptar nuevas prácticas de diseño, de construcción y procesos de operación y mantenimiento con un enfoque ambiental, social y económico”. La definición incluye desde el diseño hasta la operación y el fin de vida útil de los edificios.

Sistema de construcción industrializado. Dentro del alcance de este estudio, un edificio industrializado se refiere a una construcción que utiliza sistemas y procesos de producción estandarizados y controlados. Según CIDB MALAYSIA (2025), el sistema de construcción industrializado es “un sistema o método de construcción de edificios en el que los componentes se producen en condiciones controladas (en una fábrica o en un sitio de construcción), se

transportan e instalan durante la construcción con el uso mínimo de trabajadores en el sitio”. Con relación al edificio del caso de estudio, hace referencia al sistema de construcción in situ con formaleta tipo manoportable.

Declaración Ambiental de Producto (EPD). Según la NTC-ISO 14025 (2013), una Declaración Ambiental de Producto (EPD) es una declaración ambiental tipo III que comunica datos cuantificados del desempeño ambiental de un producto, obtenidos mediante Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y elaborados conforme a Reglas de Categoría de Producto (PCR); dichos datos son verificados (habitualmente por tercera parte) y se presentan para una unidad funcional y un alcance definidos.

Carbono incorporado. El carbono incorporado es un concepto importante a la hora de evaluar la huella de carbono de las edificaciones. Según Burrows & Black (2021) son “Emisiones de carbono asociadas con materiales y procesos de construcción utilizados en todo el ciclo de vida de un edificio o infraestructura”. Para el estudio de caso se estudiará el carbono incorporado en las etapas A1-A5.

Eficiencia energética. La eficiencia energética es un aspecto fundamental de la construcción sostenible y de la reducción de la huella de carbono. Según la Agencia Internacional de Energía IEA (2025), la eficiencia energética se refiere a “Relación entre la cantidad de trabajo útil realizado y la cantidad de energía consumida”. En el contexto de los edificios, esto implica diseñar y construir estructuras que minimicen el consumo de energía durante su operación.

2.4 Marco teórico

2.4.1 Antecedentes teóricos

La reducción del carbono incorporado en las fases de fabricación y construcción, contempladas en los módulos A1–A3, A4 y A5 de la EN 15978, ha cobrado relevancia en los últimos años, especialmente en edificaciones industrializadas, donde los altos volúmenes de concreto pueden incrementar significativamente la huella de carbono.

Como protagonista de construcciones con formaleta tipo manoportable, el concreto ha sido objeto de múltiples estudios enfocados en reducir su huella de carbono. Las estrategias clave para reducir las emisiones de carbono en la producción de cemento incluyen mejorar la eficiencia energética, la transición a combustibles con bajas emisiones de carbono, promover la eficiencia de los materiales (para reducir la proporción de clínker a cemento y la demanda total) y promover rutas de producción innovadoras con emisiones casi nulas. Estas dos últimas son las que más contribuyen a la reducción de emisiones directas en el Escenario de Cero Emisiones Netas. Para alinearse con este escenario se requerirá el desarrollo y la implementación de tecnología actualmente no disponible. (IEA, 2025)

El enfoque ACV está regulado por las normas ISO 14040, ISO 14044 y EN 15978 y considera todos los flujos de materiales y energía a lo largo del ciclo de vida de un producto o servicio. (Berges-Alvarez et al., 2024)

La elección y optimización de materiales desempeña un papel importante en la reducción del carbono embebido. Miller et al. (2020), en *Nature Reviews Earth & Environment*, evidencian que la innovación en materiales permite recortar de manera sustantiva las emisiones sin sacrificar el desempeño estructural.

En cuanto a la fabricación de los elementos de formaleta, Sun et al. (2021), en *Resources, Conservation and Recycling*, analizan la incorporación de materiales reciclados en la construcción y concluyen que es posible disminuir la huella de carbono asociada a la fabricación de estos componentes sin afectar su funcionalidad ni su durabilidad.

La optimización del diseño estructural también favorece a la reducción del carbono incorporado. El concreto utilizado para la construcción de edificios representa aproximadamente el 60 % de la producción de concreto en Europa. Al mismo tiempo, los enfoques de diseño y la especificación de materiales son componentes fundamentales de la entrega de diseños estructurales totales de edificios de concreto que influyen en la cantidad y el tipo de concreto utilizado y adquirido para un edificio. (Kanavaris et al., 2024)

Un requisito previo para la evaluación del carbono incorporado en los edificios es la disponibilidad de los datos correspondientes a los productos de construcción. El método de evaluación, los datos, los puntos de referencia y/o los valores objetivo deben constituir un paquete. (Lützkendorf & Balouktsi, 2022)

Disminuir el carbono incorporado durante la fabricación de materiales y la construcción en sistemas similares a la formaleta tipo manoportable requiere un enfoque interdisciplinario que abarque diseño y selección de materiales, optimización de procesos y adopción de políticas que recompensen las prácticas de menor impacto.

2.4.2 Fundamentos metodológicos

El análisis de ciclo de vida es una herramienta para medir la huella de carbono completa de un proyecto de construcción. Las evaluaciones de ciclo de vida miden los efectos ambientales de un edificio en cuatro etapas claves (ver Figura 1). (One Click LCA, 2025)

Figura 1

Análisis de ciclo de vida



Nota. Reproducido de la diapositiva del curso *Bootcamp de ACV de construcción* de One Click LCA (One Click LCA, 2025).

La etapa de producción y construcción, que es la etapa inicial implica la creación y el ensamblaje de los materiales utilizados para construir un edificio. Abarca varios procesos, cada uno de los cuales contribuye al impacto ambiental general del edificio. (Ramachandran, 2025)

La fase de uso abarca las actividades operativas del edificio , que se llevan a cabo una vez ocupado. Esta fase se caracteriza por el consumo de energía, el uso de agua, el mantenimiento continuo y otras actividades operativas. (Ramachandran, 2025)

La etapa de fin de vida útil implica el desmantelamiento y la eliminación del edificio una vez que llega al final de su vida útil. (Ramachandran, 2025)

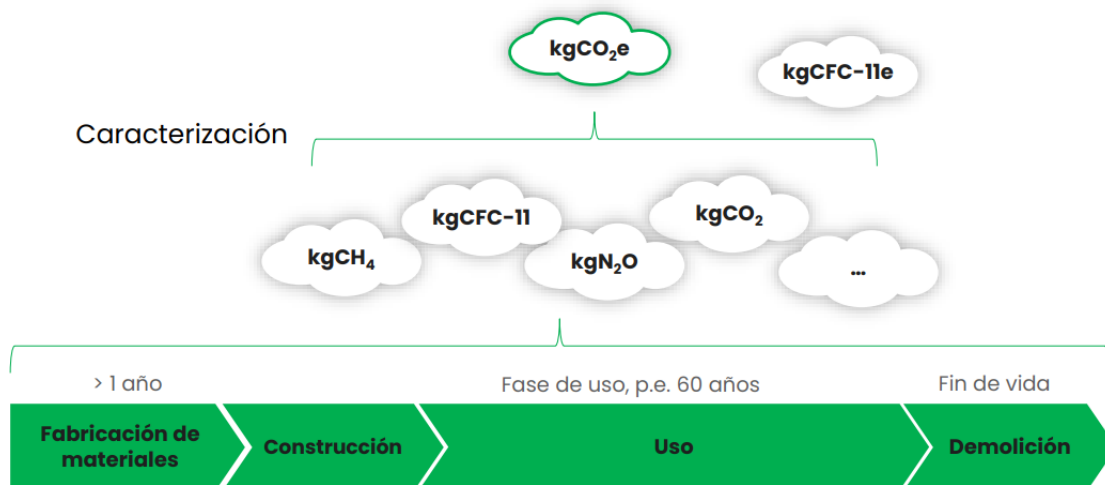
Beneficios más allá del límite del sistema, esta etapa considera los efectos más amplios del ciclo de vida de un edificio más allá de su alcance directo como la reutilización y reciclaje, secuestro de carbón e impactos sociales y económicos. (Ramachandran, 2025)

La Figura 2 ilustra el paso de inventario a impacto en un ACV de edificaciones: las emisiones medidas como flujos individuales, por ejemplo, kg de CO₂, CH₄, N₂O o CFC-11, se transforman mediante factores de caracterización en indicadores comparables por categoría de impacto. Así, el calentamiento global se expresa en kg CO₂ equivalente (kgCO₂e) al ponderar cada gas por su potencial de calentamiento global (GWP, usualmente a 100 años), mientras que el agotamiento de la capa de ozono se expresa en kg CFC-11 equivalente (kgCFC-11e) usando el potencial de agotamiento de ozono (ODP).

Estos resultados se asignan a lo largo de las etapas del ciclo de vida del edificio definidas en EN 15978: fabricación de materiales (A1–A3), construcción (A4–A5), uso (B) durante una vida de referencia (por ejemplo 60 años) y fin de vida (C1–C4). En algunos estudios se reporta además el módulo D, que recoge beneficios o cargas más allá del sistema por reciclaje o recuperación de energía.

Figura 2

Caracterización de impactos



Nota. Reproducido de la diapositiva del curso *Bootcamp de ACV de construcción* de One Click LCA. (One Click LCA, 2023a)

Este estudio aplicado, de enfoque cuantitativo y diseño no experimental, se desarrolla como estudio de caso en el Edificio Prado Verde. Se emplea Análisis de Ciclo de Vida con alcance “cradle-to-handover” limitado a los módulos A1–A3 (fabricación de materiales), A4 (transporte a obra) y A5 (procesos de construcción/instalación), conforme a EN 15978. Se excluyen las fases de uso (B), fin de vida (C) y módulo D por no corresponder al objetivo de

reducir carbono incorporado hasta la entrega de la obra. La unidad funcional es 1 m² de área construida del edificio terminado.

Inventario A1–A3. Se cubicará el conjunto de materiales estructurales y auxiliares (cemento, agregados, agua, acero de refuerzo, aditivos) normalizados a kg pero que finalmente se traducen a 1 m² de construcción de la edificación. A cada flujo se le asignará una EPD verificada del fabricante; cuando no exista, se usará dato genérico de base reconocida manteniendo la trazabilidad.

Inventario A4. El transporte a obra se modelará por modo, distancia y carga útil (camión, tractomula u otros), registrando masa transportada, distancias de viajes y factores de retorno cuando aplique. Para agregados se usarán distancias reales proveedor-obra; para el cemento y el acero de refuerzo, rutas específicas declaradas por logística.

Inventario A5. Se considerarán: energía/combustible de equipos de obra; desperdicios en obra por material y su gestión; transporte y tratamiento/disposición de residuos.

Cálculo de impactos. Las emisiones de inventario se caracterizarán con GWP100 (kgCO₂e) y se presentarán por módulo (A1–A3, A4, A5), por actividades (Cimentación, estructura vertical, estructura horizontal y otras estructuras) y total normalizado (kgCO₂e/m²). Se usará One Click LCA para modelado y consolidación.

2.4.3 Objetivos de desarrollo sostenible

En 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, compuesta por 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que buscan abordar los principales retos sociales, ambientales y económicos a nivel mundial (ONU, 2025).

El sector edificador tiene un papel importante en el cumplimiento de los ODS, ya que la selección de materiales, los sistemas constructivos y la eficiencia energética de las edificaciones determinan su impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida. En este sentido, el uso de metodologías como el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y herramientas como One Click LCA permiten cuantificar dichos impactos y orientar estrategias hacia la sostenibilidad.

Los ODS más directamente relacionados con este proyecto se pueden apreciar en la Figura 3, donde se destacan aquellos vinculados con la reducción de emisiones de carbono, la sostenibilidad urbana, la innovación en infraestructura y el uso responsable de recursos.

Este proyecto contribuye directamente a las metas del ODS 13, Acción por el Clima, al proponer estrategias de reducción de huella de carbono en edificaciones industrializadas, lo que también fortalece los ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) y 12 (Producción y consumo responsables), además de vincularse con el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura), al fomentar el uso de sistemas constructivos industrializados más eficientes y resilientes que promueven la innovación tecnológica y la infraestructura sostenible.

Figura 3*Objetivos de desarrollo sostenible*

Nota. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) según Naciones Unidas (2015), Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

2.5 Marco legal

La investigación se desarrolla en el marco de los estándares nacionales e internacionales para el análisis de ciclo de vida, que se describen a continuación.

2.5.1 Estándares fundamentales

NTC-ISO 14040:2022 - Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia.

NTC-ISO 14044: 2021 - Gestión ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices. Requisitos del ciclo de vida.

2.5.2 Estándares específicos para los trabajos de construcción (Edificios)

EN 15978-1:2021 - Sustainability of construction works - Methodology for the assessment of buildings - Part 1: Environmental Performance.

NTC-ISO 21931-1:2022 - Sostenibilidad en edificaciones y obras de ingeniería civil. Marco para los métodos de evaluación del desempeño ambiental, social y económico de las obras de construcción como base para la evaluación de la sostenibilidad. Parte 1: Edificaciones

NTC-ISO 21929-1:2021 - Sostenibilidad en la construcción de edificaciones. Indicadores de sostenibilidad. Parte 1: Marco de referencia para el desarrollo de indicadores y un conjunto básico de indicadores para las edificaciones.

2.5.3 Estándares de Declaraciones Ambientales de Producto

EN 15804 - Sustainability of construction works. Environmental Product Declarations. Core Rules for the Product Category of Construction Products

EN 15804: 2012 +A1:2014 - Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products

NTC-ISO 21930:2021 - Sostenibilidad en edificaciones y en obras de ingeniería civil.
Reglas básicas para las declaraciones ambientales de los productos y servicios de construcción.

EN 15942: 2022 - Sustainability of construction works - Environmental product
declarations - Communication format business-to-business.

NTC-ISO 14025: 2013 - Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones
ambientales tipo III. Principios y procedimientos.

3. Diseño metodológico

3.1 Tipo de investigación

El tipo de diseño de la investigación a realizar se puede clasificar como mixta con un enfoque descriptivo, debido a que tiene un componente cualitativo para la identificación de los parámetros y estrategias asociadas con la reducción de la huella de carbono en edificios industrializados. Luego, un componente cuantitativo para la evaluación de la huella de carbono utilizando EPD y One Click LCA.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

Según William G. Zikmund (2003), “La población es cualquier conjunto completo de elementos (personas, eventos o cosas) que poseen alguna característica común de interés”, por tanto, se contempla como población para la presente investigación a todos los edificios industrializados construidos con formaleta tipo túnel en Colombia.

3.2.2 Muestra

Una muestra, según Zikmund (2003), es un subconjunto de la población que se selecciona para participar en un estudio. La muestra debe ser representativa de la población para

que los resultados del estudio puedan ser generalizados a toda la población. En el contexto de este estudio, para la investigación se aplica una técnica de muestreo no probabilístico y no aleatorio, en este caso el muestreo por conveniencia, correspondiendo la muestra al Edificio Prado Verde, ubicado en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

La selección del Edificio Prado Verde como caso de estudio principal se fundamenta en su representatividad y accesibilidad a datos detallados sobre la huella de carbono en las fases de producción y construcción. Este edificio, incorpora tecnologías y prácticas modernas que son relevantes para el objetivo del estudio de reducción de la huella de carbono.

4. Resultados

4.1 Realizar un análisis bibliométrico sobre la huella de carbono en construcciones verticales, mediante bases de datos bibliográficas, para la identificación de tendencias de investigación y parámetros asociados con la reducción de la huella de carbono en edificios industrializados.

El estudio bibliométrico permite analizar de manera sistemática la producción científica internacional relacionada con la huella de carbono en edificios industrializados, a partir de registros obtenidos en la base de datos Scopus. Más allá de describir volúmenes de publicaciones o autores destacados, el propósito central es identificar las tendencias de investigación que han orientado el debate académico en los últimos años, así como los parámetros más importantes que inciden directamente en la reducción de la huella de carbono en el sector de la construcción industrializada. Este análisis permite presentar las características de la producción científica en el tema, mientras que la información técnica y los análisis detallados se pueden consultar en el apéndice A.

El análisis bibliométrico realizado en Scopus (1765 documentos entre 1998-2025) permitió identificar las principales tendencias de investigación y los parámetros importantes asociados con la reducción de la huella de carbono en edificios industrializados. A continuación, se presentan los hallazgos más relevantes.

4.1.1 Tendencias de investigación

4.1.1.1 Evolución temporal. La evolución temporal de las publicaciones muestra que el interés por la huella de carbono en edificios industrializados ha pasado de ser un tema muy poco estudiado a convertirse en un campo de investigación en expansión. En los primeros años apenas se encontraban referencias aisladas, pero con el tiempo la producción académica comenzó a crecer de manera constante, reflejando la importancia creciente de la sostenibilidad en la construcción. A continuación, se describen las tendencias más importantes del tema estudiado:

- Aumento representativo desde el año 2006, con un crecimiento anual del 21,9%, alcanzando 364 publicaciones en 2024.
- Es un campo joven y en expansión, con reconocimiento rápido (38 citas promedio por artículo).
- La reducción de la huella de carbono en la construcción industrializada se ha consolidado como una prioridad científica y tecnológica de alcance global, vinculada tanto al auge de las políticas climáticas como al desarrollo de nuevas metodologías de evaluación y diseño sostenible.

4.1.1.2 Enfoques temáticos. De acuerdo con el análisis bibliométrico y el estudio de los clústeres junto con la evolución temática, se identificaron los principales enfoques de investigación.

- Núcleo central: desarrollo sostenible, emisiones de carbono, cambio climático.

- Clúster rojo: análisis de ciclo de vida (LCA), economía circular, construcción industrializada.
- Clúster verde: energías renovables, transición energética, crecimiento económico.
- Desde 2023 aparecen enfoques tecnológicos: BIM, impresión 3D y desde 2025 mayor atención a modular construcción y análisis económico (cost-benefit, BRICS)

4.1.1.3 Revistas, autores y países líderes. El análisis de las fuentes, autores y países con mayor producción científica permite reconocer los núcleos que concentran el debate internacional sobre la huella de carbono en edificios industrializados. Identificar las revistas de mayor impacto, los investigadores más productivos y las regiones líderes resulta importante para entender cómo se ha consolidado este campo de estudio y hacia dónde se orienta la generación de nuevo conocimiento. A continuación, se identifican las revistas, autores y países más importantes:

- Revistas: Journal of Cleaner Production, Sustainability, Environmental Science and Pollution Research.
- Autores más prolíficos: Wang Y, Li Y, Li H.
- Países líderes: China (1276 artículos), EE. UU. (311). América Latina empieza a aparecer, especialmente Brasil.

4.1.2 Parámetros asociados a la huella de carbono y edificios industrializados

El análisis bibliométrico no solo permite reconocer las tendencias de investigación, sino también los parámetros que inciden directamente en la reducción de la huella de carbono en edificios industrializados. Estos parámetros se entienden como los factores técnicos, constructivos y de gestión que determinan el desempeño ambiental de una edificación, y que han sido recurrentemente abordados en la literatura científica. Identificarlos resulta fundamental, ya que constituyen las bases sobre las cuales se diseñan y aplican estrategias de mitigación en la práctica constructiva. A continuación, se presentan los parámetros más representativos asociados a la reducción de la huella de carbono.

4.1.2.1 Materiales de construcción. En la literatura sobresale la selección y composición de los materiales, los cuales constituye uno de los factores más determinantes en la reducción de la huella de carbono. En particular, se destaca:

- Sustitución parcial en la fabricación del cemento del clínker con SCM (escoria, puzolanas, LC3, cenizas volantes).
- Uso de acero y agregados reciclados.

4.1.2.2 Procesos constructivos industrializados. Los procesos constructivos también influyen de manera decisiva en el impacto ambiental. El uso de técnicas industrializadas y tecnologías han demostrado ayudar en la reducción de carbono.

- Prefabricación y construcción modular, lo que muestra menor impacto de CO₂ que la construcción tradicional.

- Optimización de procesos con BIM y ACV integrados.

4.1.2.3 Energía y emisiones. La gestión de la energía es otro eje importante para disminuir la huella de carbono en edificaciones industrializadas como se presenta a continuación:

- Transición hacia energías renovables en la construcción y operación.
- Reducción del consumo energético mediante eficiencia en diseño.

4.1.2.4 Diseño y optimización estructural. Las decisiones de diseño estructural tienen un impacto directo en el consumo de materiales y, por ende, en la huella de carbono.

- Modularidad y uso de impresión 3D para reducir desperdicios.
- Optimización de secciones para menor consumo de materiales.

4.1.2.5 Gestión económica y política. Finalmente, la dimensión económica y regulatoria aparece como un factor transversal en la implementación de estrategias bajas en carbono.

- Evaluaciones costo–beneficio, inversiones en tecnologías limpias.
- Regulaciones y políticas de urbanización bajas en carbono.

En conjunto, la literatura refleja un campo de investigación dinámico y en expansión, con una marcada orientación hacia la evaluación del ciclo de vida, la industrialización de procesos y la transición energética como vías principales para reducir la huella de carbono. Los parámetros

identificados, materiales sostenibles, procesos constructivos prefabricados, eficiencia energética, innovación tecnológica y viabilidad económica constituyen los ejes determinantes en el camino hacia edificios industrializados de carbono reducido.

4.2 Evaluar la huella de carbono en la fase de producción y construcción mediante declaraciones ambientales (EPD) y el software One Click LCA para el análisis de la cantidad de huella de carbono embebido en el edificio del caso de estudio.

4.2.1 Generalidades del proyecto

4.2.1.1 Propósito y alcance. La reducción integral de la huella de carbono de un edificio exige abordar, en primer lugar, las emisiones embebidas que se generan antes de la ocupación: extracción de materias primas, fabricación de insumos y actividades de obra gruesa (módulos A1–A5 de la norma EN 15804 o EN 15978). Estas emisiones se liberan de manera inmediata e irreversible, representan hoy entre el 40 % y 60 % del impacto climático de edificaciones de alta eficiencia energética y condicionan la capacidad del sector para alinearse con las metas de descarbonización fijadas para 2050. Por ello, el presente capítulo se propone cuantificar la huella de carbono embebida del Edificio Prado Verde durante su fase de producción y construcción, empleando Declaraciones Ambientales de Producto (EPD) como fuente primaria de datos y el software One Click LCA como plataforma de modelado y cálculo comparativo.

Para el análisis de la huella de carbono en la etapa A1-A3 (Producción, transporte y fabricación de materiales) se requiere conocer por parte de la empresa constructora la marca de los materiales utilizados con el fin de identificar las EDP más cercanas al producto (recurso), así mismo las cantidades de materiales utilizadas que son calculadas a partir de los planos estructurales provisto por la constructora.

Para la etapa A4 (transporte) se investiga la ubicación de los proveedores de los materiales dados por la empresa constructora, donde se requiere especialmente las distancias en kilómetros de los diferentes puntos como la fábrica, proveedor local y sitio de la construcción.

Finalmente para la etapa A5 (construcción), se requiere identificar los equipos para la construcción del edificio industrializado con formaleta manoportable, para lo cual es indispensable conocer el tipo de consumo para determinar el impacto en las operaciones de sitio. Esta etapa también contempla los desperdicios de la obra los cuales fueron asumidos según referencias del residente. En la Tabla 1 se puede observar los datos requeridos para el análisis del caso de estudio que fueron solicitados a la empresa constructora y calculados con los planos.

Tabla 1

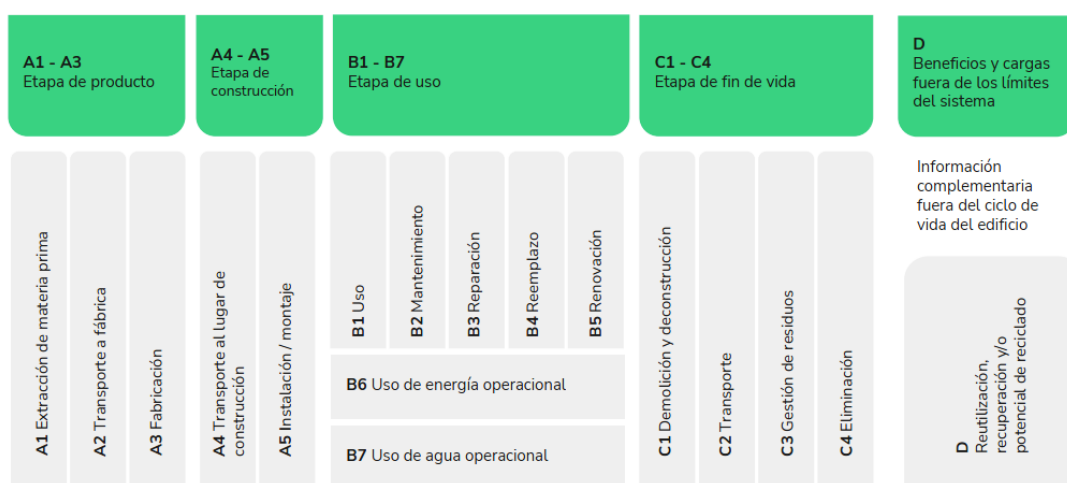
Datos requeridos del caso de estudio

Categoría	Elemento/Actividad	Dato requerido	Unidad/Formato
Proceso constructivo	Sistema de cimentación	- Recursos	- Metros cúbicos (m ³)
		- Tiempo	- Kilogramos (kg)
			- Días (d), Horas (h)
	Super estructura	- Recursos - Tiempo	- Metros cúbicos (m ³) - Kilogramos (kg) - Días (d), Horas (h)
Impacto ambiental de los materiales	Fabricación	Recursos	Kilogramos (kg)
	Transporte	- Tipo de camión	Kilómetros (km)
		- Distancia recorrida	
Equipos de obra	Bomba de concreto	Consumo de combustible	L
	Mezcladora	Potencia nominal	kW
	Pluma grúa	Potencia nominal	kW
	Vibrador eléctrico	Potencia nominal	kW
	Taladro percutor	Potencia nominal	kW

Basado en la Norma EN 15978 la cual describe una metodología estandarizada para la evaluación del comportamiento ambiental de los edificios, se realizará el estudio del Edificio Prado Verde, teniendo en cuenta que solo se abarcará la etapa de producto (A1-A3) y etapa de construcción (A4-A5), llamada “Cradle to site” traducida como de la cuna al sitio. En la Figura 4, se puede observar todas las etapas en obras de construcción contempladas en un análisis de ciclo de vida según la metodología de la norma EN 15978 y NTC-ISO 21931-1.

Figura 4

Etapas del ciclo de vida según EN 15978



Nota. Reproducido de la diapositiva del curso *Bootcamp de ACV de construcción* de One Click LCA (2023a), basada en la norma UNE-EN 15978:2012. Copyright 2023 por One Click LCA

El cálculo de la huella de carbono se centrará en las etapas de producto y construcción, porque “los materiales serán la principal fuente de emisiones de CO₂ en los edificios en el futuro”; de hecho, la eficiencia energética y una producción más limpia ya reducen las emisiones operativas, y en algunos países las emisiones de los materiales superan a las operativas en un horizonte de 50 años. (One Click LCA, 2023a)

One Click LCA se utilizará como herramienta única para importar las cantidades de materiales extraídas del proyecto y del presupuesto del Edificio Prado Verde, vincular cada partida con declaraciones ambientales de producto (EPD) conformes a la EN 15804 la cual esta armonizada con NTC-ISO 21930 y calcular, bajo la metodología EN 15978 (armonizada con NTC-ISO 21931-1), el potencial de calentamiento global (GWP) correspondiente a los módulos A1–A5, es decir, desde la extracción de materias primas hasta la instalación en obra.

One Click LCA permitirá: (a) identificar los materiales y procesos que concentran las mayores emisiones (puntos críticos), (b) evaluar escenarios de sustitución o prefabricación que reduzcan dicho impacto, y (c) generar recomendaciones de diseño y abastecimiento coherentes con los estándares internacionales de Análisis de Ciclo de Vida (ISO 14040/44).

Con el análisis anterior realizado en One Click LCA y tendencias de investigación detectadas en el estudio bibliométrico previo, se sientan las bases para decisiones informadas que, desde el origen del proyecto, maximicen las reducciones de carbono y refuercen la viabilidad ambiental y económica del sistema constructivo industrializado empleado.

4.2.1.2 Descripción estudio de caso. La unidad de análisis es una de las cuatro torres idénticas de la Urbanización Prado Verde, identificada como Edificio Prado Verde, ubicada en el barrio Hatillo, Ocaña, Norte de Santander (ver Figura 5) y construida con un sistema industrializado in situ mediante formaleta tipo manoportable. Es un edificio residencial de 4 pisos, con 16 unidades habitacionales y 732,12 m² de área construida, ejecutado entre 2020 y 2021 por Pradoverde S.A.S (ver Figura 6).

Figura 5

Ubicación edificio Prado verde



Nota. La figura muestra la urbanización Prado Verde en la cual se encuentra el Edificio caso de estudio. Imagen adaptada de Google Maps (2025)

Figura 6

Edificio Prado verde actualmente

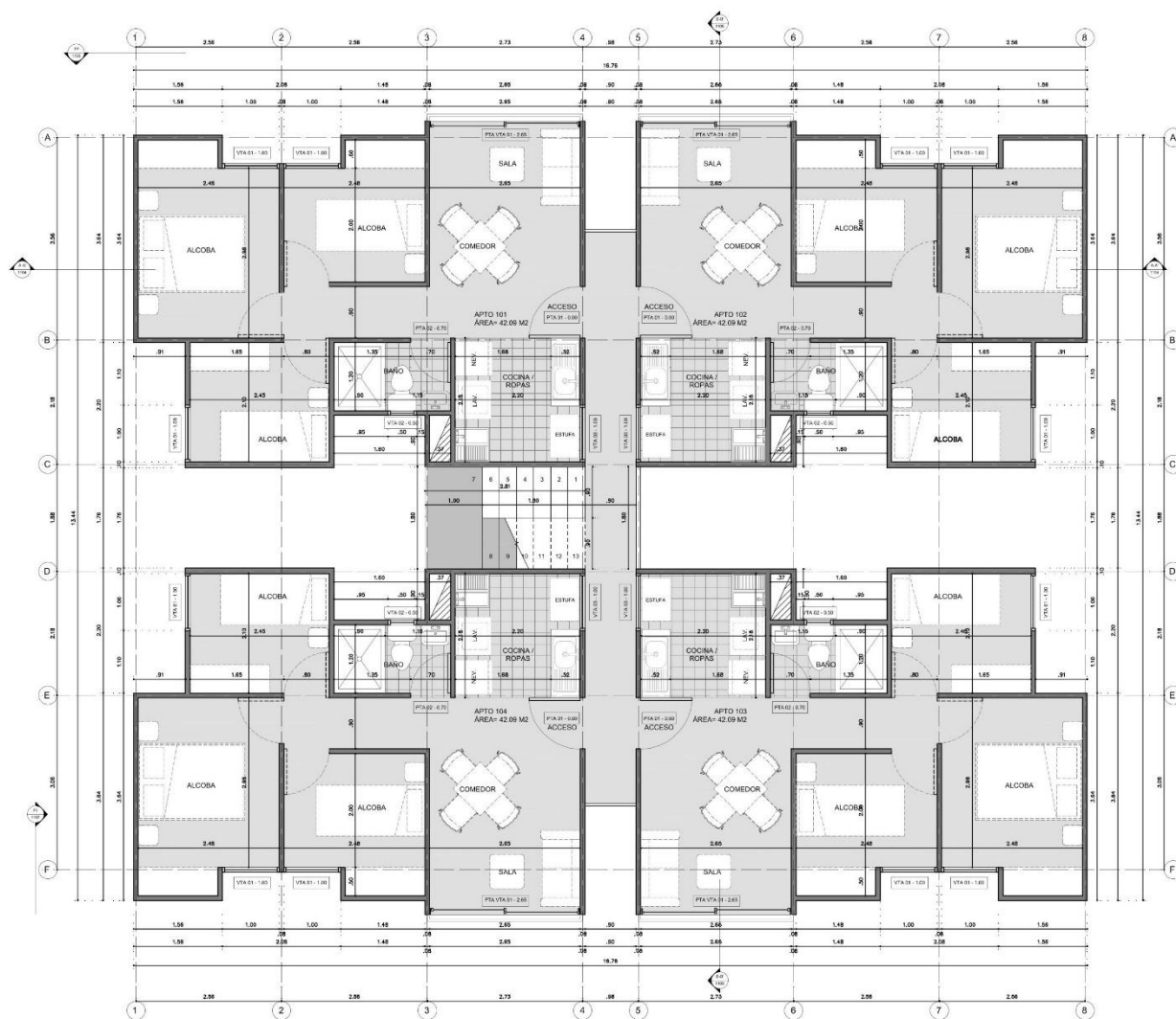


Nota. Fotografía propia tomada el 06 de julio de 2025

Arquitectónicamente el edificio cuenta con 4 pisos conformando cada piso por 4 apartamentos y un área común con alturas de entrepiso de 2.50 m. En la Figura 7 se puede observar la planta arquitectónica tipo del edificio.

Figura 7

Planta arquitectónica tipo del edificio Prado verde

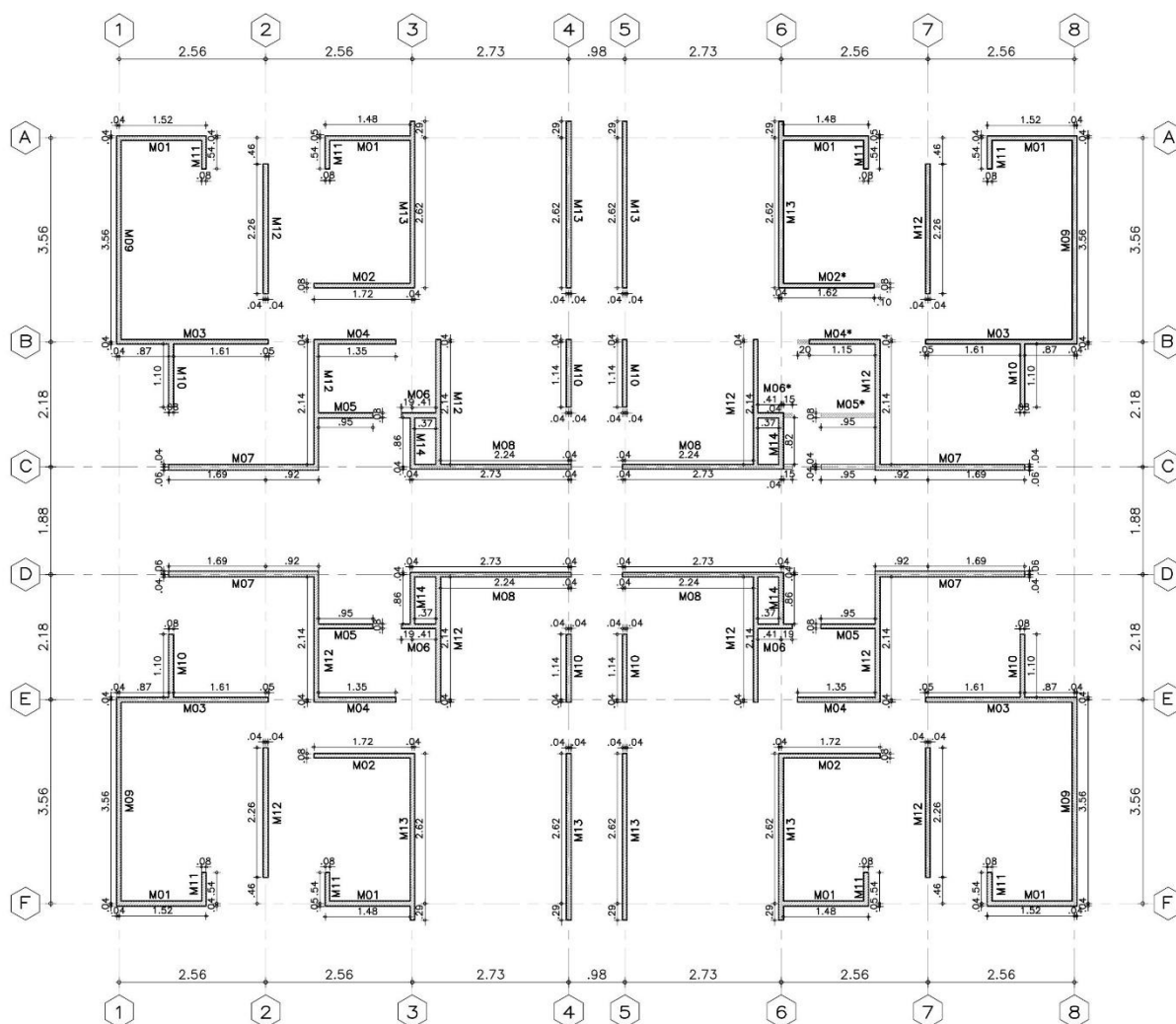


Nota. Imagen proporcionada por la Constructora Pradoverde S.A.S (2024)

El edificio Prado verde como se mencionó anteriormente, está construido con un sistema industrializado consistente en un sistema estructural de muros de carga de concreto reforzado con capacidad de disipación de energía moderada (DMO). En la Figura 8, se puede observar la planta estructural típica del edificio, donde se evidencia la configuración de los muros estructurales de concreto reforzado.

Figura 8

Planta estructural típica del edificio Prado verde

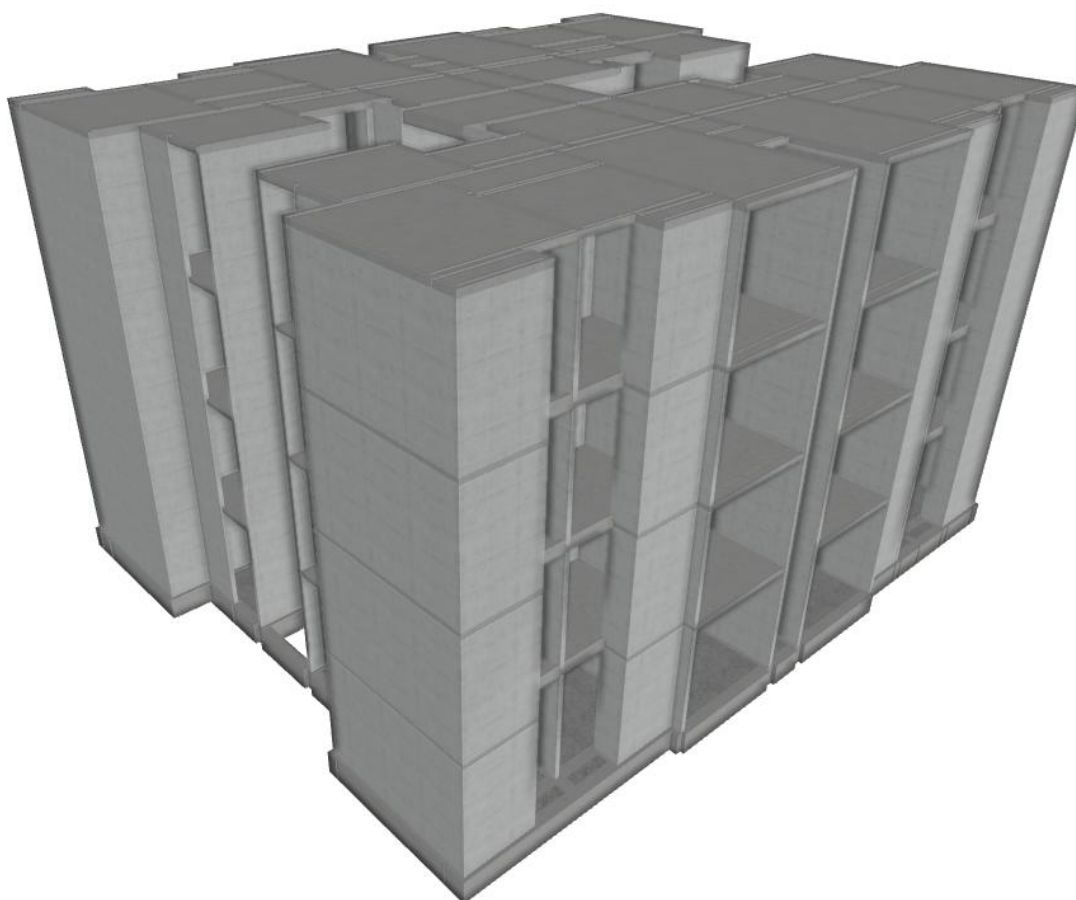


Nota. Imagen proporcionada por la Constructora Pradoverde S.A.S (2024)

4.2.1.3 Inventario de cantidades. Para el cálculo de la huella de carbono del estudio de caso, se requiere información de los procesos constructivos y de los materiales, los cuales fueron suministrados por la empresa constructora. Es de tener en cuenta que para el análisis del estudio de caso se considera los procesos constructivos y materiales perteneciente al sistema estructural de la cimentación y los elementos estructurales de la super estructura (ver Figura 9), siendo estos los que concentran la mayor parte del carbono embebido.

Figura 9

Modelo en CypeCAD de la estructura



Nota. Modelo estructural en CypeCAD (2026.b) empleado para cuantificar acero y concreto de las vigas de cimentación y validar las cantidades estimadas en Excel.

Los materiales considerados en el análisis son aquellos pertenecientes al concreto reforzado de los elementos estructurales. Así mismo, para la etapa de construcción se incluyen los equipos necesarios para los procesos constructivos, los cuales tienen una implicación directa en el consumo de energía.

La Tabla 2 resume las cantidades de la estructura derivadas de los planos estructurales; dichos valores constituyen el punto de partida para identificar los materiales que inciden en el impacto ambiental del proceso constructivo del edificio.

Tabla 2

Cantidades de concreto y acero de refuerzo

Elemento	Descripción	Cantidad	Unidad	Piso
Vigas de cimentación	Concreto reforzado 21 MPa (3000 psi)	29,35	m ³	Cimentación
Placa de cimentación	Concreto reforzado 21 MPa (3000 psi)	22,10	m ³	Cimentación
Muros	Concreto reforzado 24.5 MPa (3500 psi)	115,44	m ³	Piso 1 a Cubierta
Placa de entrepiso y cubierta	Concreto reforzado 21 MPa (3000 psi)	66,31	m ³	Piso 2 a Cubierta
Vigas y dinteles	Concreto reforzado 21 MPa (3000 psi)	6,05	m ³	Piso 2 a Cubierta
Escaleras	Concreto reforzado 21 MPa (3000 psi)	3,21	m ³	Piso 1 a Piso 4
Acero de refuerzo	Malla electrosoldada de 420 MPa (60000 psi)	12.020,12	kg	Piso 1 a Cubierta
Acero de refuerzo	Acero de refuerzo de 420 MPa (60000 psi)	12.052,81	kg	Piso 1 a Cubierta
Acero de refuerzo	Acero de refuerzo de 240 MPa (34000 psi)	360,98	kg	Piso 2 a Cubierta

Para determinar el tipo de concreto predominante en la obra, la Tabla 3 y la Figura 10 resumen la distribución de volúmenes. Ambos muestran que el concreto de 21 MPa (3000 psi) es el más empleado con el 52% el cual es utilizado en la cimentación, placas de entrepisos y

cubierta, vigas y dinteles y escaleras, aunque no hay una diferencia significativa con el concreto de 24.5 MPa (3500 psi) con el 48% utilizado en los muros.

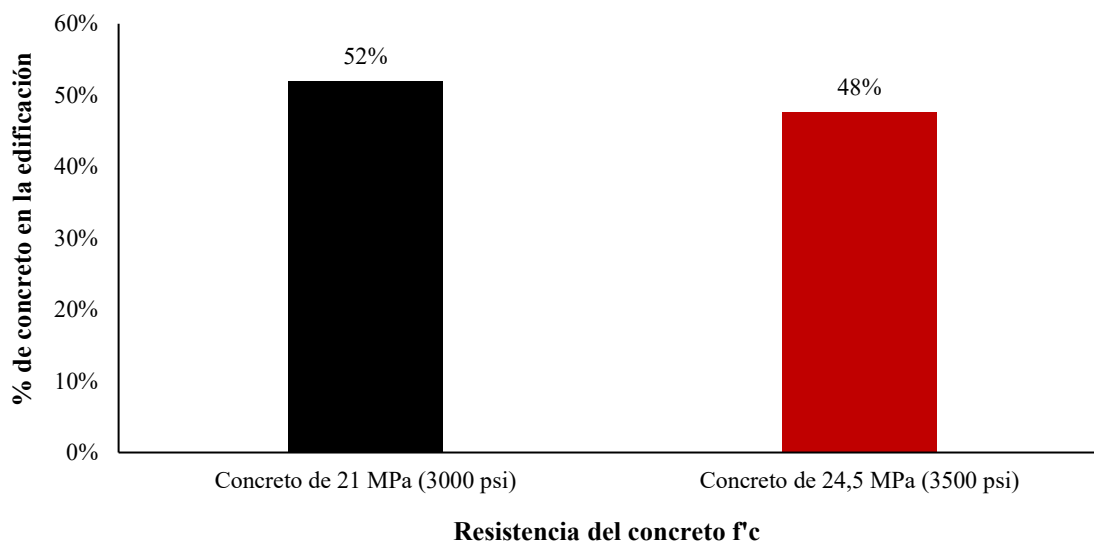
Tabla 3

Cantidad total de concreto

Tipo de concreto	Cantidad	Unidad	Porcentaje
Concreto de 21 MPa (3000 psi)	127,02	m ³	52%
Concreto de 24,5 MPa (3500 psi)	115,44	m ³	48%
Total	242,46	m ³	100%

Figura 10

Cantidad de concreto en porcentaje según la resistencia



El proyecto contempla 242,46 m³ de concreto y 24 433,91 kg de acero de refuerzo, lo que representa un índice de 100,78 kg de acero por metro cúbico de concreto, incluyendo tanto malla electrosoldada como barras de diámetros de 1/4", 3/8", 1/2" y 5/8". En el Apéndice B, se puede consultar las memorias de cálculo de las cantidades del proyecto.

4.2.1.4 Proveedores de materiales y equipos. Para el análisis del estudio de caso se tiene en cuenta los diferentes proveedores de materiales y equipos que intervinieron en la construcción del edificio. En la Tabla 4, se puede observar tanto los proveedores como su ubicación de las cuales algunas fueron suministrada por la empresa constructora del proyecto y otras consultadas según página Web del proveedor

Tabla 4

Proveedores o referencia de plantas para materiales y equipos

Categoría	Ítem o material	Proveedor/Referencia	Ubicación
Equipo	Formaleta	FORMADCOL	Pie de cuesta, Santander
	Bomba de concreto	24-7 CONEQUIPOS S.A.S	Ocaña, Norte de Santander
	Mezcladora	24-7 CONEQUIPOS S.A.S	Ocaña, Norte de Santander
	Pluma grúa	24-7 CONEQUIPOS S.A.S	Ocaña, Norte de Santander
	Vibrador eléctrico	24-7 CONEQUIPOS S.A.S	Ocaña, Norte de Santander
	Taladro percutor	24-7 CONEQUIPOS S.A.S	Ocaña, Norte de Santander
Transporte de concreto	Concreto	In situ	In situ
Transporte de acero	Malla electrosoldada	Planta productiva DIACO (Siderúrgica)	Carretera central del Norte km 27, Vía Tunja - Paipa
	Acero de refuerzo barra	Planta productiva DIACO (Siderúrgica)	Carretera central del Norte km 27, Vía Tunja - Paipa
Transporte de cemento	Cemento	Cemento ALIÓN	Km 95 + 800 m Autopista Medellín – Bogotá, Municipio Sonsón, Antioquia
Transporte de aditivo	Acelerante	Sika Colombia S.A.S Planta Tocancipá	Avenida Celta # 20-50 km 2.5 Vía Bogotá - Tunja
Transporte de agregados	Agregado fino	PROVIAS E.A.T	Km 13 Vía Ocaña - Cúcuta
	Agregado grueso	PROVIAS E.A.T	Km 13 Vía Ocaña - Cúcuta

4.2.2 Parámetros para el análisis de la huella de carbono

Los datos seleccionados para un ACV dependen del objetivo y el alcance del estudio. Estos datos se pueden recopilar de los sitios de producción asociados con los procesos unitarios dentro de los límites del sistema o se pueden obtener o calcular de otras fuentes. En la práctica, todos los datos pueden incluir una mezcla de datos medidos, calculados o estimados. (ICONTEC, 2021b)

Para el presente estudio la unidad funcional se definió según NTC-ISO 14044 (2021b) como el “rendimiento cuantificado de un sistema de producto usado como unidad de referencia”. Sirve para que todos los datos y resultados del estudio se expresen respecto de esa referencia con claridad.

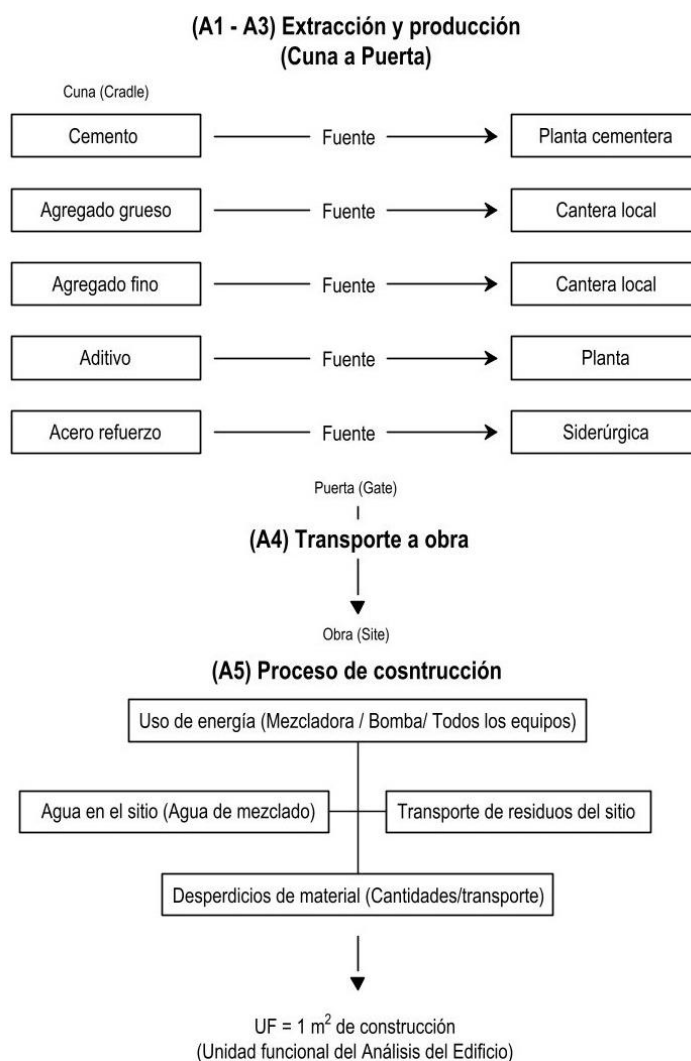
Así mismo, el límite del sistema la NTC-ISO 14044 (2021b) lo define como “Límite basado en un conjunto de criterios que especifican que procesos unitarios son parte de un sistema en estudio”, lo que ayuda que todos los procesos para el análisis de las diferentes etapas estudiadas sean coherentes, transparentes y comparables.

La Figura 11 ilustra los límites del sistema definidos para el cálculo de la huella de carbono embebido (módulos A1–A5) del concreto estructural empleado en el Edificio Prado Verde. El esquema adopta la convención EN 15804/EN 15978 y cubre, de modo integral, los módulos A1 – A5: desde la extracción y fabricación de cada insumo (cemento, agregados, agua, aditivos y acero de refuerzo) hasta el transporte a obra y el proceso de mezclado in situ, incluido

el desperdicio asociado. Con ello se cuantifica el carbono embebido inicial ligado a la producción y puesta en obra del edificio para finalmente obtener los kgCO₂e por metro cuadrado (m²), unidad funcional, que sirve de referencia para comparar alternativas y estrategias de reducción. Las fases de uso, mantenimiento y fin de vida (módulos B y C) quedan fuera del alcance, dado que el objetivo del estudio es evaluar el impacto previo a la ocupación del edificio.

Figura 11

Diagrama que ilustra el límite del sistema de módulos A1–A5



Nota. Elaboración propia basada en la EN 15804 (módulos A1-A5) y la NTC-ISO 21930 (2021e)

Para cuantificar la huella de carbono de cada material y equipo se recurre a One Click LCA, cuyo inventario incorpora Declaraciones Ambientales de Producto (EPD) verificadas y, cuando existen, regionalizadas para Colombia.

Para garantizar la coherencia metodológica y la trazabilidad de los resultados, se establecieron criterios de selección y jerarquía de datos que rigen todo el inventario de materiales y equipos. Estos criterios definen, en orden de prioridad, qué fuentes se emplean (EPD específicas y bases genéricas) y cómo se ajustan a la realidad constructiva del municipio. A continuación, se describen las condiciones adoptadas para cada categoría de información y los supuestos que permiten convertirlas en factores de huella de carbono comparables.

Si existe una EPD específica del proveedor, se asigna directamente al ítem; de lo contrario, se selecciona la ficha genérica que mejor refleje la tecnología y el factor de clínker o de reciclaje correspondiente.

En el caso de los agregados y el agua locales, se eligen perfiles equivalentes (arena y grava trituradas, agua potable de red) que representen la composición y la distancia media de acarreo en la región.

El resultado es una estimación de referencia: permite identificar los puntos críticos de carbono embebido de un edificio industrializado en el municipio, con la premisa de que la precisión mejorará a medida que se disponga de datos de obra (dosificaciones reales, rutas logísticas y EPD de proveedores locales).

4.2.3 Materiales de construcción (Para módulo A1-A3)

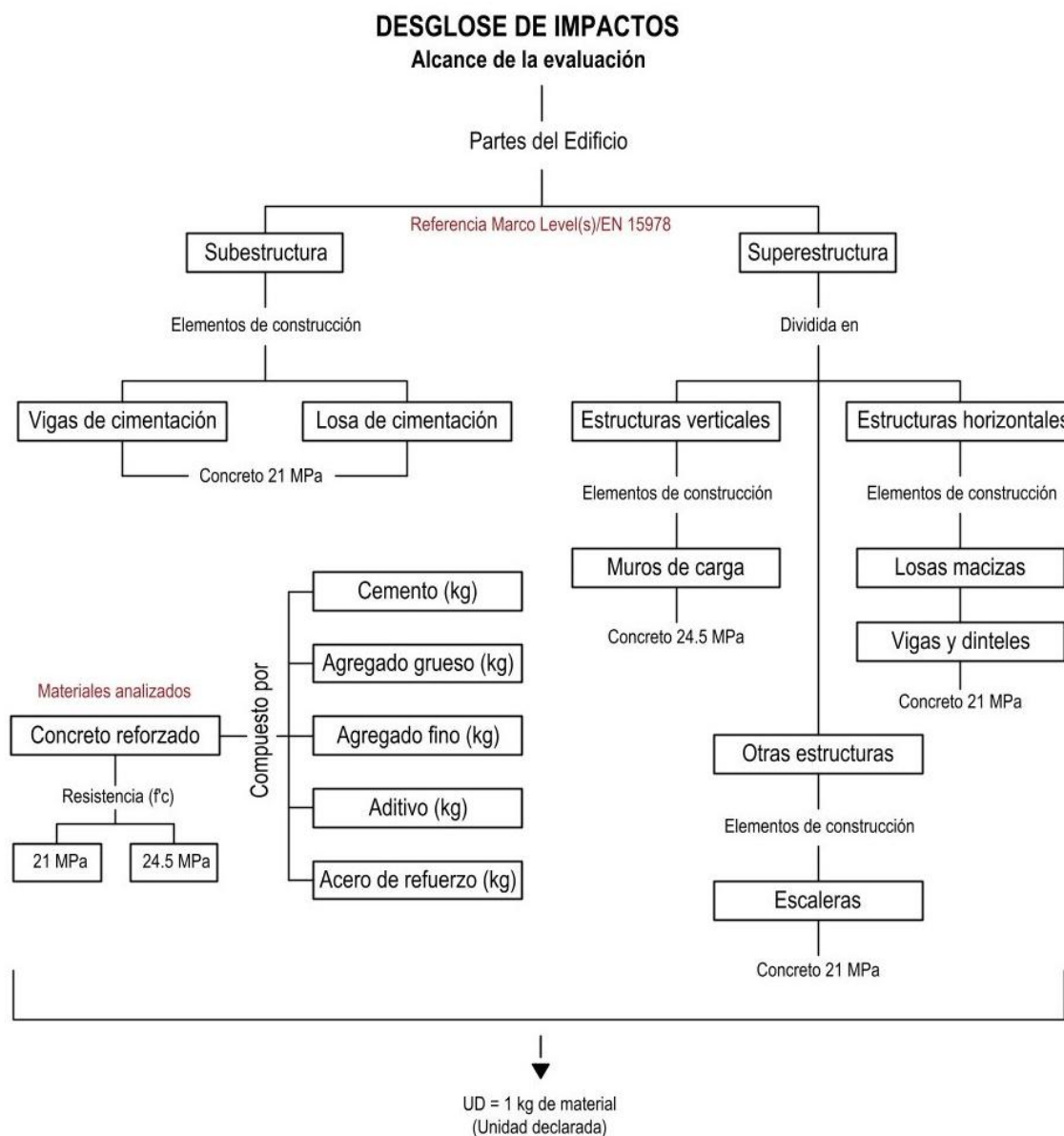
Para estimar la huella de carbono del proyecto se dividió el concreto reforzado por elementos estructurales agrupados dentro de partes de la estructura y se calcularon las cantidades de cemento, agregado grueso, agregado fino, aditivo, agua y acero de refuerzo correspondientes. De este modo se logra una aproximación más precisa en One Click LCA, empleando para cada insumo la EPD disponible más cercana a la realidad colombiana (véase la Tabla 7).

Es de tener en cuenta que One Click LCA a la hora de calcular la cantidad de CO₂e de cada material tiene como referencia los módulos A1-A3. En la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para productos de construcción, regulada por EN 15804 y reportada luego por EN 15978 a escala de edificio, los tres primeros sub-módulos (A1, A2 y A3) describen todo lo que ocurre “de la cuna a la puerta” (cradle-to-gate). En la práctica se agrupan como A1-A3 porque, sumados, representan la huella de carbono (y los demás impactos) antes de que el producto salga de fábrica.

En la Figura 12 se muestra el desglose para la evaluación de impactos ambientales del edificio con referencia a Level(s)/EN 15978, que muestra, desde el alcance global de la evaluación, la secuencia parte del edificio, elemento constructivo y materiales que componen el concreto reforzado excepto el agua que será considerado en la etapa A5 como uso de agua (agua de mezclado). Todas las cantidades se expresaron en kilogramos, unidad que facilita la compatibilidad y el procesamiento dentro de la herramienta.

Figura 12

Desglose de la estructura para la evaluación del impacto (módulo A1-A3)



Para cuantificar los insumos necesarios en el análisis se requiere conocer las proporciones de los materiales que componen el concreto reforzado. Con este propósito se tomaron las propiedades aproximadas de los agregados disponibles en Ocaña, obtenidas de dos trabajos de investigación (véase Apéndice C); se asume que, en la práctica, dichas características no varían de forma significativa.

El diseño de la mezcla se realizó con el programa Di-Mez v1.0, desarrollado por el grupo de investigación GIGMA de la Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña, el cual sigue el procedimiento del ACI 211.1 (Apéndice D).

Considerando un agregado grueso de TMN 1/2", asentamiento de 15 cm y sin aire incorporado, se obtuvieron las cantidades que se presentan en la Tabla 5 para 1 m³ de concreto, diferenciadas según la resistencia específica.

Tabla 5

Proporción de materiales para 1 m³ de concreto

Resistencia (f'c)	Unidad referencia	Material	Cantidad	Unidad	Descripción
21 MPa	1 m ³	Cemento	428	kg	Cemento Portland
		Grava	786,46	kg	Agregado de cantera
		Arena	945,33	kg	Agregado de cantera
		Agua	213,51	kg	Agua de acueducto local
		Aditivo	6,42	kg	Producto Sika
24,5 MPa	1 m ³	Cemento	475	kg	Cemento Portland
		Grava	786,46	kg	Agregado de cantera
		Arena	904,31	kg	Agregado de cantera
		Agua	213,33	kg	Agua de acueducto local
		Aditivo	7,13	kg	Producto Sika

Con el fin de que el software identifique parámetros de materiales como la clase, la cantidad y la unidad como datos más importantes de los materiales se descarga desde la plataforma de One Click LCA el template “OCL_import_form_Building_Metric_v1_11” donde se organizaron los materiales de los elementos estructurales según esquema de la Figura 12. A continuación, en la Tabla 6 se presentan las cantidades de materiales totales y columnas más representativas del formato utilizado para la importación de datos a One Click LCA.

Tabla 6*Materiales de construcción para importación en One Click LCA*

CLASS	IFCMATERIAL	QUANTITY	QTY_TYPE
FOUNDATION	Cement - Cast-in-place concrete - 21 MPa	22020,6	KG
FOUNDATION	Fine aggregate- Cast-in-place concrete - 21 MPa	48637,23	KG
FOUNDATION	Coarse aggregate- Cast-in-place concrete - 21 MPa	40463,37	KG
FOUNDATION	Additive - Cast-in-place concrete - 21 MPa	330,31	KG
FOUNDATION	Reinforcement steel	5968,84	KG
LOAD BEARING WALLS	Cement - Cast-in-place concrete - 24,5 MPa	54833,25	KG
LOAD BEARING WALLS	Fine aggregate- Cast-in-place concrete - 24,5 MPa	104392,11	KG
LOAD BEARING WALLS	Coarse aggregate- Cast-in-place concrete - 24,5 MPa	90787,7	KG
LOAD BEARING WALLS	Additive - Cast-in-place concrete - 24,5 MPa	823,08	KG
LOAD BEARING WALLS	Reinforcement steel	11251,22	KG
STAIRS	Cement - Cast-in-place concrete - 21 MPa	1372,85	KG
STAIRS	Fine aggregate- Cast-in-place concrete - 21 MPa	3032,24	KG
STAIRS	Coarse aggregate- Cast-in-place concrete - 21 MPa	2522,65	KG
STAIRS	Additive - Cast-in-place concrete - 21 MPa	20,59	KG
STAIRS	Reinforcement steel	295,05	KG
BEAM	Cement - Cast-in-place concrete - 21 MPa	2590,53	KG
BEAM	Fine aggregate- Cast-in-place concrete - 21 MPa	5721,74	KG
BEAM	Coarse aggregate- Cast-in-place concrete - 21 MPa	4760,16	KG
BEAM	Additive - Cast-in-place concrete - 21 MPa	38,86	KG
BEAM	Reinforcement steel	1336,53	KG
SLAB	Cement - Cast-in-place concrete - 21 MPa	28380,76	KG
SLAB	Fine aggregate- Cast-in-place concrete - 21 MPa	62685,01	KG
SLAB	Coarse aggregate- Cast-in-place concrete - 21 MPa	52150,31	KG
SLAB	Additive - Cast-in-place concrete - 21 MPa	425,71	KG
SLAB	Reinforcement steel	5582,28	KG

Nota. De la tabla se excluye el agua, ya que este se incluye en la etapa A5 como agua de uso.

Totales = Cantidades de obra (Tabla 2) × Cantidad dosificada (Tabla 5). Adaptado de la plantilla en Excel “OCL_import_form_Building_Metric_v1_11” de One Click LCA (2022).

Se diligenció la plantilla en inglés para facilitar el reconocimiento por parte del software de los parámetros y asigne de manera más precisa los recursos disponibles en su base de datos, dado que la mayoría de las EPD allí incorporadas se encuentran en ese idioma.

La Tabla 7 resume los criterios de obtención y priorización de datos aplicados en este estudio para cada material considerado. En ella se identifica la fuente primaria utilizada (EPD específica o conjunto genérico de One Click LCA), el tipo de información que aporta al inventario (perfil ACV) y el grado de representatividad local que se logra con cada selección.

Tabla 7

Origen del recurso para el cálculo de kg CO₂e de los materiales

Insumo	Tipo de dato	Software / Fuente	Referencia del recurso	País/Año	Impacto kgCO ₂ e/kg
Cemento	ACV	One Click LCA (Genérico)	Blast furnace cement, generic, CEM III/A, 50% GGBS content (One Click LCA)	Colombia/2024 (No se ajusta)	0,65
Arena	ACV	One Click LCA (EPD)	Sand used in industries, concrete and asphalt (Spaansen Industriezand en -grind B.V.)	Netherlands/2024 Ajuste Colombia	0,0036
Grava	ACV	One Click LCA (Genérico)	Crushed rock, 8–16 mm, 1680 kg/m ³ (One Click LCA)	Colombia/2025	0,0043
Aditivo	ACV	One Click LCA (EPD)	Concrete admixture - set accelerators, 1-1.6 g/ml (EFCA)	Europe/2015 Ajuste Colombia	1,31
Acero ref.	ACV	One Click LCA (EPD)	Reinforcement steel (rebar), manufacturers average, 7850 kg/m ³ (Gerdau)	World/2021 Ajuste Colombia	0,77

Nota. Se emplearon factores de impacto de los materiales más cercanos a la oferta nacional; por ejemplo, para el cemento se basó en una fuente cercana al impacto identificado en el Informe de Sostenibilidad Alión 2024 por esta razón no se hizo ajuste a Colombia.

En la Tabla 7, la sigla ACV significa Análisis de Ciclo de Vida que indica que la información que se utiliza para ese insumo proviene de una fuente con inventario ambiental

completo (base de datos One Click LCA), es decir, ya incluye los flujos de materia y energía y los impactos (kg CO₂ e) para los módulos A1-A3.

En la Tabla 7 los impactos se expresan en kg CO₂e por unidad declarada en kilogramo de material (kg CO₂e/kg), porque las cantidades importadas al software están igualmente en kilogramos (kg). Para calcular la huella de carbono total, el programa multiplica automáticamente el factor de emisión de cada material por su respectiva masa.

4.2.4 Transporte a la construcción (Para módulo A4)

Para calcular el impacto ambiental del transporte a la construcción para el módulo A4 es necesario analizar los recorridos determinando distancias y tipo de transporte utilizado en cada trayecto.

Este módulo incluye el transporte de productos y embalajes desde la planta de producción del fabricante hasta la obra. Es necesario identificar la ubicación de las instalaciones y el modo de transporte. Existen diversos escenarios: principalmente, si un producto se ha vendido a una ubicación específica o si el impacto del transporte depende del número de ubicaciones según los datos de ventas. Si solo se considera una ubicación, se debe identificar el modo de transporte (también se puede utilizar la distancia promedio y el modo de transporte) y calcular la distancia. Utilice fuentes fiables para calcular la distancia según el modo de transporte (barco, camión, etc.). (One Click LCA, 2025b)

Para el cálculo de los recorridos en kilómetros (km) se tuvo en cuenta según el material analizado de uno a dos tipos de trayectos o tramos. A continuación, se describe cada uno de los tramos tenidos en cuenta en la cadena de transporte:

Primer tramo (leg 1). Abarca el recorrido desde la planta de fabricación del material hasta el centro de acopio del proveedor en Ocaña, ubicado sobre la Avenida Circunvalar, zona donde suelen concentrarse los mayoristas y bodegas de almacenamiento de materiales de construcción que llegan al municipio.

Es de tener en cuenta que no siempre el leg1 terminará en la avenida Circunvalar, en algunos casos como para los agregados, el trayecto terminará en el sitio de la construcción ubicado en el barrio El Hatillo del municipio de Ocaña.

Este leg1, según NTC-ISO 21930 (2021e) lo define como “A4, transporte desde la puerta de la fábrica hasta el almacén central o los depósitos intermedios, si corresponde”.

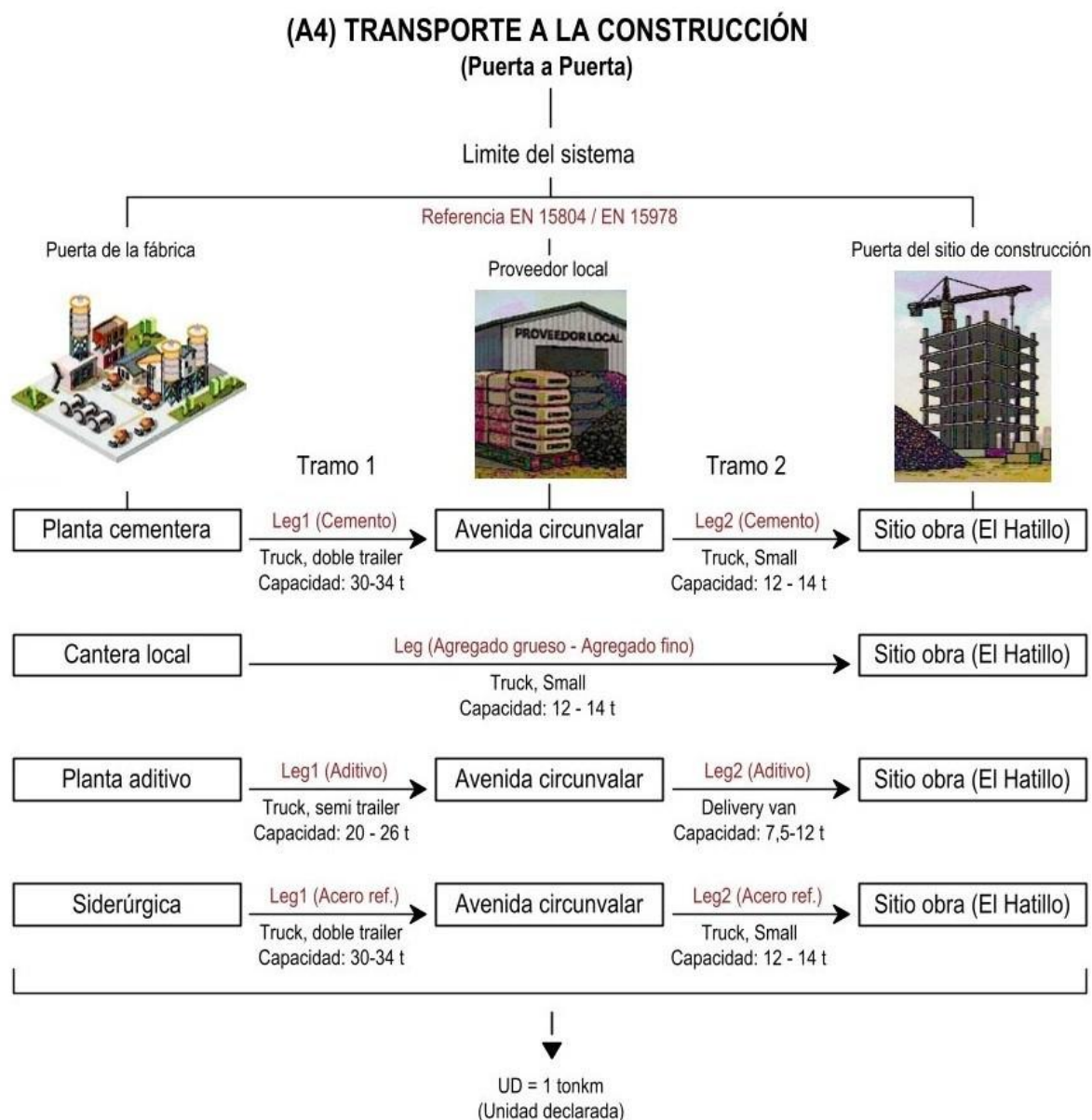
Segundo tramo (leg 2). Se extiende desde ese centro de acopio en la Avenida Circunvalar hasta el sitio de la construcción situado en el barrio El Hatillo, también ubicado en el municipio de Ocaña, Norte de Santander. Este leg2 según NTC-ISO 21930 (2021e) lo define como “A4, transporte hasta la obra”.

En la Tabla 8 se puede apreciar a detalle los datos asumidos para el cálculo de cada uno de los recorridos y la ubicación de cada sitio.

En la Figura 13 se muestra el límite del sistema descrito anteriormente, la cadena completa de transporte y el tipo de vehículo asignado a cada tramo, definidos de acuerdo con el material transportado y la distancia recorrida.

Figura 13

Límite del sistema para el módulo A4



Nota. Elaboración propia con apoyo de imágenes generadas por IA (OpenAI, 2025)

Tabla 8*Detalle de transporte para el cálculo del módulo A4*

Ubicación de planta cementeras y siderúrgica más cercanas a Ocaña								
Datos fabricante			Transporte 1 (leg1)			Transporte 2 (leg2)		
Empresa	Planta (Tipo)	Dirección oficial	Tipo de camión	Recorrido	Kilómetros	Tipo de camión	Recorrido	Kilómetros
ALIÓN	Planta Sonsón (Integrada, la más moderna del país)	Km 95 + 800 m Autopista Medellín - Bogotá, vereda Río Claro, municipio Sonsón, Antioquia	Truck-double trailer, 30-34 ton, E5 (2018)	Planta cementera Alión - Ruta del sol sector 2 – Avenida Circunvalar Ocaña, Norte de Santander	450	Truck, small, 12- 14 ton, E5 (2018)	Av. Circunvalar - Barrio El Hatillo, Ocaña Norte de Santander	4,5
DIACO	Planta productiva (Siderúrgica)	Carretera central del Norte km 27, Vía Tunja - Paipa	Truck-double trailer, 30-34 ton, E5 (2018)	Siderúrgica – Bucaramanga, Santander – Avenida Circunvalar Ocaña, Norte de Santander	507	Truck, small, 12- 14 ton, E5 (2018)	Av. Circunvalar - Barrio El Hatillo, Ocaña Norte de Santander	4,5
EAT PROVIAS (Agregado fino)	EAT PROVIAS	Km 13 Vía Ocaña - Cúcuta	Truck, small, 12- 14 ton, E5 (2018)	km 13 (Vía Ocaña - Cúcuta) - EL Hatillo, Ocaña Norte de Santander	19,2	N/A	N/A	N/A
EAT PROVIAS (Agregado grueso)	EAT PROVIAS	Km 13 Vía Ocaña - Cúcuta	Truck, small, 12- 14 ton, E5 (2018)	km 13 (Vía Ocaña - Cúcuta) - EL Hatillo, Ocaña Norte de Santander	19,2	N/A	N/A	N/A
SIKA	Sika Colombia S.A.S Planta Tocancipá	Avenida Celta # 20- 50 km 2.5 Vía Bogotá - Tunja	Truck, semi trailer, 20-26 ton, E5 (2018)	Planta SIKA - Circunvalar Ocaña, Norte de Santander	601	Delivery van, 7.5-12 ton, E5 (2018)	Av. Circunvalar - Barrio El Hatillo, Ocaña Norte de Santander	4,5

Nota. La tabla presenta las distancias obtenidas en Google Maps y los vehículos seleccionados en One Click LCA (2025).

Para estimar el impacto del transporte en el módulo A4, One Click LCA sigue una secuencia automática: primero asocia cada material con un perfil de vehículo apropiado; en el ejemplo que se presenta a continuación, el recurso es un “Cemento de alto horno, CEM III/A, 50 % GGBS” y el perfil asignado corresponde a un camión Truck, double trailer, 30-34 ton, E5 (dataset EN 15804 +A1, año 2018) cuyo factor de emisión ya viene definido por tonelada-kilómetro. A continuación, el software lee dos entradas que se introdujeron como usuario, la masa y la distancia recorrida, y realiza los cálculos necesarios para la cantidad de kgCO₂e. A continuación, se presenta el cálculo del impacto GWP tomado de One Click LCA para el cemento del concreto utilizado para los muros de carga:

Recurso(s):

Cemento de alto horno, genérico, CEM III/A, 50% GGBS content, One Click LCA

Perfil de cálculo asignado:

Perfil utilizado: Truck, double trailer, 30-34 ton, E5, EN15804+A1, ref. year 2018, LKW-Zug, -

Impacto ambiental según el documento original: 0.0644433149438531 kg CO₂e / tonkm

(impactGWP100_kgCO₂e)

Cálculo de cantidad:

Masa introducida por el usuario: 54833.25 kg

Distancia de transporte: 450.0 km

Resultado:

Total tonkm: $54833.25 \text{ kg} * 450.0 \text{ km} / 1000 = 24674.96 \text{ tonkm}$ (Transporte)

Impactos totales: $24674.96 * 0.0644 \text{ kg CO}_2\text{e} = 1590.14 \text{ kg CO}_2\text{e}$ (Transporte - GWP /

impactGWP100_kgCO₂e)

Además del traslado de los materiales principales, se incluyeron en el módulo A4 los desplazamientos de ida y retorno de las formaleas industrializadas alquiladas a un proveedor del municipio de Pie Cuesta (Santander). La Tabla 9 resume las características de las formaleas y los parámetros de transporte empleados en el cálculo con el programa One Click LCA.

Tabla 9

Características de formalea y datos de transporte

Elemento	Dimensiones	Peso	Cantidad/piso	Peso/piso	Distancia	Transporte
Losa	2.40 m x 0.40 m	26 kg	159	4134 kg		
Muro	2.40 m x 0.40 m	26 kg	752	19552 kg	234 km	Truck, double trailer, 30-34 ton, E5
Peso adicional por plataforma, cerchas y accesorios				12941 kg		
Total de peso de formaleas por piso alquiladas				36627 kg	Peso y distancia de un solo recorrido	

La Tabla 10 muestra el factor de impacto de transporte según el perfil definido en One Click LCA, asociado a cada tipo de camión considerado. La selección del vehículo se basó en su capacidad de carga y en su similitud con el tipo de transporte más frecuente empleado en Colombia para trasladar los distintos materiales.

Tabla 10

Perfil e impacto del transporte de materiales

Referencia del perfil	Software / Fuente	País/Año	Descripción	Impacto kgCO ₂ e/tonkm
Truck-double trailer, 30-34 ton, E5	One Click LCA (OKOBAUDAT)	Alemania/2020	Transporte del cemento (leg1)	0,0644
			Transporte de acero (leg1)	
			Transporte de formalea (leg1)	

Referencia del perfil	Software / Fuente	País/Año	Descripción	Impacto kgCO2e/tonkm
Truck, Small, 12 – 14 ton, E5	One Click LCA (OKOBAUDAT)	Alemania/2020	Transporte de agregado grueso (leg)	0,1289
			Transporte de agregado fino (leg)	
			Transporte del cemento (leg2)	
			Transporte de acero (leg2)	
Truck, semi trailer, 20-26 ton, E5	One Click LCA (OKOBAUDAT)	Alemania/2020	Transporte de aditivo (leg1)	0,0897
Delivery van, 7.5-12 ton, E5	One Click LCA (OKOBAUDAT)	Alemania/2020	Transporte de aditivo (leg2)	0,2277

Nota. El módulo A4 se modeló con un conjunto de datos LCI genérico de transporte por carretera de la base ÖKOBAUDAT integrada en One Click LCA.

4.2.5 Proceso de instalación/construcción (Para módulo A5)

Según EN 15978, los impactos asociados a las actividades de construcción en el sitio se reportan en el módulo A5 del ACV a nivel edificio. En concordancia, One Click LCA divide el A5 en energía utilizada en obra, agua utilizada en obra, desperdicios de materiales y gestión y transporte de residuos/embalajes. A nivel metodológico para evaluación de edificios, puede consultarse también ISO 21931-1, adoptada en Colombia como NTC-ISO 21931-1:2022. En la Figura 14 se presenta el límite del sistema adoptado para el módulo A5 del caso de estudio y, a continuación, se describe su subdivisión.

Submódulo A5a. Operaciones del sitio y manejos de desechos del sitio, el cual cubre combustible/electricidad de equipos y manejo interno de residuos como acopios temporales.

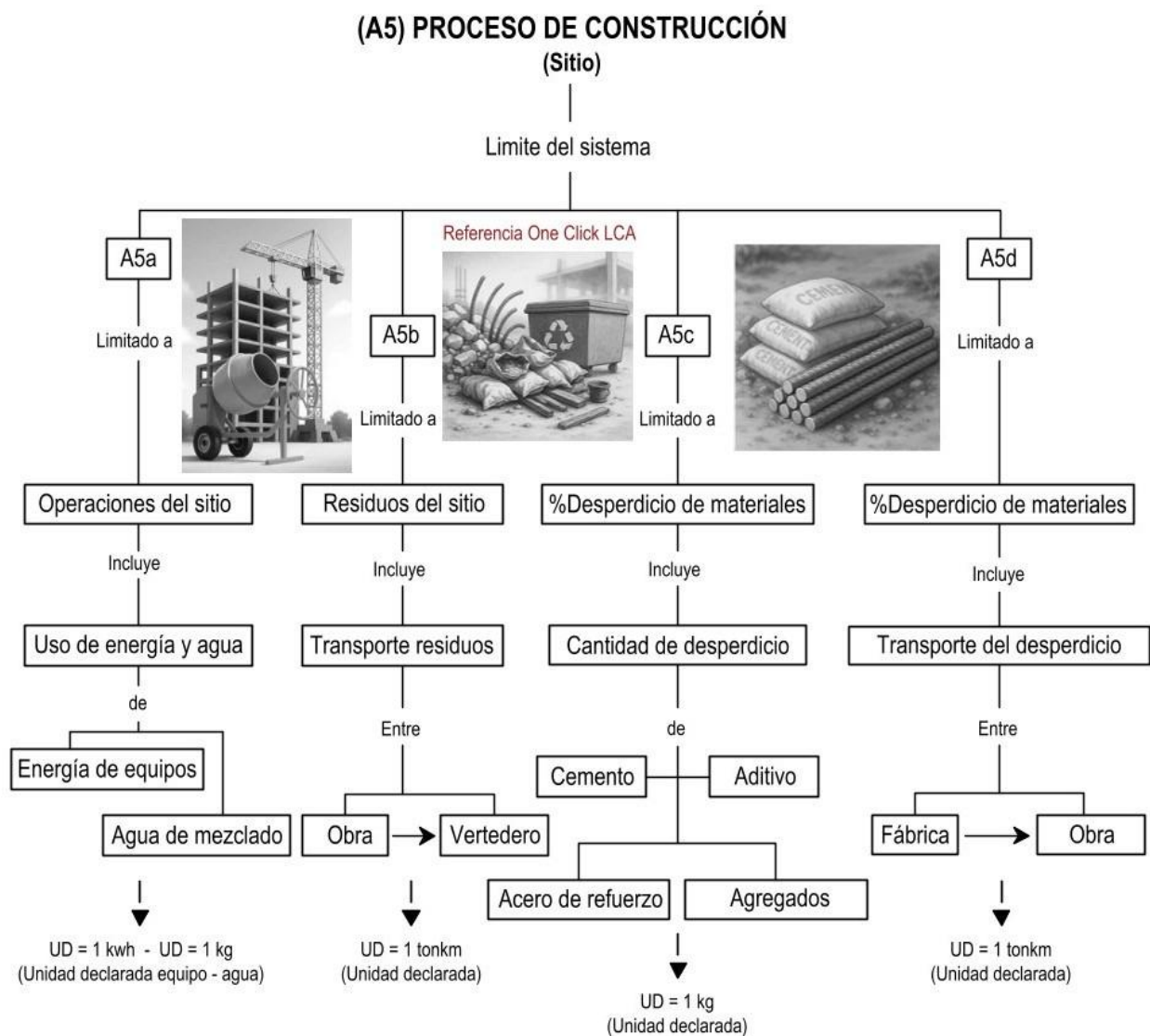
Según NTC-ISO 21930 (2021e) “Instalación del producto en las obras de construcción,

incluyendo la fabricación y el transporte de materiales auxiliares y cualquier uso directo de energía o consumo de agua dulce necesarios para la instalación en la obra”.

Submódulo A5b. Transporte de residuos del sitio, el cual cubre traslado de los residuos de material sobrante desde el sitio de la construcción hasta el sitio final de almacenamiento. Según NTC-ISO 21930 (2021e) “tratamiento de los residuos procedentes del embalaje de los productos y del desperdicio del producto, incluido el transporte durante los procesos de construcción hasta el límite del sistema, entre los sistemas de productos o la disposición de los residuos finales”

Submódulo A5c. Desperdicios de material en el sitio de la construcción, este cubre la cantidad de material de construcción considerada como desperdicio, teniendo en cuenta materiales como el cemento, arena, grava, entre otros. Según NTC-ISO 21930 (2021e) “desperdicio de productos de construcción, incluidos los procesos de producción (A1 a A3)”.

Submódulo A5d. Transporte del desperdicio de materiales de construcción, el cual cubre el transporte solo del porcentaje definido como desperdicio desde la fábrica hasta la obra. Según NTC-ISO 21930 (2021e) “transporte al sitio (A4) para contabilizar el material perdido por el desperdicio de productos”.

Figura 14*Límites del sistema para el módulo A5*

Nota. Elaboración propia con apoyo de imágenes generadas por IA (OpenAI, 2025)

Para el análisis de A5, se contabilizarán los submódulos A5a, A5b, A5c y A5d. En el submódulo A5b (transporte externo de residuos) se incluye considerando un porcentaje de residuos variado por material (sobrantes de acero de refuerzo, cemento, agregados y aditivo). Es de aclarar que los desperdicios de materiales a los que hace referencia A5c y A5d son los

materiales adicionales comprados anticipadamente para garantizar el suministro durante la ejecución por causa de recortes y mermas en obra.

Los porcentajes de desperdicio se introdujeron en One Click LCA como parte de los materiales de construcción; sin embargo, el programa los asigna automáticamente a A5c y A5d, en lugar de distribuirlos en A1–A3. En la Tabla 11 se muestran los porcentajes de desperdicio considerados para cada material.

Tabla 11

Porcentaje de desperdicio y residuos considerados para los materiales

Material	Tipo	Porcentaje	Cantidad	Sub-módulo One Click LCA
Cemento	Desperdicio	1%	Calculado One Click LCA	A5c - A5d
Agregado grueso	Desperdicio	2%	Calculado One Click LCA	A5c - A5d
Agregado fino	Desperdicio	2%	Calculado One Click LCA	A5c - A5d
Aditivo	Desperdicio	0,5%	Calculado One Click LCA	A5c - A5d
Acero de refuerzo	Desperdicio	1%	Calculado One Click LCA	A5c - A5d
Σ Material de desperdicio	Residuo	1,75%	9647,56 kg	A5b

Nota. El residuo se asume como la suma del desperdicio de materiales que en promedio tiene 1,75% de la cantidad total de los materiales.

Para el análisis de A5b se modeló únicamente el transporte de los residuos, sin operaciones de manejo en obra ($A5a = 0$). Se asumió que el residuo se recoge en el sitio y se lleva directamente a disposición final en vertedero. En One Click LCA se ingresó a “Residuo de construcción” con el flujo “Material dejado en su lugar (sin procesamiento)” con el vehículo Truck, small, 12–14 t, E5 y una distancia de 4,5 km, correspondiente al trayecto entre la obra y el punto de disposición considerado el vertedero ubicado en la Avenida Circunvalar del municipio.

Para estimar la energía de operación de los equipos en obra, se elabora un inventario de sus características técnicas y se tiene en cuenta para los rendimientos que cada apartamento se construyó en un día (Tabla 12). La energía consumida se calculó con base en el volumen total de concreto vaciado en obra, dado que en One Click LCA los equipos se modelaron en el apartado “Consumo eléctrico de la obra”, con el recurso “Electricidad, Colombia, 2019 (One Click LCA).”

Tabla 12

Características de equipos eléctricos utilizados en obra (A5a)

Equipo	Marca	Potencia (kW)	Rendimiento (Unidad/h)	Tiempo (h)	Energía (kWh)
Mezcladora (1 bulto)	Genérica	2,24	1.60 m ³ /h	152	340
Pluma grúa	DIMACRO	3,73	1740 kg/h	21	78
Vibrador eléctrico	ENAR DINGO	2,24	10 m ³ /h	24	54
Taladro percutor	BOSCH	0,80	14 m ³ /h	13	10

Nota. Tener en cuenta que la pluma grúa solo será utilizada para subir la formaleta. La potencia es determinada mediante la ficha técnica de cada equipo (consultar Apéndice E)

Para estimar el impacto de huella de carbono del combustible utilizado por la bomba de concreto, en One Click LCA se modela bajo “Consumo de combustible en la obra”, utilizando el recurso “Quema de diésel en una máquina de construcción”. Este perfil solicita reportar los litros consumidos; dichos litros se calcularon a partir de la ficha técnica y de supuestos operativos del equipo. La metodología y los resultados se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13*Características de equipos diésel utilizados en obra (A5a)*

Equipo	Marca	Potencia prod. (kW)	Rend. equipo (m³/h)	Consumo (L/kWh)	Rend. sistema (m³/h)	Tiempo (h)	Consumo final (L)
Bomba de concreto	Rock Valve	60.4	35	0,07	1.6	152	643

Nota. El rendimiento del sistema lo limita la mezcladora; se adopta 1,6 m³/h. El consumo de diésel se estima como: $L = \text{Consumo (L/kWh)} \times \text{Potencia (kW)} \times \text{Tiempo (h)}$

Como se mencionó anteriormente, se seleccionaron los recursos para el consumo eléctrico y el consumo de combustible, a fin de que One Click LCA calcule el impacto de huella de carbono. En la Tabla 14 se presentan los factores de impacto que el programa aplica a cada recurso.

Tabla 14*Origen del recurso para el cálculo de kg CO2e de los equipos*

Equipos	Software / Fuente	Referencia del recurso	País/Año	Impacto kgCO2e/unidad
Equipos eléctricos	One Click LCA (Basado en IEA2020)	Electricity, Colombia, 2019 (One Click LCA)	Colombia/2022	0,38 kg CO ₂ e/kWh
Equipo diésel	One Click LCA (One Click LCA 2023)	Diesel combusted in building machine	World/2023	3,35 kg CO ₂ e/L

Para el submódulo A5a (Operaciones del sitio) se tuvo también en cuenta el agua de mezclado del concreto, el cual se modeló en “uso del agua en las obras” con el recurso “Tap wáter, conventionally treated” que traduce agua corriente, tratada convencionalmente. A continuación, se presenta el perfil del recurso y sus características (ver Tabla 15).

Tabla 15*Características del agua utilizada en obra para el mezclado (A5a)*

Recurso	Software / Fuente	Referencia del recurso	Cantidad	País/Año	Impacto kgCO ₂ e/unidad
Agua	One Click LCA (Genérico)	Tap wáter, conventionally treated	51746,61 kg	Colombia/2023	0,0003 kgCO ₂ e/kg

Descripción del recurso utilizado. Material genérico de ACV en One Click LCA. El producto de referencia en el que se basa este punto de datos es agua corriente tras un proceso de tratamiento convencional. El modelo se basa en el informe: Análisis del ciclo de vida del agua potable: Comparación del tratamiento convencional de agua, la ósmosis inversa y el agua mineral en botellas de vidrio y plástico. El material se utiliza para consumo humano, así como para cualquier operación de construcción, incluida la producción de hormigón. El modelo incluye todos los compuestos y la energía necesarios para el proceso de tratamiento. Este perfil de impacto ambiental del material está diseñado para utilizarse cuando no se han tomado decisiones sobre el abastecimiento ni se dispone de perfiles genéricos aplicables localmente. Representa materiales promedio para los criterios de rendimiento definidos y es genérico en una amplia gama de zonas geográficas; sin embargo, los valores pueden variar según el mercado.(One Click LCA, 2023b)

4.2.6 Diseño del Edificio Prado Verde en One Click LCA

En esta sección se describe el procedimiento seguido para configurar y ejecutar el modelo en One Click LCA con alcance A1–A5, incluyendo unidad funcional, fuentes de datos, supuestos, parametrización por módulo (A1–A3, A4, A5) y criterios de calidad y trazabilidad.

4.2.6.1 Generalidades del proyecto en One Click LCA. Para iniciar el proyecto en One Click LCA se ingresa tipo de construcción (apartamentos), la superficie de construcción (732,12 m²) y la ubicación de la obra (El Hatillo, Ocaña, Norte de Santander, Colombia) como se puede observar en la Figura 15.

Figura 15

Información general del proyecto

Menú principal > EDIFICIO PRADO VERDE

 **EDIFICIO PRADO VERDE**

Usuarios (1) Más acciones

▼ Información general

Información Peticiones Archivos adjuntos Notas

	Fecha de creación	14/03/2024
	Creado por	jdmarquezm@ufpso.edu.co
	Licencias	One Click LCA Student (International) Business + Carbon Designer 3D EDUCACIÓN - Válido hasta: 16.07.2026
	Tipo	Apartment buildings 
	Superficie construida (m ²)	732,12 
	Domicilio	El Hatillo, Ocaña, Norte de Santander, Colombia 

Nota. Elaboración propia en el programa One Click LCA (2025)

Tras ingresar la información general del proyecto en One Click LCA, se crea el diseño indicando nombre, fase de diseño y herramienta de cálculo. En relación con la herramienta de cálculo, la plataforma ofrece tres opciones: EN 15804+A1, EN 15804+A2 y Circularidad del edificio. Para el análisis y cálculo del caso de estudio se selecciona EN 15804+A1, aunque se dejan activa las tres para realizar ajustes metodológicos (ver Figura 16).

Figura 16*Configuración inicial del diseño en One Click LCA*

Crear un diseño

Nombre, fase de diseño y herramientas de cálculo

Nombre ⓘ
Edificio Prado Verde

Información adicional (ej. descripción en portfolio)
Análisis del edificio por materiales discriminados

Fase de obra (fases RIBA / AIA) ⓘ
4 - Diseño técnico / Preparación de documentos...

Elige las herramientas que quieras utilizar en este diseño ⓘ

- ☒ Análisis de ciclo de vida para Level(s) (EN15804 +A1)
- ☒ Análisis de ciclo de vida para Level(s) (EN15804 +A2)
- ☒ Building Circularity (circularidad del edificio)

Alcance y tipo de análisis

Alcance predefinido (si disponible)
Levels EU

Tipo de proyecto ⓘ
Nueva construcción, edificio entero

Tipo de sistema estructural ⓘ
Estructura de hormigón

Elementos incluidos. Marque los pertinentes. ⓘ

- ☒ Cimentaciones y sub-estructura
- ☒ Estructura y envolvente
- ☒ Revestimientos y otros materiales
- ☒ Áreas externas
- ☒ Servicios

Cancelar Añadir

Nota. Elaboración propia en el programa One Click LCA (2025)

La elección de EN 15804+A1 obedece a criterios de coherencia y comparabilidad. En primer lugar, la mayoría de las Declaraciones Ambientales de Producto (EPD) y conjuntos de datos disponibles para los materiales críticos del caso (cemento, aditivo, agregados y acero de refuerzo) están publicados bajo +A1, lo que evita mezclar marcos normativos y previene incompatibilidades entre categorías e indicadores. En segundo lugar, los estudios y puntos de referencia encontrados para el mercado nacional son más cercanos a los datos obtenidos de recursos con +A1. Finalmente, el objetivo central del proyecto es cuantificar y reducir el potencial de calentamiento global (GWP, kgCO₂e) hasta la entrega de obra; +A1 cubre plenamente este indicador prioritario sin requerir la desagregación adicional introducida en A2 (Por ejemplo, GWP fósil/biogénico/uso del suelo).

Cabe anotar que la opción “Circularidad del edificio” aporta métricas de circularidad y no sustituye un ACV orientado a impactos, por lo que no resulta adecuada para el objetivo principal de huella de carbono. Como verificación metodológica, cuando existan EPD equivalentes en +A2 para materiales principales como el cemento y el acero de refuerzo, se realizará un ejercicio puntual de sensibilidad en esa herramienta; no obstante, dentro de cada corrida se mantendrá una única herramienta de cálculo para preservar la coherencia de los resultados.

4.2.6.2 Importación de materiales de construcción a One Click LCA. Con el fin de hacer un análisis más detallado en One Click se importan con la plantilla de Excel (ver Tabla 6) los materiales de construcción. La plantilla también permite incluir el transporte de los materiales para el tramo 1 (leg1) y el tramo 2 (leg2) según el material de construcción (ver Tabla 8).

One Click LCA permite configurar la importación, asignar columnas, revisar y filtrar, combinar datos y asignar datos, sin embargo una vez importado los datos el usuario puede modificar según lo necesite. Durante la carga de archivos, el programa permite hacer un mapeo de datos que actualmente está actualizado mediante IA, lo cual agiliza el trabajo ya que este asigna recurso a los materiales automáticamente siguiendo la lógica del tipo de material. (ver Figura 17)

El programa clasifica los materiales de construcción por partes de la estructura introducidas inicialmente en class (Cimentaciones, estructuras verticales, estructurales horizontales y otras estructuras).

Figura 17*Importación de materiales de construcción en One Click LCA*

← Volver al proyecto <

Guardar ajustes

Anterior

Siguiente

1. Carga de archivos ✓
2. Configuración de la importación
3. Asignación de columnas
4. Revisar y filtrar
5. Combinar datos
6. Asignación de datos

3. Asignación de columnas

Asigna las columnas que deseas importar o utilizar para la asignación de datos, marca las columnas personalizadas como información adicional u omite. Nombre, Cantidad y Unidad son obligatorios. [Leer más](#)

✓ ¡Hecho! Continúa **Siguiente**. También puedes **Guardar ajustes** volver a utilizar esta asignación de columnas.

Columnas totales: 6 ● Asignado (6) ⓘ ● Información adicional (0) ⓘ ● Saltar (0) ⓘ

Clase Haga clic aquí para cambiar	Nombre Haga clic aquí para cambiar	Cantidad Haga clic aquí para cambiar	Unidad Haga clic aquí para cambiar	Transporte (km) Haga clic aquí para cambiar	Transporte, tramo 2... Haga clic aquí para cambiar
CLASS	IFCMATERIAL	QUANTITY	QTY_TYPE	TRANSPORT_KM	TRANSPORTDISTANCE_KM
FOUNDATION	Cement - Cast-in-place concr	22020.6	KG	450	4.5
FOUNDATION	Fine aggregate- Cast-in-place	48637.23	KG	19.2	0
FOUNDATION	Coarse aggregate- Cast-in-pli	40463.37	KG	19.2	0

Nota. Elaboración propia en el programa One Click LCA (2025)

Una vez importados los materiales de construcción al programa, se realiza la búsqueda de los recursos más adecuados. Para la elección de los recursos se hicieron varias consultas de productos nacionales e informes de sostenibilidad con el fin de encontrar en la base de datos de One Click LCA el material más parecido al utilizado en la obra (ver Figura 18).

Varios recursos asignados al proyecto fueron datos de materiales genéricos que según Tierala (2024) “los datos genéricos de materiales representan el impacto ambiental promedio en un sector industrial o categoría de producto. Proporcionan cálculos estimados en lugar de mediciones específicas para productos individuales” los cuales son confiables porque:

El material genérico se modela mediante software de creación de EPD y se somete a un exhaustivo proceso de control de calidad antes de su publicación. Esto incluye la

evaluación comparativa automatizada con conjuntos de datos de la base de datos de ACV de construcción más grande del mundo. (Tierala, 2024)

En la Figura 18 se puede observar los materiales introducidos para la cimentación del edificio industrializado, la masa introducida y su respectivo CO₂e.

Figura 18

Materiales de construcción ajustados en One Click LCA para cimentación

1. Cimentaciones y sub-estructura

Los materiales de la fundación nunca serán reemplazados, independientemente de la duración del periodo de evaluación.

Zapatas, estructuras subterráneas ⇌ [Mostrar otras respuestas](#) ▾ [Crear un grupo](#) [Mover materiales](#) [Añadir a comparar](#)

Recurso ⇅	Cantidad ⇅	CO ₂ e ⇅	Comentario ▲	Partes del edificio
Cemento de alto horno, genérico, CE ? ⚠	22020.6 kg ▾	15t - 15%	Cemento para concreto de cimentación	1.1 Cimientos/fundación
Crushed rock, 8–16 mm, 1680 kg/m3 (?	40463.37 kg ▾	0,28t - 0,3%	Agregado grueso para concreto de	1.1 Cimientos/fundación
Sand used in industries, concrete a ?	48637.23 kg ▾	0,3t - 0,3%	Agregado fino para concreto de	1.1 Cimientos/fundación
Concrete admixture - set accelerato ?	330.31 kg ▾	0,45t - 0,4%	Aditivo para concreto de cimentación	1.1 Cimientos/fundación
Reinforcement steel (rebar), manufa ?	5968.84 kg ▾	4,8t - 5%	Acero de refuerzo para cimentación	1.1 Cimientos/fundación

Nota. Elaboración propia en el programa One Click LCA (2025)

4.2.6.3 Ajuste del transporte a la construcción en One Click LCA. Al importar los materiales mediante la plantilla de Excel, también se cargan las distancias calculadas; posteriormente, en el software se selecciona el modo y el tipo de vehículo a asignar a cada flujo. La elección del transporte se realizó considerando la naturaleza del material, la masa de la carga y la tipología de vehículos usuales en el contexto nacional.

Para mantener la coherencia metodológica, se seleccionaron perfiles de transporte con normativa Euro 5 (por ejemplo, “Truck, small, 12–14 t, E5”) disponibles en la base de datos de One Click LCA, dado que ese estándar era el vigente para el año de construcción del edificio. En la Figura 19 se puede observar la asignación de transporte para los materiales de la cimentación.

Figura 19

Transporte seleccionado para el análisis en One Click LCA

Comentario ▲	Partes del edificio	Transporte, kilómetros ? ⇅		Transporte, leg2, kilómetros ? ⇅	
Cemento para concreto de cimentación	1.1 Cimientos/fundación	450.0	Truck, double trailer	4.5	Truck, small, 12-14 ton
Agregado grueso para concreto de	1.1 Cimientos/fundación	19.2	Truck, small, 12-14 ton	0.0	No definido
Agregado fino para concreto de	1.1 Cimientos/fundación	19.2	Truck, small, 12-14 ton	0.0	No definido
Aditivo para concreto de cimentación	1.1 Cimientos/fundación	601.0	Truck, semi trailer	4.5	Delivery van, 7.5-12
Acero de refuerzo para cimentación	1.1 Cimientos/fundación	507.0	Truck, double trailer	4.5	Truck, small, 12-14 ton

Nota. Elaboración propia en el programa One Click LCA (2025)

4.2.6.4 Proceso de instalación/construcción en One Click LCA. Para la configuración del módulo A5 pertenecientes al proceso constructivo del edificio se procede en la opción “Operaciones en obra” del programa utilizando los siguientes módulos (ver Figura 20):

Transporte adicional. Utilizado para el cálculo del impacto que genera el transporte de las formaletas desde la ciudad de Bucaramanga, haciendo dos perfiles uno para el transporte inicial (llegada de la formaleta en obra) otro para el transporte final (devolución de la formaleta al proveedor).

Consumo de combustible en la obra. Utilizado para el cálculo de kilogramos de dióxido de carbono equivalente (kgCO₂e) debido al consumo de diésel por la bomba de concreto durante los trabajos en sitio.

Residuos de la construcción. Utilizado para el cálculo de kgCO₂e generado por el transporte de los residuos de acero y concreto desde el sitio de construcción hasta su disposición final. Es de resaltar que acá One Click LCA contempla este impacto para A5b.

Consumo eléctrico de la obra. Utilizado para el cálculo de kgCO₂e producido por el consumo de energía eléctrica de los equipos utilizados para la construcción del del concreto, los cuales fueron pluma grúa, mezcladora, vibrador eléctrico y el taladro percutor.

Figura 20

Consumo eléctrico de la obra en fase de construcción en One Click LCA

✓ Materiales de construcción

➤ Consumo de energía, anual

Consumo de agua, anual

✓ Escenarios de obra

✓ Período de cálculo

Emis

Borrar

Material Construcciones x

País Filtro:

Fuente de datos Filtro:

Tipo

3. Energía consumida en la fase de construcción

Consumo eléctrico de la obra [Mostrar otras respuestas](#)

Recurso	Cantidad	CO ₂ e	Comentario	Perfil	
Electricity, Colombia, 2020 (One Click LCA ?)	78.0 kWh	30kg - ~0%	Energía de pluma grúa	IEA2020	cambiar
Electricity, Colombia, 2020 (One Click LCA ?)	340.0 kWh	0,13t - 0,1%	Energía mezcladora de concreto	IEA2020	cambiar
Electricity, Colombia, 2020 (One Click LCA ?)	54.0 kWh	21kg - ~0%	Energía vibrador eléctrico	IEA2020	cambiar
Electricity, Colombia, 2020 (One Click LCA ?)	10.0 kWh	3,8kg - ~0%	Taladro percutor	IEA2020	cambiar

Consumo de calefacción en la obra (calefacción urbana) [Mostrar otras respuestas](#)

Nota. Elaboración propia con el programa One Click LCA (2025)

Una vez que el programa procesa las cantidades de cada recurso y las multiplica por el factor de caracterización GWP100 (por unidad), obtiene el impacto total expresado en kg CO₂e. Ese impacto se reparte por submódulos A5a–A5d, conforme al esquema de EN 15978 y a la partición utilizada por One Click LCA.

4.2.7 Resultados del diseño del Edificio Prado Verde en One Click LCA

Introducidas las cantidades y configurando sus recursos, transporte y energía para los equipos eléctricos y de combustible, se procede a generar los resultados en el programa, el cual realiza la discriminación de estos según la metodología de la norma EN 15978 y usa la herramienta de cálculo EN 15804+A1.

El programa muestra los resultados generales discriminados en categoría de impactos y los diferentes indicadores de impacto ambiental que para este proyecto es relevante solo el calentamiento global (kg CO₂e). (ver Figura 21)

En la Figura 21, se puede observar que el valor del potencial del calentamiento global del edificio considerando las etapas A1-A3, A4 y A5 es de 102.872,31 kg CO₂e (103 toneladas CO₂e). Considerando la unidad funcional del edificio se tiene 140,51 kg CO₂e/m².

El programa también muestra los detalles de cálculo y consideraciones tenidas en cuenta a la hora de calcular el kg CO₂e. Al darle clic a “Detalles” en la categoría que se quiere consultar aparece una ventana para consultar los cálculos y (ver Figura 22).

Figura 21

Resumen de resultados por categoría e impacto ambiental

Análisis de ciclo de vida para Level(s) en cumplimiento con la norma EN 15978 [Descargar resumen de resultados](#)

Categoría de resultados	Calentamiento Global kg CO ₂ e ⑦	Almacenamiento de carbono biogénico kg CO ₂ e bio ⑦	Agotamiento de la capa de ozono kg CFC11e ⑦	Acidificación kg SO ₂ e ⑦	Eutrofización kg PO ₄ e ⑦	Formación de ozono en la baja atmósfera kg Ethenee ⑦	Potencial de agotamiento abiótico (APD-elements) de recursos no fósiles kg Sbe ⑦	Potencial de agotamiento abiótico (ADP-combustibles fósiles) de los recursos fósiles MJ ⑦	
A1-A3 ⑦ Producto de construcción	93 252,31	0	0	261,25	76,69	14,57	0,36	30 327 139,99	Detalles
■ A4 ⑦ Transporte a la construcción	6 264,65	0	0	14,3	3,4	-4,71	0	83 696,86	Detalles
A4 Transporte a la obra	6 185,45		0	14,12	3,36	-4,65	0	82 639,42	Detalles
A4-leg2 Transporte a la construcción - leg 2	79,19	0	0	0,18	0,04	-0,06	0	1 057,44	Detalles
■ A5 ⑦ Proceso de instalación/construcción	3 355,35		0	7,21	1,62	0,47	0,01	632 055,19	Detalles
A5a Operaciones del sitio y manejo de desechos del sitio	2 351,14		0	4,35	0,8	0,37	0	32 463,36	Detalles
A5b Transporte de residuos del sitio	5,6		0	0,01	0	-0	0	74,71	Detalles
A5c Sitio de construcción - desperdicio de material - materiales	937,97		0	2,71	0,78	0,15	0	598 707,09	Detalles
A5d Sitio de construcción - desperdicio de material - transporte	60,64		0	0,14	0,03	-0,05	0	810,04	Detalles
Total	102 872,31	0	0	282,76	81,72	10,33	0,36	31 042 892,04	
Resultados por denominador									
Por superficie interior bruta m ² / año									
Por superficie interior bruta m ²	140,51	0	0	0,39	0,11	0,01	0	42 401,37	

Nota. Elaboración propia en el programa One Click LCA (2025)

Figura 22

Detalles para productos de construcción

Análisis de ciclo de vida para Level(s) (EN15804 +A1): Producto de construcción											Mostrar desglose	Ocultar títulos	Imprimir	Cerrar
Construcción	Recurso	Entrada del usuario	Calentamiento Global kg CO ₂ e	Almacenamiento de carbono biogénico kg CO ₂ e bio	Agotamiento de la capa de ozono kg CFC11e	Acidificación kg SO ₂ e	Eutrofización kg PO ₄ e	Formación de ozono en la baja atmósfera kg Ethenee	Potencial de agotamiento abiótico (APD-elements) de recursos no fósiles kg Sbe	Potencial de agotamiento abiótico (ADP-combustibles fósiles) de los recursos fósiles MJ	Comentarios			
▼ Materiales de construcción > Cimentaciones y sub-estructura > Zapatas, estructuras subterráneas														
	Cemento de alto horno, genérico, CEM III/A, 50% GGBS content... ?	22 020,6 kg	14 269,35 Ver cálculos	0 Ver cálculos	0 Ver cálculos	40,08 Ver cálculos	8,94 Ver cálculos	1,6 Ver cálculos	0,07 Ver cálculos	96 450,23 Ver cálculos	Cemento para concreto de cimentación			
	Crushed rock, 8-16 mm, 1680 kg/m3 (One Click LCA (2025)) ?	40 463,37 kg	172,78 Ver cálculos	0 Ver cálculos	0 Ver cálculos	1,23 Ver cálculos	0,12 Ver cálculos	0,06 Ver cálculos	0 Ver cálculos	6 271 822,35 Ver cálculos	Agregado grueso para concreto de cimentación			

Nota. Elaboración propia en el programa One Click LCA (2025)

4.2.7.1 Resultados globales por etapas o fases del ciclo de vida. One Click LCA

muestra los resultados del calentamiento global (kg CO₂e) por módulos redondeando los valores para mejor presentación como se puede ver en la Tabla 16.

Tabla 16

Calentamiento global kg CO₂e – Fases del ciclo de vida analizadas

Etapas	Calentamiento global	Unidad	Porcentaje (%)
A1-A3 Materiales	93252,31	kg CO ₂ e	90,65%
A4 Transporte	6185,45	kg CO ₂ e	6,01%
A4-leg2 Transporte, tramo 2	79,19	kg CO ₂ e	0,08%
A5 Construcción	3355,35	kg CO ₂ e	3,26%

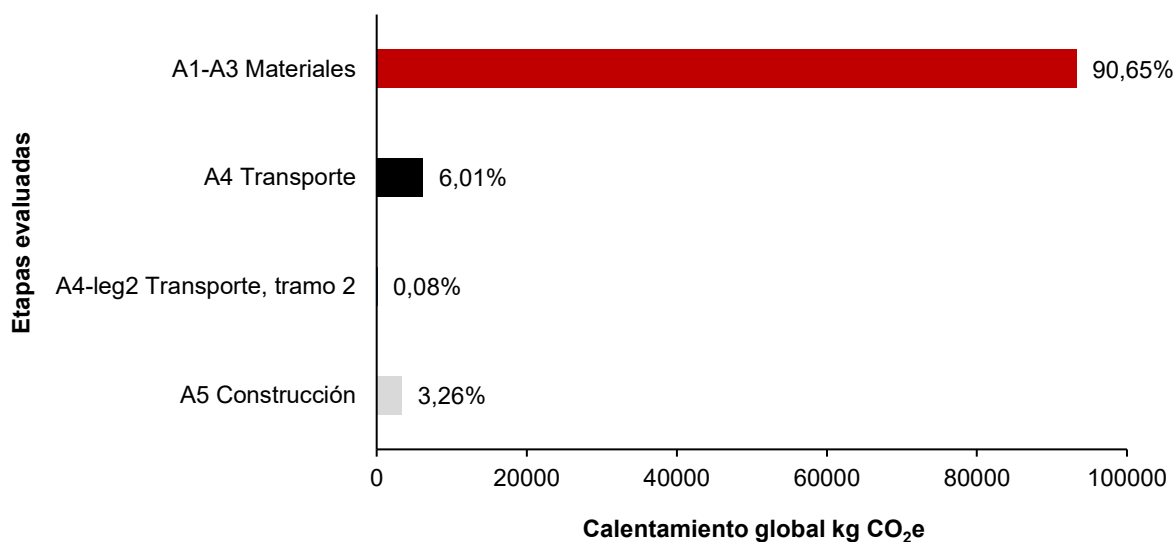
Nota. Tabla adaptada de la sección “Calentamiento global kg CO₂e – Fases del ciclo de vida” del módulo de resultados de One Click LCA (2025)

Como se puede ver en la Figura 23, el máximo impacto del calentamiento global se encuentra concentrado en la etapa A1-A3 con un 90,65% que corresponde a la extracción de materia prima (A1), transporte a fabrica (A2) y fabricación (A3) de los materiales de construcción. El tramo adicional de transporte leg2 corresponde al 0,08% el cual es despreciable con respecto a los demás resultados.

Las contribuciones de A5 (3,26%) y A4 (6,01%) que son relativamente bajas pueden mitigarse con planificación de obra (menores mermas, electrificación de equipos) y optimización logística (distancias y carga útil).

Figura 23

Calentamiento global kg CO₂e – Fases del ciclo de vida analizadas



Nota. Gráfica adaptada de la sección “Calentamiento global kg CO₂e – Fases del ciclo de vida” del módulo de resultados de One Click LCA (2025)

4.2.7.2 Desglose A1-A3 (Fabricación de materiales). Como se pudo evidenciar anteriormente la etapa A1-A3 es la más influyente en el calentamiento global lo que hace necesario identificar que materiales generan mayor kg CO₂e para determinar estrategias de reducción.

En la Figura 24 se muestra el valor del impacto de los materiales considerando solo de la Cuna a la puerta, con lo cual se puede determinar que el material más influyente en el calentamiento global es el cemento con un 75,9% seguido de la cero de refuerzo con un 20,1%. Es de resaltar que el aditivo y los agregados pétreos no son tan representativos como el cemento y el acero de refuerzo.

Figura 24*Materiales más influyentes (Calentamiento global)*

No.	Recurso	Impactos de cuna a puerta (A1-A3)	De cuna a puerta (A1-A3)
1.	Cemento de alto horno, genérico, CEM III/A, 50% GGBS content  ?	71 toneladas CO ₂ e	75.9 %
2.	Reinforcement steel (rebar), manufacturers average, 7850 kg/m ³  ?	19 toneladas CO ₂ e	20.1 %
3.	Concrete admixture - set accelerators, 1-1.6 g/ml  ?	2,1 toneladas CO ₂ e	2.3 %
4.	Crushed rock, 8–16 mm, 1680 kg/m ³  ?	0,81 toneladas CO ₂ e	0.9 %
5.	Sand used in industries, concrete and asphalt, ?	0,8 toneladas CO ₂ e	0.9 %

Nota. Elaboración propia en el programa One Click LCA (2025)

Este patrón confirma que el carbono incorporado del concreto y el acero de refuerzo es el principal determinante del impacto, por lo que las medidas de reducción de clínker/SCM y la selección de EPD de menor intensidad deben priorizarse.

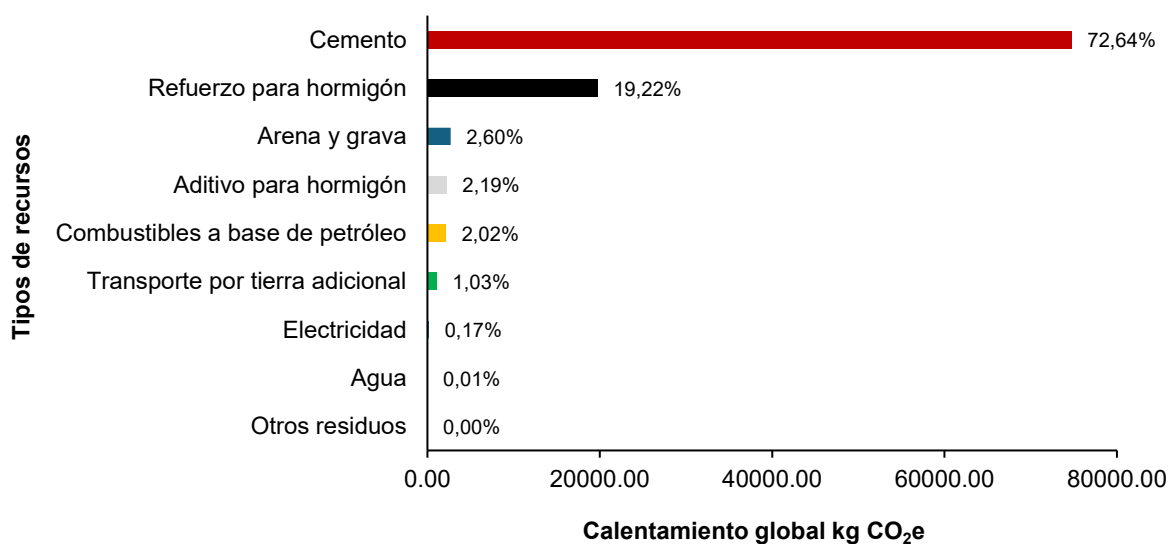
4.2.7.3 Desglose por tipos de recurso. Si bien ya se determinó que el cemento y el acero de refuerzo son los principales contribuyentes al calentamiento global (GWP100), es pertinente comparar su aporte con el de otros recursos, como electricidad y combustible, para caracterizar el comportamiento de todos los flujos.

En la Tabla 17 y Figura 25 se puede observar el valor de calentamiento global de los recursos que ya considera el impacto de A1 a A5, donde se puede evidenciar que el recurso con mayor impacto en el calentamiento global es el cemento con un 72,64%, seguido del acero de refuerzo con el 19,22%. Es de resaltar que el combustible tiene bajo impacto el cual es de 2,02%, sin embargo es mayor que el consumo de electricidad que generan los equipos en obra (0,17%).

Tabla 17*Calentamiento global kg CO₂e – Tipos de recurso*

Recurso	Calentamiento global	Unidad	Porcentaje (%)
Cemento	74729,60	kg CO ₂ e	72,64%
Refuerzo para hormigón	19742,63	kg CO ₂ e	19,22%
Arena y grava	2695,91	kg CO ₂ e	2,60%
Aditivo para hormigón	2242,79	kg CO ₂ e	2,19%
Combustibles a base de petróleo	2154,05	kg CO ₂ e	2,02%
Transporte por tierra adicional	1104,65	kg CO ₂ e	1,03%
Electricidad	183,09	kg CO ₂ e	0,17%
Agua	14,00	kg CO ₂ e	0,01%
Otros residuos	5,60	kg CO ₂ e	0,00%

Nota. Tabla adaptada de la sección “Calentamiento global kg CO₂e – Tipos de recurso” del módulo de resultados de One Click LCA (2025)

Figura 25*Calentamiento global kg CO₂e – Tipos de recursos*

Nota. Gráfica adaptada de la sección “Calentamiento global kg CO₂e – Tipos de recurso” del módulo de resultados de One Click LCA (2025)

4.2.7.4 Resultados por estructura. En relación con las partes de la estructura, es de recordar que los muros de cargas son aquellos que tienen mayor resistencia de concreto (24,5 MPa) y mayor cantidad de masa de materiales como se puede observar en la Tabla 18.

Dado que las escaleras de concreto reforzado son un elemento estructural secundario y presentan el menor consumo de concreto, se espera que generen el menor impacto de calentamiento global (GWP) del edificio industrializado.

Tabla 18

Masa en kg por estructura

Parte de la estructura	valor	Unidad	Porcentaje (%)
Cimentación (Subestructura)	117420,35	kg	21,33
Marco estructural portante (Muros)	262087,36	kg	47,62
Forjados superiores (Losas y vigas)	163671,89	kg	29,74
Escaleras	7243,38	kg	1,32

Nota. Tabla adaptada de la sección “Masa kg - Clasificaciones” del módulo de resultados de One Click LCA (2025)

Analizando la Tabla 19, se puede observar que en conjunto, el consumo de materiales para la estructura representa el 90,65% del GWP (A1–A3), por lo que las estrategias de reducción deben priorizar la mezcla de concreto (menor contenido de clínker mediante SCM) y la optimización de cuantías y espesores, así como la selección de acero de refuerzo con menor intensidad (uso de EAF, horno de arco eléctrico).

Tabla 19*Valor del Calentamiento Global (GWP) por partes del edificio*

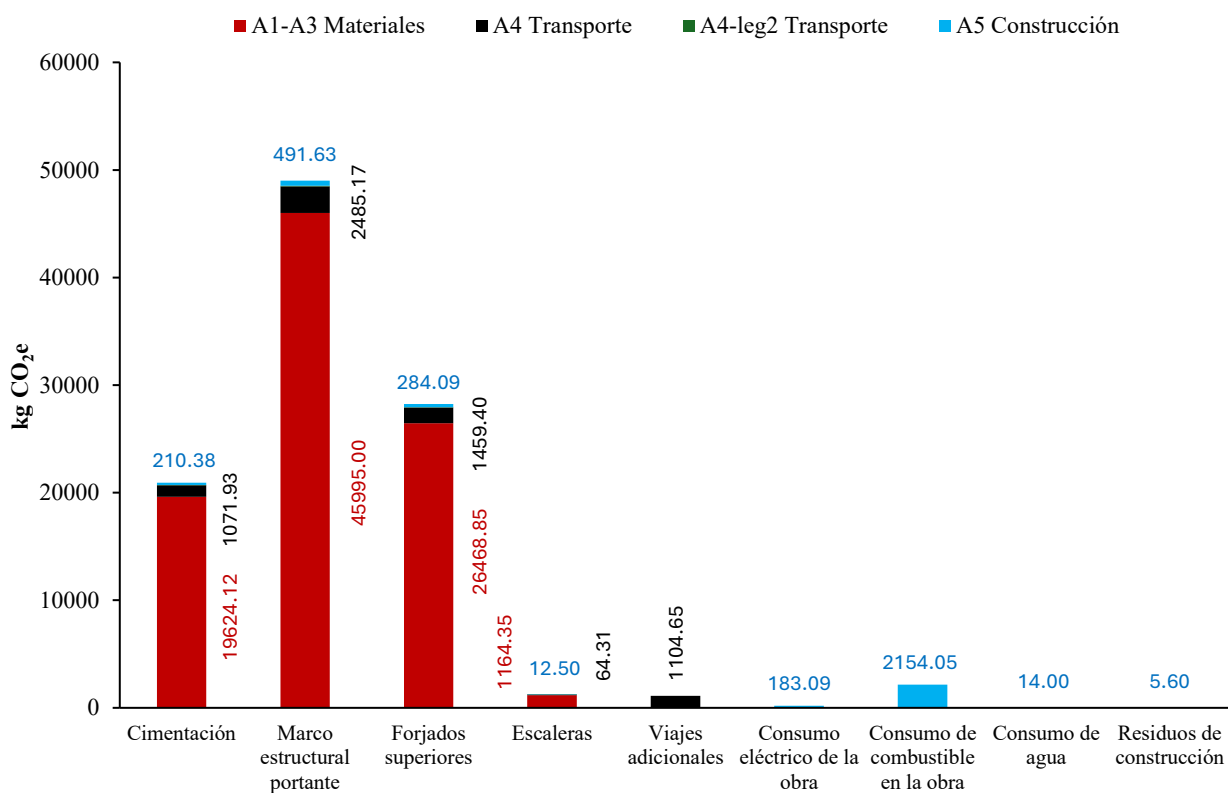
Categoría (Componente)	Materiales A1-A3 (kg CO₂e)	Transporte A4 (kg CO₂e)	Transporte A4-leg2 (kg CO₂e)	Construcción A5 (kg CO₂e)	Impacto A1-A5 (kg CO₂e)
Cimentación	19624,12	1071,93	16,57	210,38	20923,00
Marco estructural portante	45995,00	2485,17	39,18	491,63	49010,98
Forjados superiores	26468,85	1459,40	22,45	284,09	28234,80
Escaleras	1164,35	64,31	0,99	12,50	1242,14
Viajes adicionales	0	1104,65	0	0	1104,65
Consumo eléctrico de la obra	0	0	0	183,09	183,09
Consumo de combustible en obra	0	0	0	2154,05	2154,05
Consumo de agua	0	0	0	14,00	14,00
Residuos de construcción	0	0	0	5,60	5,60
Cantidad de Impacto por etapa	93252,31	6185,45	79,19	3355,35	102872,31
Porcentaje de impacto por etapa	90,65 %	6,01 %	0,08 %	3,26 %	100,00 %

Nota. Tabla adaptada de “Clasificaciones” del módulo de resultados de One Click LCA (2025)

La gráfica de la Figura 26 desglosa el GWP (kg CO₂e) por partes del edificio y por etapas. En todos los elementos estructurales predomina A1-A3 (materiales), con una participación del más del 93 % en cada componente. El marco estructural portante correspondiente a los muros estructurales es el principal punto crítico con $\approx 49,01$ t CO₂e (≈ 46 t CO₂e en A1–A3 más aportes, menores de A4 y A5), seguido por forjados superiores con $\approx 28,23$ t CO₂e y por cimentación con ≈ 21 t CO₂e; escaleras apenas alcanzan $\approx 1,24$ t CO₂e. Dentro de A4, además del transporte asociado a cada elemento aparece “viajes adicionales” con 1,10 t CO₂e, y en A5 destacan el consumo de combustible en obra (2,15 t CO₂e) y el consumo eléctrico (0,18 t CO₂e).

Figura 26

Calentamiento Global (GWP) agrupados por partes del edificio desglose



Nota. Gráfica adaptada de datos exportados de One Click LAC (2025)

En la Tabla 20 se reporta el potencial de calentamiento global de la estructura, dividido por partes. Los valores corresponden a la suma de impactos evaluados (A1–A5); se excluyen el consumo de energía y combustible de equipos, consumo de agua, los residuos y sus transportes y viajes adicionales.

Tabla 20

Calentamiento global kg CO₂e por partes de la estructura

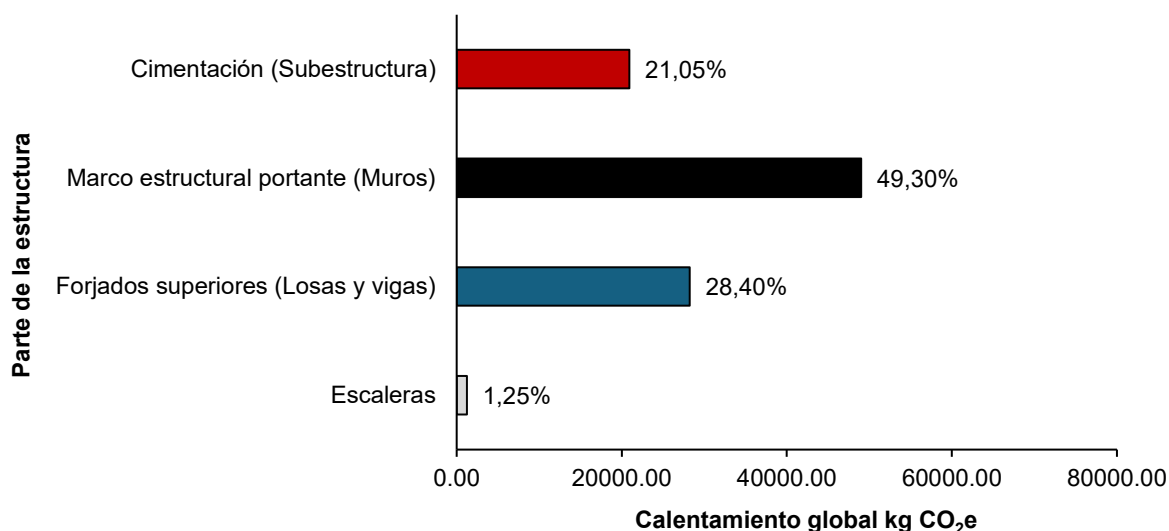
Parte de la estructura	valor	Unidad	Porcentaje (%)
Cimentación (Subestructura)	20923,00	kg CO ₂ e	21,05%
Marco estructural portante (Muros)	49010,98	kg CO ₂ e	49,30%
Forjados superiores (Losas y vigas)	28234,80	kg CO ₂ e	28,40%
Escaleras	1242,14	kg CO ₂ e	1,25%

Nota. Tabla adaptada de la sección “Calentamiento global kg CO₂e - Clasificaciones” del módulo de resultados de One Click LCA (2025)

Los kg CO₂e se concentra en el marco portante (49,30%) y los forjados superiores (28,40%), seguidos por la cimentación (21,05%) como se puede apreciar en la Figura 27.

Figura 27

Calentamiento global kg CO₂e por partes de la estructura



Nota. Gráfica adaptada de la sección “Calentamiento global kg CO₂e - Clasificaciones” del módulo de resultados de One Click LCA (2025)

Se evalúa el impacto del calentamiento global (A1–A5) por m³ de concreto para cada tipo de resistencia, con el fin de comparar su comportamiento. En la Tabla 21 se presenta el valor en kg CO₂e/m³ para el concreto de 21 MPa y 24.5 MPa.

Tabla 21

Calentamiento global kg CO₂e/m³ de concreto

Tipo de concreto	Volumen (m ³)	kg CO ₂ e	kg CO ₂ e/m ³	Porcentaje (%)
Resistencia 21 MPa	127,02	50399,94	396,79	48,31%
Resistencia 24,5 MPa	115,44	49010,98	424,56	51,69%

En la Figura 28 se observa que el concreto de 24,5 MPa, perteneciente a los muros estructurales del sistema industrializado, presenta el mayor impacto de calentamiento global por m³ (51,69%), apenas 3,38% por encima del concreto de 21 MPa (48,31%). Esta diferencia sugiere que las emisiones pueden reducirse, optimizando la dosificación y seleccionando materiales más sustentables.

Figura 28

Impacto kg CO₂e/m³ de concreto según resistencia

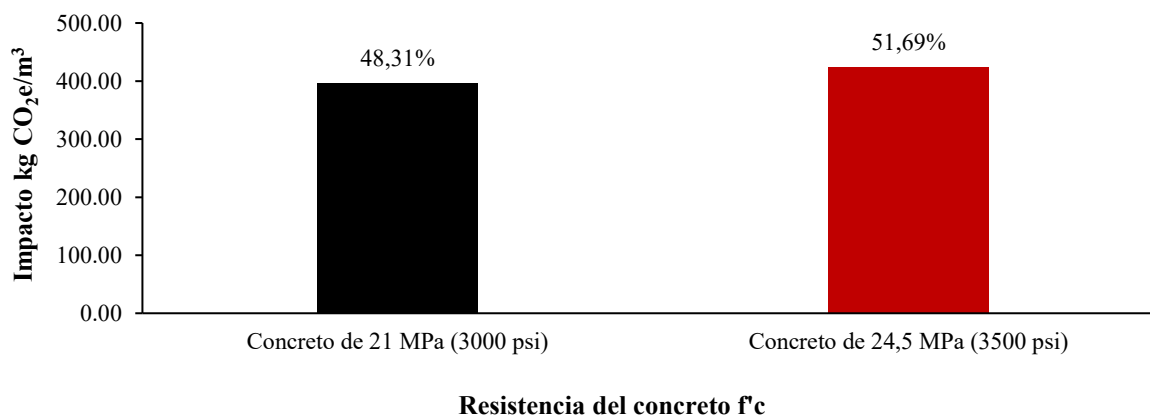
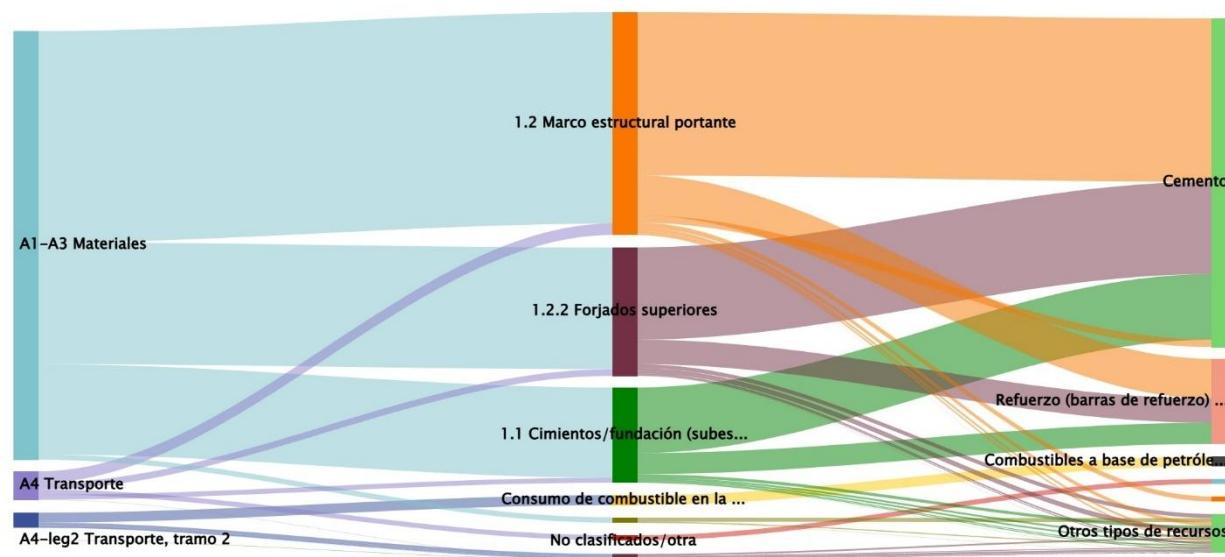


Diagrama Sankey, calentamiento global. En la Figura 29, es visible que el impacto de calentamiento global se concentra en A1–A3 (producción de materiales). A nivel de sistema constructivo, el marco estructural portante y los forjados superiores concentran la mayor contribución, mientras que por tipo de material destacan el cemento y, en segundo lugar, el acero de refuerzo. Las contribuciones de transporte (A4) y del consumo de combustible en obra son menores. En consecuencia, las estrategias con mayor potencial de mitigación se orientan a: (a) reducir la intensidad de carbono del cemento mediante sustituciones y optimización de la dosificación; (b) especificar acero con alto contenido reciclado y EPD verificable; y (c) optimizar cuantías y geometrías en los elementos dominantes. Acciones complementarias incluyen la electrificación de equipos de obra y la optimización logística.

Figura 29

Diagrama Sankey, Calentamiento Global



Nota. Tomado de la sección “Sankey” del módulo de resultados de One Click LCA (2025)

4.2.8 Escenario de reducción del impacto del calentamiento global

La comparación de los productos de construcción utilizando una DAP se debe llevar a cabo en el contexto de la construcción de las obras. Por consiguiente, la comparación del desempeño ambiental de los productos de construcción que utilicen la DAP deben considerar todos los módulos de información pertinentes durante todo el ciclo de vida de los productos en las obras de construcción. Tal comparación requiere escenarios en el contexto de las obras de construcción. (ICONTEC, 2021e)

Las comparaciones son posibles a nivel de construcción de bases, por ejemplo, para sistemas ensamblados, componentes o servicios, para una o varias etapas del ciclo de vida. En todos los casos en que se comparen los productos de construcción, se debe mantener el principio de que la base para la comparación de la evaluación es el nivel de la obra de construcción, se deben mantener a través del aseguramiento que se cumplen los mismos requisitos funcionales y: (ICONTEC, 2021e)

- Los productos/sistemas deben tener el mismo desempeño funcional;
- La comparación se basa en la misma unidad funcional;
- El desempeño ambiental y el desempeño técnico de cualquier elemento excluido de las obras de construcción (por ejemplo, sistemas para ensamblados, componentes, productos o servicios de construcción), son los mismos;
- El tipo y la cantidad de los materiales excluidos son exactamente los mismos;
- Los procesos y las etapas del ciclo de vida excluidos son los mismos;

- Se utilizan escenarios equivalentes (véase la Nota 2);
- Los flujos elementales relacionados con las propiedades inherentes de los materiales, como el carbono biogénico, el potencial de carbonato de calcio o el poder calorífico neto de un material, se consideran de manera completa y consistente en el marco de comparación;
- La influencia de los sistemas de producto en la fase de uso de las obras de construcción, incluidos los aspectos operativos y los impactos de las obras de construcción, se tienen en cuenta o son los mismos;

Esto se puede tener en cuenta como información ambiental opcional complementaria, utilizando escenarios equivalentes. (ICONTEC, 2021e)

NOTA 1 Las DAP que no pueden considerarse en un contexto de obras de construcción con escenarios equivalentes, no son herramientas para comparar productos y servicios de construcción. (ICONTEC, 2021e)

NOTA 2 Los escenarios del módulo de información A5 para dos productos podrían ser equivalentes, ya que ambos modelan la instalación típica de los productos y la gestión de los residuos resultantes, pero no idénticos, debido a, por ejemplo, las diferentes necesidades de materiales auxiliares, los residuos de empaques y los residuos de productos generados. Los productos podrían mostrar impactos diferentes y aun así podrían compararse. (ICONTEC, 2021e)

La información proporcionada para cualquier comparación debe ser transparente para permitir una clara comprensión de las limitaciones de la comparabilidad. (ICONTEC, 2021e)

4.2.8.1 Definición de escenario para nuevo modelo. Según el análisis realizado para el diseño del “Edificio Prado Verde” y siguiendo requisitos de comparación, se propone un diseño nuevo con el fin de optimizar y reducir el impacto de calentamiento global. A continuación, se presentan los criterios para el nuevo modelo “Edificio Prado Verde (Modelo 2)”:

Escenario para la etapa A1-A3

Las cantidades de obra y de materiales se mantienen iguales para el “Edificio Prado Verde 2”, debido a que su variación depende más del diseño estructural del proyecto y con el fin de mantener la funcionalidad del edificio.

La selección de los materiales a sustituir en el nuevo modelo se basó en las recomendaciones de One Click LCA para alternativas de menor impacto, complementadas con los lineamientos de la Guía de materiales para la construcción sostenible del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.

Cemento. Considerando el modelo “Edificio Prado Verde”, One Click LCA, en la sección “Materiales más influyentes (Calentamiento global)”, sugiere alternativas de menor impacto. Para el cemento recomienda Compound Portland cement from blast furnace, CEM III, 40 MPa, sulphate resistant, CP III-40 RS (Votorantim Cimentos). (ver Figura 30)

Figura 30

Cemento alternativo sostenible recomendado por One Click LCA

Alternativas sostenibles en Colombia y países vecinos				
No.	Nombre completo		Clasificación del rendimiento:	GWP CO ₂ / KG
Current	Cemento de alto horno, genérico, CEM III/A, 50% GGBS content (One Click LCA)	?	268 / 730 Ver el ranking completo:	0.648
1.	Compound Portland cement from blast furnace, CEM 3, 40 Mpa, sulphate resistant, CP III-40 RS (Votorantim Cimentos)	?	99 / 730 Ver el ranking completo:	0.413

Nota. Elaboración propia en el programa One Click LCA (2025)

Debido a que el cemento recomendado por One Click LCA es utilizado tradicionalmente para estructuras que necesitan altas resistencias como puentes, se decide no tomar la recomendación y poder investigar un tipo de cemento acorde a la estructura estudiada, Figura 31.

Figura 31

Opciones sustentables de cemento en One Click LCA

Nuevo material:

CEM III

DATOS GENÉRICOS LOCALES (6) - Usar cuando no han sido seleccionados o el fabricante no tiene datos específicos

- Cemento de alto horno, genérico, CEM III/B, 80% GGBS content (One Click LCA) - One Click LCA ?
- Cemento de alto horno, genérico, CEM III/B, 70% GGBS content (One Click LCA) - One Click LCA ?
- Cemento de alto horno, genérico, CEM III/A, 60% GGBS content (One Click LCA) - One Click LCA ?
- Cemento de alto horno, genérico, CEM III/A, 50% GGBS content (One Click LCA) - One Click LCA ?
- Cemento de alto horno, genérico, CEM III/A, 40% GGBS content (One Click LCA) - One Click LCA ?
- Cemento de alto horno, genérico, CEM III/B, 75% GGBS content (One Click LCA) - One Click LCA ?

Blast furnace cement, generic, CEM III/A, 60% GGBS content (One Click LCA)

Mostrar filas vacías

▼ Información y tareas del proyecto

Name (ES) Cemento de alto horno, genérico

País Colombia

Fabricante One Click LCA

Tipo de material Cemento

► Información de referencia de los datos

► Características técnicas

▼ Perfil medioambiental

Potencial de calentamiento global (A1-A3) 0.56 kg CO₂e / kg

Rendimiento en grupo Cemento

Clasificación de rendimiento CO₂ CML/kg: 193 / 730 Ver el ranking completo

Nota. Tomado de la sección “Materiales de construcción” de One Click LCA (2025)

De las alternativas revisadas en One Click LCA, se seleccionó el “Cemento de alto horno, genérico, CEM III/A, 60% GGBS”, que incorpora 60 % de escoria granulada de alto horno (GGBS) y 40 % de clinker con un impacto de 0,56 kg CO₂e/kg. Esta opción ofrece un mejor compromiso entre reducción de CO₂ y desarrollo de resistencia temprana, manteniendo el desempeño del concreto.

Aunque en la Figura 31 existen alternativas con menor huella (identificadas por la nube verde más oscura), no se recomienda superar el 60 % de GGBS porque el proyecto requiere desencofrado rápido, condición que demanda una ganancia de resistencia inicial más acelerada.

Acero de refuerzo. La recomendación sostenible de One Click LCA para el “Edificio Prado Verde (Modelo 2)” es un acero de refuerzo “Reinforcement steel (rebar), TS: 294-530 N/mm², YS: 245-490 N/mm², 7850 kg/m³ (ArcelorMittal)” como se muestra en la Figura 32.

Figura 32

Acero de refuerzo alternativo sostenible recomendado por One Click LCA

Alternativas sostenibles en Colombia y países vecinos			
No.	Nombre completo	Clasificación del rendimiento:	GWP CO ₂ / KG
Current	Reinforcement steel (rebar), manufacturers average, 7850 kg/m ³ (Gerdau)	179 / 435  Ver el ranking completo:	0.813
1.	Reinforcement steel (rebar), TS: 294-530 N/mm ² , YS: 245-490 N/mm ² , 7850 kg/m ³ (ArcelorMittal)	170 / 435  Ver el ranking completo:	0.786

Nota. Elaboración propia en el programa One Click LCA (2025)

Sin embargo, siguiendo la Guía de materiales para la construcción sostenible, que propone sustituir insumos convencionales por alternativas como la chatarra para reducir los impactos a lo largo del ciclo de vida, se considera el uso de acero reciclado, el cual mantiene las propiedades inherentes del acero original. (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE et al., 2022)

En la base de datos de One Click LCA se encuentra un recurso sostenible con chatarra identificado como “Reinforcement steel (rebar) from steel scrap (Gerdau,Tultitlan plant)” cuya EPD tiene origen Mexicano con un valor de impacto de calentamiento global de 0,47 kg CO₂e/kg, el cual será ajustado por localización a Colombia. El valor finalmente ajustado según One Click LCA es de 0,38 kg CO₂e/kg.

Los agregados se mantienen bajo el mismo criterio de recurso, debido a que por ser materiales naturales sus impactos son bajos y no representan un porcentaje significativo dentro del sistema según el análisis realizado para el “Edificio Prado Verde”.

Escenario para la etapa A4

En relación con el transporte se realiza el cambio para el traslado del cemento, considerando una planta cementera más cercana a Ocaña que es CEMEX la cual está dentro de Norte de Santander, ubicada en el municipio los Patios. La distancia entre Ocaña y el municipio los patios es aproximadamente 205 km lo cual modificará el tramo 1 (leg1) en el “Edificio Prado

Verde (Modelo 2)” pero que no afectará el tramo 2 (leg2) y tampoco el tipo de transporte de ambos tramos.

Escenario para la etapa A5

Consumo de energía. El tipo de consumo de la bomba de concreto se cambia de diésel a eléctrico, debido a que durante el análisis del “Edificio Prado verde” se observó una notable diferencia entre el consumo de combustible y el consumo de energía eléctrica. Se considera una bomba de concreto eléctrica con una potencia nominal de 37 kW con un tiempo de uso en la obra de 152 horas lo que arroja una energía de 2812 kWh.

Desperdicio. El porcentaje de desperdicio de materiales se reduce se mantiene igual al considerado el primer modelo “Edificio Prado Verde” ya que se consideraron desperdicios bastante bajos teniendo en cuenta que en estos tipos de obra los materiales como el acero de refuerzo se puede comprar ya cortados o preformados y las mezclas para el concreto son controladas en obra.

Los criterios de cambio se enfocaron en los materiales con mayor impacto en el potencial de calentamiento global, es decir, el cemento y el acero de refuerzo. Además, se ajustaron algunos recursos y parámetros de transporte para adoptar alternativas más eficientes, viables para el tipo de proyecto y las condiciones del sitio. Con el fin de mantener transparencia y claridad sobre el nuevo escenario para el “Edificio Prado Verde (Modelo 2)” se presentan las consideraciones en la Tabla 22.

Tabla 22*Plan de cambios por etapa (A1-A5)*

Etapas	Escenario	Descripción cambio	Software/Fuente	Referencia del recurso	Impacto base kg CO₂e/UD	Impacto propuesto kg CO₂e/UD
A1-A3	Cemento bajo carbono	Cemento de alto horno con 60% de escoria	One Click LCA (Genérico - Colombia)	Cemento de alto horno, genérico, CEM III/A, 60% GGBS	0,65 kg CO ₂ e/kg	0,40 kg CO ₂ e/kg
	Acero reciclado (EAF)	Acero de refuerzo a partir de chatarra de acero	One Click LCA (EPD Gerdau – México)	Reinforcement steel (rebar) from steel scrap (Gerdau, Tultitlan plant)	0,77 kg CO ₂ e/kg	0,38 kg CO ₂ e/kg
A4	Optimización del transporte del cemento	Se cambia el proveedor del cemento a CEMEX con fábrica a una distancia de 205 km	One Click LCA (OKOBAUDAT-Alemania)	Truck, double trailer, 30-34 ton, E5	0,0644 kg CO ₂ e/tkm	0,0383 kg CO ₂ e/tkm
A5	Electrificación de obra	La bomba de concreto cambia su combustible diésel a energía eléctrica con potencia de 37 kW	One Click LCA (IEA2020 -Colombia)	Electricity, Colombia, 2020, One Click LCA	3,35 kg CO ₂ e/L	0,38 kg CO ₂ e/kWh

Nota. Se cambiaron los materiales con mayor huella de carbono presentada en el análisis del “Edificio Prado Verde”, se optimizó el transporte en el cemento considerando la única planta dentro de Norte de Santander (CEMEX) y se dejan todos los equipos trabajando con energía eléctrica incluida la bomba de concreto.

4.2.8.2 Diseño del “Edificio Prado Verde (Modelo 2)”. Dado que la metodología de modelado en One Click LCA ya fue descrita, por consiguiente, se resumen los parámetros más importantes del diseño del “Edificio Prado Verde (Modelo 2)”.

One Click tiene la ventaja de duplicar un proyecto ya creado, por consiguientes se usa esta herramienta y se copia el proyecto renombrándolo a “Edificio Prado Verde (Modelo 2)” como se puede ver en la Figura 33.

Figura 33

Presentación de los dos modelos realizados en One Click LCA

▼ Fase de diseño: 2 diseños		⚙️ Parámetros ▼	+ Añadir un diseño	📊 Comparar datos	🏠 Carbon Designer 3D ▼	🔧 Herramientas ▼
Herramienta	Unidad	4 - Edificio Prado Verde ▼		4 - Edificio Prado Verde (Modelo 2) ▼		
Análisis de ciclo de vida para Level(s) (EN15804 +A1) ? Ayuda	kg CO ₂ e	Entrada de datos ✎ ▼		Entrada de datos ✎ ▼		
Análisis de ciclo de vida para Level(s) (EN15804 +A2) ? Ayuda	kg CO ₂ e	Entrada de datos ✎ ▼		Entrada de datos ✎ ▼		
Building Circularity ? Ayuda	%	9,51 ✎ ▼		8,02 ✎ ▼		

Nota. Elaboración propia en el programa One Click LCA (2025)

Es de anotar que la herramienta de cálculo utilizada sigue siendo EN15804+A1 con el fin de mantener una linealidad de resultados y poder realizar una comparación entre los dos diseños.

Una vez realizados los cambios al “Edificio Prado Verde (Modelo 2)” se calcula el impacto de calentamiento global de 62.640,15 kg CO₂e y con relación al área construida de 85,57 kg CO₂e/m² como se puede apreciar en la Figura 34.

Figura 34*Resumen de resultados por categoría e impacto ambiental (Modelo 2)***Análisis de ciclo de vida para Level(s) en cumplimiento con la norma EN 15978** [Descargar resumen de resultados](#)

Categoría de resultados		Calentamiento Global kg CO ₂ e ⓘ	Almacenamiento de carbono biogénico kg CO ₂ e bio ⓘ	Agotamiento de la capa de ozono kg CFC11e ⓘ	Acidificación kg SO ₂ e ⓘ	Eutrofización kg PO ₄ e ⓘ	Formación de ozono en la baja atmósfera kg Ethenee ⓘ	Potencial de agotamiento abiótico (APD- elements) de recursos no fósiles kg Sbe ⓘ	Potencial de agotamiento abiótico (ADP- combustibles fósiles) de los recursos fósiles MJ ⓘ	
A1-A3 ⓘ	Producto de construcción	56 217,76	0	0	209,56	38,34	17,23	0,33	30 059 415,69	Detalles
■ A4 ⓘ	Transporte a la construcción	4 540,56	0	0	10,36	2,46	-3,41	0	60 660,9	Detalles
A4	Transporte a la obra	4 461,37		0	10,18	2,42	-3,35	0	59 603,47	Detalles
A4-leg2	Transporte a la construcción - leg 2	79,19	0	0	0,18	0,04	-0,06	0	1 057,44	Detalles
■ A5 ⓘ	Proceso de instalación/construcción	1 881,83		0	9,52	1,92	0,4	0	613 016,2	Detalles
A5a	Operaciones del sitio y manejo de desechos del sitio	1 265,21		0	7,21	1,5	0,27	0	16 331,96	Detalles
A5b	Transporte de residuos del sitio	5,6		0	0,01	0	-0	0	74,71	Detalles
A5c	Sitio de construcción - desperdicio de material - materiales	567,63		0	2,19	0,4	0,18	0	596 029,84	Detalles
A5d	Sitio de construcción - desperdicio de material - transporte	43,4		0	0,1	0,02	-0,03	0	579,68	Detalles
Total		62 640,15	0	0	229,44	42,73	14,23	0,33	30 733 092,79	
Resultados por denominador										
Por superficie interior bruta m ² / año										
Por superficie interior bruta m ²		85,57	0	0	0,31	0,06	0,02	0	41 985,1	

Nota. Elaboración propia en el programa One Click LCA (2025)

En el análisis por etapas, A1–A3 concentra la mayor parte del impacto de calentamiento global: 89,75 % (56217,76 kg CO₂e), como se muestra en la Tabla 23 y Figura 35.

Es importante notar que, A4-leg2 es la etapa que menor impacto tiene, sin embargo sumada con A4 para consolidar la etapa de transporte tiene un impacto del 7,25% la cual es mayor que la etapa A5 que tiene solo el 3.00% de impacto dentro del sistema.

Tabla 23

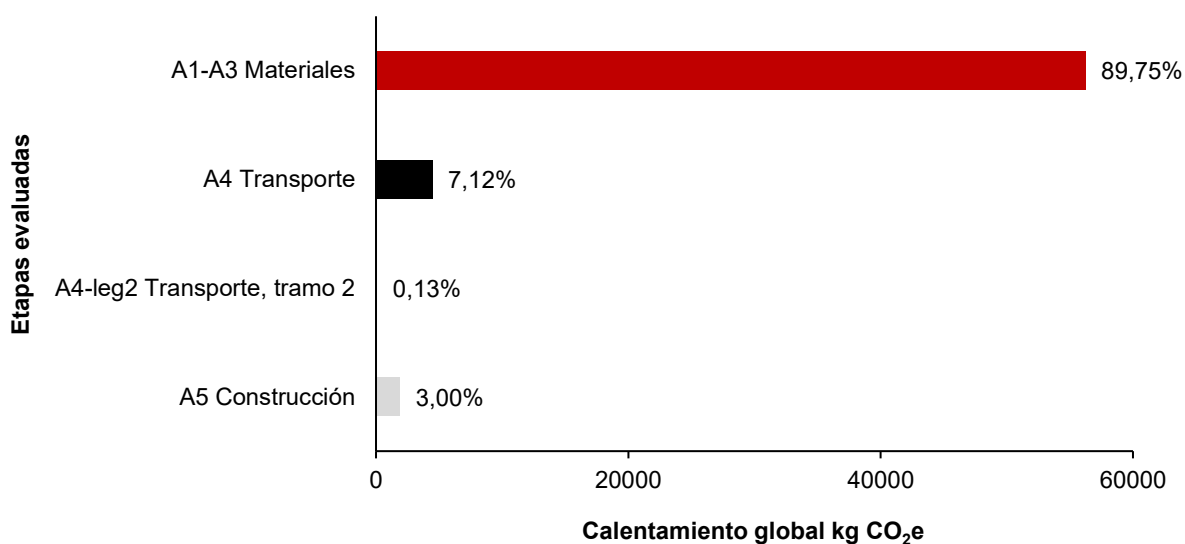
Calentamiento global – Fases del ciclo de vida analizadas (Modelo 2)

Etapas	Calentamiento global	Unidad	Porcentaje (%)
A1-A3 Materiales	56217,76	kg CO ₂ e	89,75%
A4 Transporte	4461,37	kg CO ₂ e	7,12%
A4-leg2 Transporte, tramo 2	79,19	kg CO ₂ e	0,13%
A5 Construcción	1881,83	kg CO ₂ e	3,00%

Nota. Tabla adaptada de la sección “Calentamiento global kg CO₂e – Fases del ciclo de vida” del módulo de resultados para “Edificio Prado Verde (Modelo 2)” de One Click LCA (2025)

Figura 35

Calentamiento global - Fases del ciclo de vida analizadas - Modelo 2



Nota. Gráfica adaptada de la sección “Calentamiento global kg CO₂e – Fases del ciclo de vida” del módulo de resultados para “Edificio Prado Verde (Modelo 2)” de One Click LCA (2025)

En el análisis de la estructura, la etapa A1-A-3 se mantiene como la de mayor impacto con un 89,75% seguida de la etapa A4 (Transporte) con un 7,12% (ver Tabla 24)

Tabla 24

Valor del Calentamiento Global (GWP) agrupados por partes (Modelo 2)

Categoría	Materiales A1-A3 (kg CO₂e)	Transporte A4 (kg CO₂e)	Transporte A4-leg2 (kg CO₂e)	Construcción A5 (kg CO₂e)	Impacto A1-A5 (kg CO₂e)
Cimentación	11753,86	724,25	16,57	128,20	12622,89
Marco estructural portante	27791,20	1619,43	39,18	300,94	29750,74
Forjados superiores	15969,27	970,41	22,45	174,21	17136,34
Escaleras	703,43	42,63	0,99	7,67	754,72
Viajes adicionales	0	1104,65	0	0	1104,65
Consumo eléctrico de la obra	0	0	0	1251,21	1251,21
Consumo de agua	0	0	0	14,00	14,00
Residuos de construcción	0	0	0	5,60	5,60
Cantidad de Impacto de cada etapa	56217,76	4461,37	79,19	1881,83	62640,15
Porcentaje de impacto de cada etapa	89,75 %	7,12 %	0,13 %	3,00 %	100,00 %

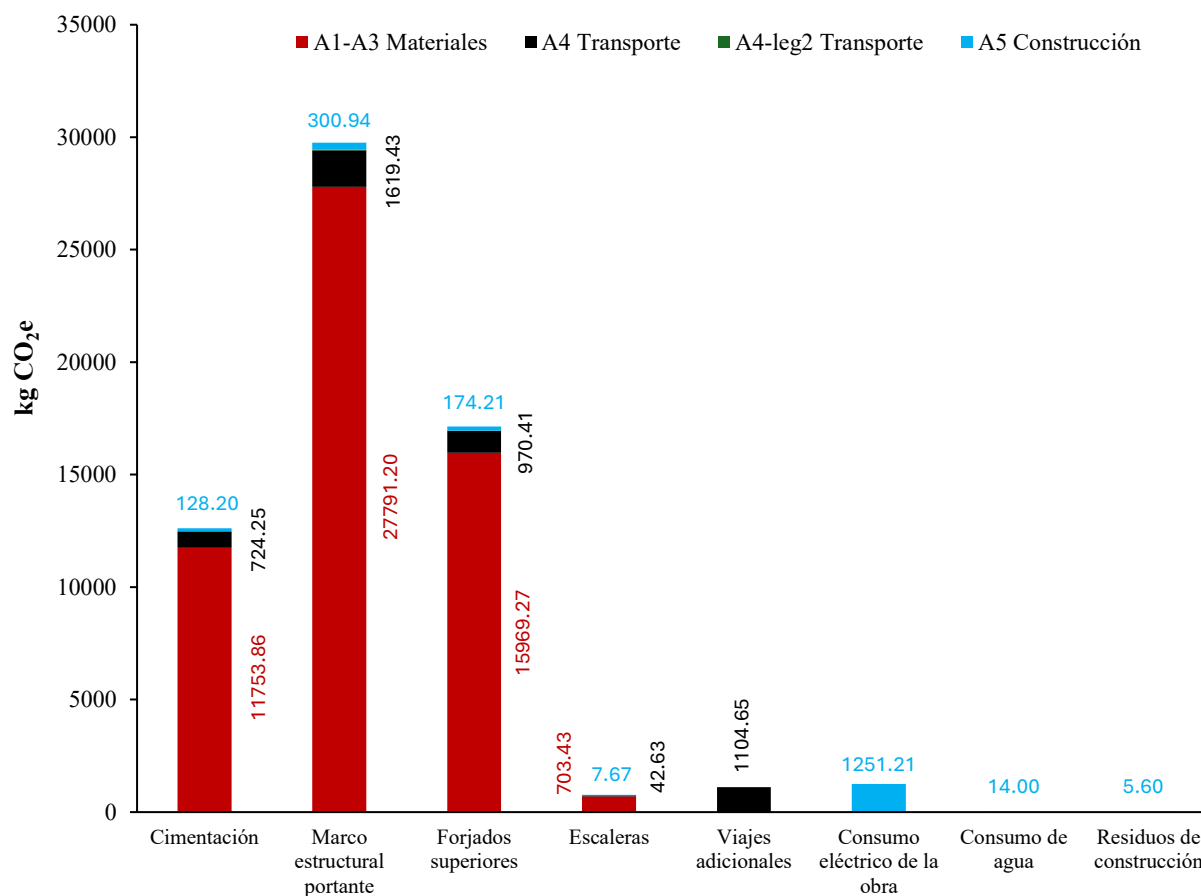
Nota. Tabla adaptada de “Clasificaciones” del módulo de resultados para “Edificio Prado Verde (Modelo 2)” de One Click LCA (2025)

La gráfica de la Figura 36, junto con la Tabla 24, muestra que el impacto se concentra en materiales A1-A3, que aportan 89,75 % del GWP total ($\approx 56,22$ t CO₂e), mientras que A4 representa 7,12 % ($\approx 4,46$ t CO₂e), A4-leg2 es marginal con 0,13 % ($\approx 0,08$ t CO₂e) y A5 suma 3,00 % ($\approx 1,88$ t CO₂e). Por partes del edificio, el marco estructural portante es el principal punto crítico con aproximadamente 29,75 t CO₂e en total, seguido por los forjados superiores con 17,14 t CO₂e y por la cimentación con 12,62 t CO₂e; las escaleras son poco representativas con aproximadamente 0,75 t CO₂e. Fuera de los elementos, “viajes adicionales” aporta 1,10 t CO₂e (A4 Transporte) y el “consumo eléctrico de la obra” aproximadamente 1,25 t CO₂e (A5), ambos pequeños frente a los materiales.

En la Figura 36, el submódulo A4-leg2 (transporte) es prácticamente imperceptible por su baja contribución al sistema (0,13%).

Figura 36

Calentamiento Global (GWP) por partes del edificio desglose (Modelo 2)



Nota. Gráfica adaptada de datos exportados (Modelo 2) de One Click LAC (2025)

El material más influyente en el impacto de calentamiento global considerando solamente la etapa A1-A3 (cuna a puerta) sigue siendo el cemento con 43 ton CO₂e (76,8%) seguido del acero de refuerzo con 9,3 ton CO₂e (16,6%). Los demás materiales siguen con un impacto no tan representativo comparado con el cemento y el acero de refuerzo. (ver Figura 37)

Figura 37*Materiales más influyentes (Calentamiento global)- Modelo 2*

No.	Recurso	Impactos de cuna a puerta (A1-A3)	De cuna a puerta (A1-A3)
1.	Cemento de alto horno, genérico, CEM III/A, 60% GGBS content  ?	43 toneladas CO ₂ e	76.8 %
2.	Reinforcement steel (rebar) from steel scrap,  ?	9,3 toneladas CO ₂ e	16.6 %
3.	Concrete admixture - set accelerators, 1-1.6 g/ml  ?	2,1 toneladas CO ₂ e	3.8 %
4.	Crushed rock, 8–16 mm, 1680 kg/m ³  ?	0,81 toneladas CO ₂ e	1.4 %
5.	Sand used in industries, concrete and asphalt, ?	0,8 toneladas CO ₂ e	1.4 %

Nota. Elaboración propia en el programa One Click LCA (2025)

En relación con los tipos de recurso, el cual tiene en cuenta la cantidad de kg CO₂e por material y transporte respectivo, sigue siendo relevante el impacto de calentamiento global generado por el cemento como un 72,01% (45.107,27 kg CO₂e) seguido del acero de refuerzo con un 16,31% (10.218,73 kg CO₂e). Los demás materiales siguen siendo poco representativo en cuanto a su impacto con influencia entre el 0,01% y el 4,30%. (ver Tabla 25 y Figura 38).

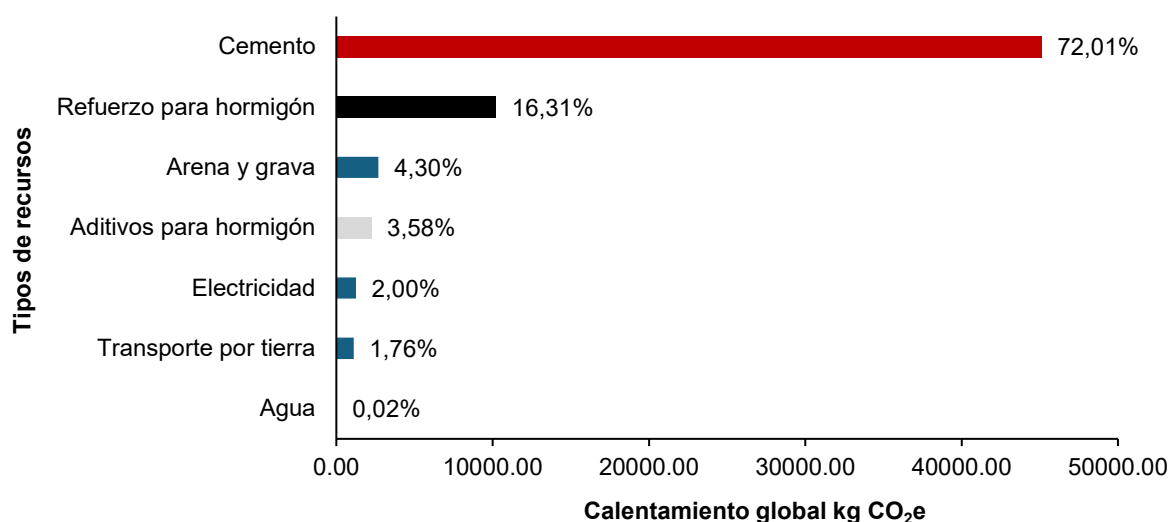
Tabla 25*Calentamiento global kg CO₂e – Tipos de recurso*

Recurso	Calentamiento global	Unidad	Porcentaje (%)
Cemento	45107,27	kg CO ₂ e	72,01%
Refuerzo para hormigón	10218,73	kg CO ₂ e	16,31%
Arena y grava	2695,91	kg CO ₂ e	4,30%
Aditivos para hormigón	2242,79	kg CO ₂ e	3,58%
Electricidad	1251,21	kg CO ₂ e	2,00%
Transporte por tierra	1104,65	kg CO ₂ e	1,76%
Agua	14,00	kg CO ₂ e	0,02%
Otros residuos	5,60	kg CO ₂ e	0,01%

Nota. Tabla adaptada de la sección “Calentamiento global kg CO₂e – Tipos de recurso” del módulo de resultados para “Edificio Prado Verde (Modelo 2)” de One Click LCA (2025)

Figura 38

Calentamiento global kg CO₂e – Tipos de recursos (Modelo 2)



Nota. Gráfica adaptada de la sección “Calentamiento global kg CO₂e – Tipos de recurso” del módulo de resultados para “Edificio Prado Verde (Modelo 2)” de One Click LCA (2025)

Analizando la estructura, se observa que el mayor impacto de calentamiento global se encuentra en los muros estructurales del sistema industrializado con un impacto de 29750,74 kg CO₂e con un 49,37% del total del edificio como se puede observar en la Tabla 26 y Figura 39.

Tabla 26

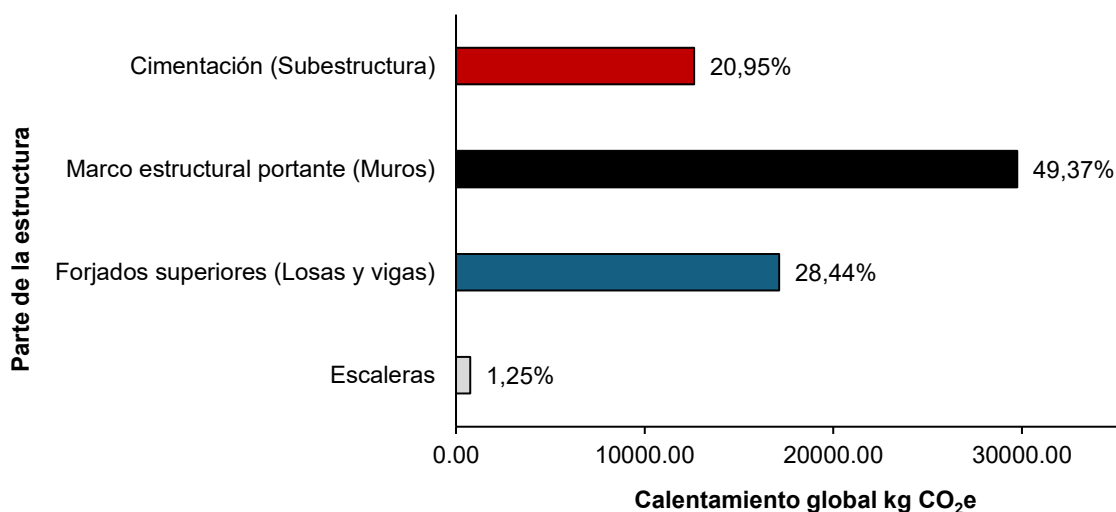
Calentamiento global kg CO₂e por partes de la estructura (Modelo 2)

Parte de la estructura	valor	Unidad	Porcentaje (%)
Cimentación (Subestructura)	12622,89	kg CO ₂ e	20,95%
Marco estructural portante (Muros)	29750,74	kg CO ₂ e	49,37%
Forjados superiores (Losas y vigas)	17136,34	kg CO ₂ e	28,44%
Escaleras	754,72	kg CO ₂ e	1,25%

Nota. Tabla adaptada de la sección “Calentamiento global kg CO₂e - Clasificaciones” del módulo de resultados para “Edificio Prado Verde (Modelo 2)” de One Click LCA (2025)

Figura 39

Calentamiento global kg CO₂e por partes de la estructura (Modelo 2)



Nota. Gráfica adaptada de la sección “Calentamiento global kg CO₂e - Clasificaciones” del módulo de resultados para “Edificio Prado Verde (Modelo 2)” de One Click LCA (2025)

La Tabla 27 y la Figura 40 muestran que, por unidad, el concreto de 24,5 MPa tiene mayor huella: 257,72 kg CO₂e/m³ frente a 240,23 kg CO₂e/m³ del 21 MPa (≈ 7 % más), por eso concentra 51,76 % del impacto unitario.

Tabla 27

Calentamiento global kg CO₂e/m³ de concreto (Modelo 2)

Tipo de concreto	Volumen (m ³)	kg CO ₂ e	kg CO ₂ e/m ³	Porcentaje (%)
Resistencia 21 MPa	127,02	30513,95	240,23	48,24%
Resistencia 24,5 MPa	115,44	29750,74	257,72	51,76%

Figura 40

Impacto $\text{kg CO}_2\text{e/m}^3$ de concreto según resistencia (Modelo 2)

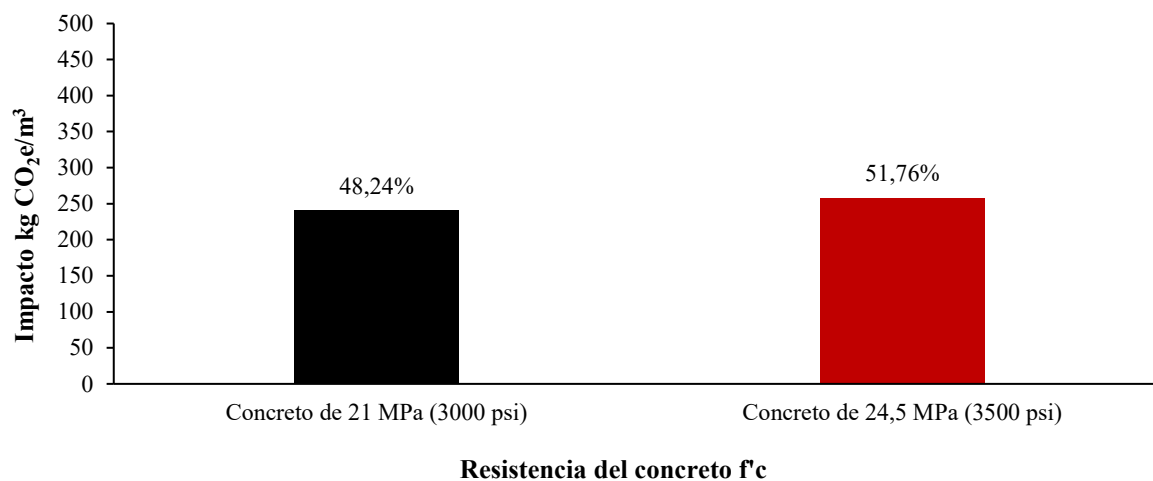
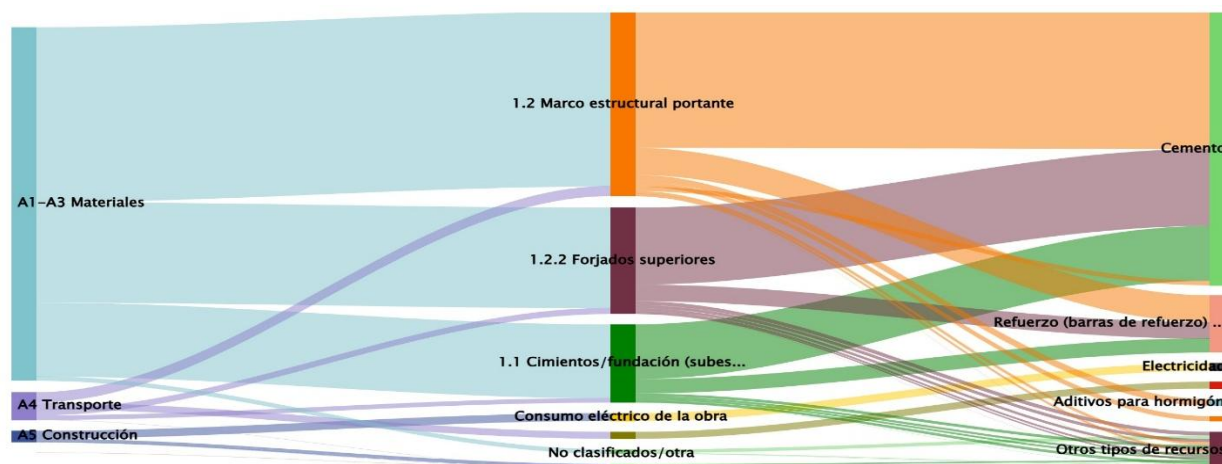


Diagrama Sakey, calentamiento global. En la Figura 41 se observa que el marco estructural portante (muros) es el componente con mayor contribución a la huella de carbono del edificio; la mayor parte de este impacto proviene de los materiales, en particular del cemento.

Figura 41

Diagrama Sankey, calentamiento global



Nota. Tomado de la sección “Sankey” del módulo de resultados de One Click LCA (2025)

4.2.9 Comparación de escenarios

La evaluación comparativa de escenarios se basa en la explicitación de los cambios introducidos en cada aspecto relevante para la reducción de la huella de carbono del edificio industrializado objeto de estudio. Esta información se resume en la matriz (véase Tabla 28).

Tabla 28

Matriz de comparación de escenarios

Aspecto / Indicador	Módulos	Escenario 1			Escenario 2		
		Edificio Prado Verde (Base)			Edificio Prado Verde (Modelo 2)		
		Cantidad	Impacto	Recurso	Cantidad	Impacto	Recurso
Cemento / %Sustitución Clinker mayor (Escoria)	A1-A3	109.197,99 kg	0,65 kg CO ₂ e/kg	CEM III/A (50% GGBS)	109.197,99 kg	0,40 kg CO ₂ e/kg	CEM III/A (60% GGBS)
Acero de refuerzo / Sustitución 100% chatarra	A1-A3	24.433,92 kg	0,77 kg CO ₂ e/kg	Rebar Steel (Gerdau)	24.433,92 kg	0,38 kg CO ₂ e/kg	Rebar from Steel scrap (Gardau)
Agregado grueso / No cambia	A1-A3	190.684,19 kg	0,0043 kg CO ₂ e/kg	Crushed rock, 8 – 16 mm	190.684,19 kg	0,0043 kg CO ₂ e/kg	Crushed rock, 8 – 16 mm
Agregado fino / No cambia	A1-A3	224.468,34 kg	0,0036 kg CO ₂ e/kg	Sand used in industries	224.468,34 kg	0,0036 kg CO ₂ e/kg	Sand used in industries
Aditivos / No cambia	A1-A3	1.638,55 kg	1,31 kg CO ₂ e/kg	Concrete admixture (EFCA)	1.638,55 kg	1,31 kg CO ₂ e/kg	Concrete admixture (EFCA)
Transporte leg1/Reducción distancia fábrica de cemento	A4	450 km	0,0644 kg CO ₂ e/tkm	Fábrica de cemento ALIÓN	205 km	0,0383 kg CO ₂ e/tkm	Fábrica de cemento CEMEX
Transporte leg2 / No cambia	A4-leg2	4.5 km	0,13 kg CO ₂ e/tkm	Truck, small 12-14 ton, E5	4.5 km	0,13 kg CO ₂ e/tkm	Truck, small 12-14 ton, E5
Combustible / Bomba de concreto pasa de diésel a eléctrica	A5a	643 L	3,35 Kg CO ₂ e/L	Diesel combusted	2812 kWh	0,38 Kg CO ₂ e/kWh	Electricity, Colombia, 2020
Electricidad / Los equipos eléctricos iniciales siguen eléctricos	A5a	482 kWh	0,38 Kg CO ₂ e/kWh	Electricity, Colombia, 2020	482 kWh	0,38 Kg CO ₂ e/kWh	Electricity, Colombia, 2020

Aspecto / Indicador	Módulos	Escenario 1			Escenario 2		
		Edificio Prado Verde (Base)			Edificio Prado Verde (Modelo 2)		
		Cantidad	Impacto	Recurso	Cantidad	Impacto	Recurso
Agua / Uso de agua de mezclado no cambia	A5a	51746,61 kg	0,0003 Kg CO ₂ e/kg	Tap wáter, conventionall y treated	51746,61 kg	0,0003 Kg CO ₂ e/kg	Tap wáter, conventionall y treated
Residuos / Transporte no cambia	A5b	4.5 km	0,13 kg CO ₂ e/tkm	Truck, small 12-14 ton, E5	4.5 km	0,13 kg CO ₂ e/tkm	Truck, small 12-14 ton, E5
Desperdicios / No cambia cantidad ni transporte	A5c – A5d	9647,56 kg	Depende del material / transporte	Depende del material / transporte	9647,56 kg	Depende del material / transporte	Depende del material / transporte

4.2.9.1 Comparación del impacto en el edificio. Como se puede apreciar en la Tabla 29 el mayor impacto de la huella de carbono por unidad funcional del edificio (kg CO₂e/m²) en las etapas del ciclo de vida evaluadas lo genera el “Edificio Prado Verde” con 140,51 kg CO₂e/m² frente a 85,57 kg CO₂e/m² del “Edificio Prado Verde (Modelo 2)”.

Lo anterior indica que se logró una optimización del modelo 2 por metro cuadrado de impacto de 39,10% reduciendo impacto en los materiales, distancia de transporte y equipos.

Tabla 29

Impacto de kg CO₂e por etapas de edificio base y modelo 2

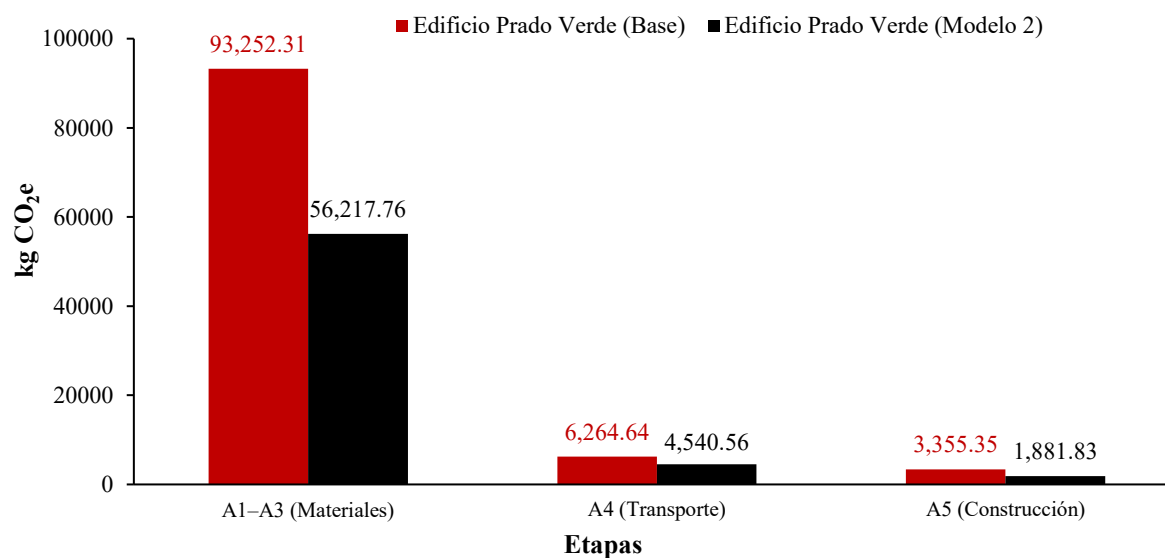
Escenario	Área (m ²)	Materiales A1–A3 (kg CO ₂ e)	Transporte A4 (kg CO ₂ e)	Construcción A5 (kg CO ₂ e)	A1–A5 (kg CO ₂ e)	A1–A5 (kg CO ₂ e/m ²)
Edificio Prado Verde (Base)	732,12	93.252,31	6.264,64	3.355,35	102.872,31	140,51
Edificio Prado Verde (Modelo 2)	732,12	56.217,76	4.540,56	1.881,83	62.640,15	85,57
Reducción por etapas (R)		37.034,55	1.724,08	1.473,52	40.232,16	54,94
Optimización por etapa		39,71 %	27,52 %	43,92 %	39,10 %	Opt = 39,10 %

Escenario	Área (m ²)	Materiales A1–A3 (kg CO ₂ e)	Transporte A4 (kg CO ₂ e)	Construcción A5 (kg CO ₂ e)	A1–A5 (kg CO ₂ e)	A1–A5 (kg CO ₂ e/m ²)
Aporte (REtapa/RA1-A5)*100%		92,05 %	4,29 %	3,66 %	100,00 %	

En la Figura 42 se observa que el diseño inicial “Edificio Prado Verde” presenta los mayores impactos en todas las etapas. Al comparar con el Modelo 2, la reducción total en A1–A5 es de 40,23 t CO₂e; de ese recorte, A1–A3 aporta el 92,05 % (-37,03 t CO₂e), A4 el 4,29 % (-1,72 t CO₂e) y A5 el 3,66 % (-1,47 t CO₂e). Es decir, el mayor aporte en la reducción del impacto proviene principalmente de los cambios realizados en los materiales (A1–A3), sin embargo con los cambios realizados la etapa que más se pudo optimizar fue la A5 con 43,92% seguida de los materiales (A1-A3) con el 39,71%.

Figura 42

Comparación de etapas del ciclo de vida (A1-A5) por diseño



Nota. Elaboración propia con resultados generados por One Click LCA (2025)

4.2.9.2 Comparación de materiales. Al comparar los impactos por material entre modelos, se observa que la mayor contribución a la reducción proviene del cemento, con 74,54 % (-27,60 t CO_{2e}), seguida del acero de refuerzo, con 25,46 % (-9,43 t CO_{2e}). Los demás materiales no aportan reducción, dado que en el Modelo 2 no se incorporaron alternativas más sostenibles respecto al diseño inicial (ver Tabla 30).

Tabla 30

Impacto de kg CO_{2e} por materiales (A1-A3) de edificio base y modelo 2

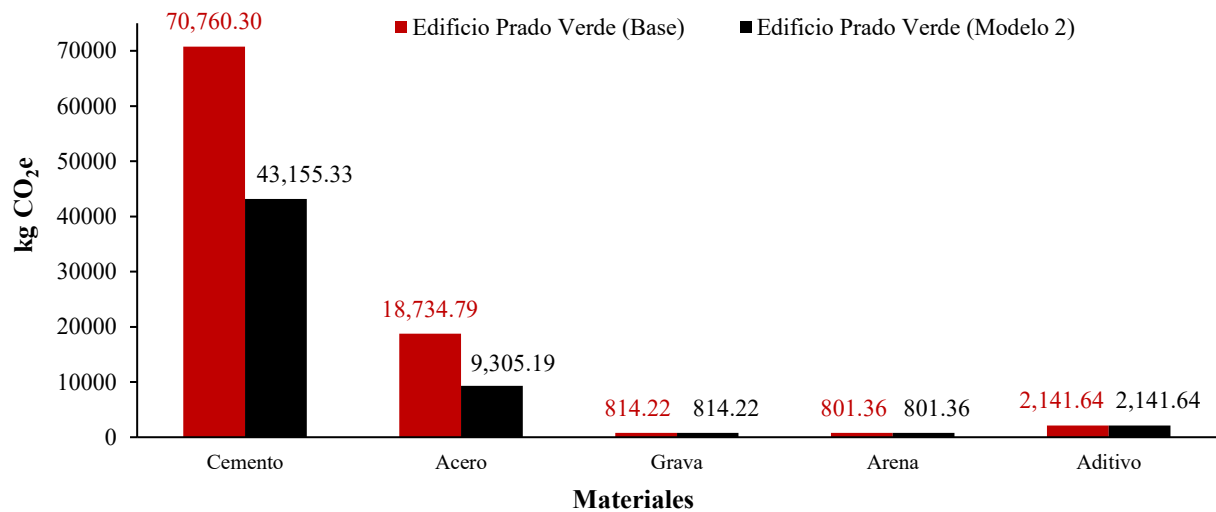
Escenario	Cemento kg CO _{2e}	Acero kg CO _{2e}	Grava kg CO _{2e}	Arena kg CO _{2e}	Aditivo kg CO _{2e}	A1-A3 kg CO _{2e}
Edificio Prado Verde (Base)	70.760,30	18.734,79	814,22	801,36	2.141,64	93.252,31
Edificio Prado Verde (Modelo 2)	43.155,33	9.305,19	814,22	801,36	2.141,64	56.217,74
Reducción por material (R)	27.604,97	9.429,60	0,00	0,00	0,00	37.034,57
Optimización por material	39,01 %	50,33 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	39,71 %
Aporte (RMaterial/ΣRMateriales)*100%	74,54 %	25,46 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	100%

Nota. Comparación del impacto de la huella de carbono de materiales (cuna a puerta) entre los edificios modelos analizados

La Figura 43 muestra que los agregados pétreos y el aditivo del concreto tienen una contribución muy baja al GWP; por ello no se plantearon modificaciones en el Modelo 2. Asimismo, One Click LCA no identificó alternativas con menor impacto que justificaran su sustitución. No obstante, en la práctica los agregados podrían reemplazarse por agregados reciclados de RCD; esta opción exige verificar el cumplimiento normativo.

Figura 43

Comparación de materiales (A1-A3) por diseño



Nota. Elaboración propia con resultados generados por One Click LCA (2025)

4.2.9.3 Comparación por partes de la estructura. Al comparar las partes de la estructura, en la Tabla 31, se puede observar que el marco estructural portante (muros) aporta la mayor reducción al impacto del calentamiento global con un 49,20% (-19,26 t CO₂e) seguido de los forjados superiores (Losas, vigas y dinteles) con un 28,35% (-11,10 t CO₂e) y no muy alejado de la cimentación 21,20% (-8,30 t CO₂e).

Tabla 31

Impacto de kg CO₂e por partes de la estructura base y modelo 2

Escenario	Cimentación kg CO ₂ e	Marco estructural P. kg CO ₂ e	Forjados superiores kg CO ₂ e	Escaleras kg CO ₂ e	Total kg CO ₂ e
Edificio Prado Verde (Base)	20.923,00	49.010,98	28.234,80	1.242,14	99.410,92
Edificio Prado Verde (Modelo 2)	12.622,89	29.750,74	17.136,34	754,72	60.264,69

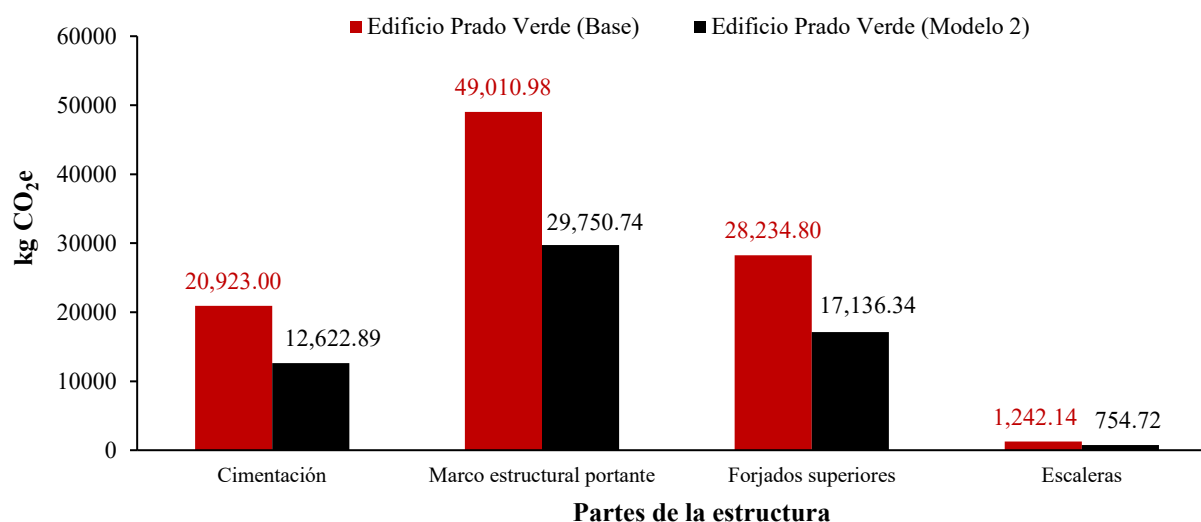
Escenario	Cimentación kg CO ₂ e	Marco estructural P. kg CO ₂ e	Forjados superiores kg CO ₂ e	Escaleras kg CO ₂ e	Total kg CO ₂ e
Reducción por partes (R)	8.300,11	19.260,24	11.098,46	487,42	39.146,23
Optimización por partes	39,67 %	39,30 %	39,31 %	39,24 %	39,38%
Aporte (RPartes/ Σ RPartes)*100%	21,20%	49,20%	28,35%	1,25%	100%

Con respecto a la estructura, se puede observar en la Tabla 31, que en general todas las partes de las estructuras se optimizaron relativamente igual ($\approx 39\%$), sin embargo la parte de la estructura que aportó más a la reducción fue el marco estructural portante conformados por los muros.

En la Figura 44 se observa que, en ambos modelos, las escaleras son el elemento estructural con menor impacto; asimismo, su contribución a la reducción es la más baja (1,25%).

Figura 44

Comparación por partes de la estructura y por diseño



Nota. Elaboración propia con resultados generados por One Click LCA (2025)

4.2.9.4 Análisis general de la reducción de la huella de carbono. La comparación entre los modelos evidencia que el Modelo 2 reduce el GWP en 39,10 % ($-54,94 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$) respecto del Modelo 1. La mejora se debe principalmente a la adopción de un cemento de bajo carbono con 60 % de escoria (CEM III/A) y a la especificación de acero de refuerzo reciclado con alto contenido de chatarra. Adicionalmente, contribuyeron la disminución de la distancia de transporte del cemento (A4) y el cambio de diésel a electricidad en la bomba de concreto (A5a)

En general, se evidencia que los muros estructurales son el componente con mayor contribución a la huella de carbono, principalmente por el alto consumo de cemento y, en segundo término, de acero de refuerzo. El menor aporte corresponde a las escaleras. Asimismo, los módulos A4 (transporte) y A5 (construcción) presentan una contribución baja frente a A1–A3

4.3 Proponer estrategias de reducción de la huella de carbono a través de acciones preventivas y correctivas para la mejora del impacto ambiental en la construcción de edificaciones con sistema constructivo industrializado.

Para proponer las estrategias para la reducción de la huella de carbono en la construcción de edificaciones industrializadas, se debe establecer los límites de estudio realizado, los cuales se presentan a continuación:

- El estudio se basó en una edificación industrializada con concreto in situ y construcción utilizando formaletas tipo manoportable.
- El análisis bibliométrico se realiza con el fin de determinar tendencias y factores importantes en el análisis de la huella de carbono en edificaciones industrializadas.
- Las etapas analizadas del ciclo de vida son las correspondientes A1-A3 (Extracción, transporte y fabricación de los materiales), A4 (Transporte al sitio) y A5 (Construcción).
- Cabe destacar que estas estrategias podrían resultar útiles en edificaciones residenciales con características similares a las del caso analizado

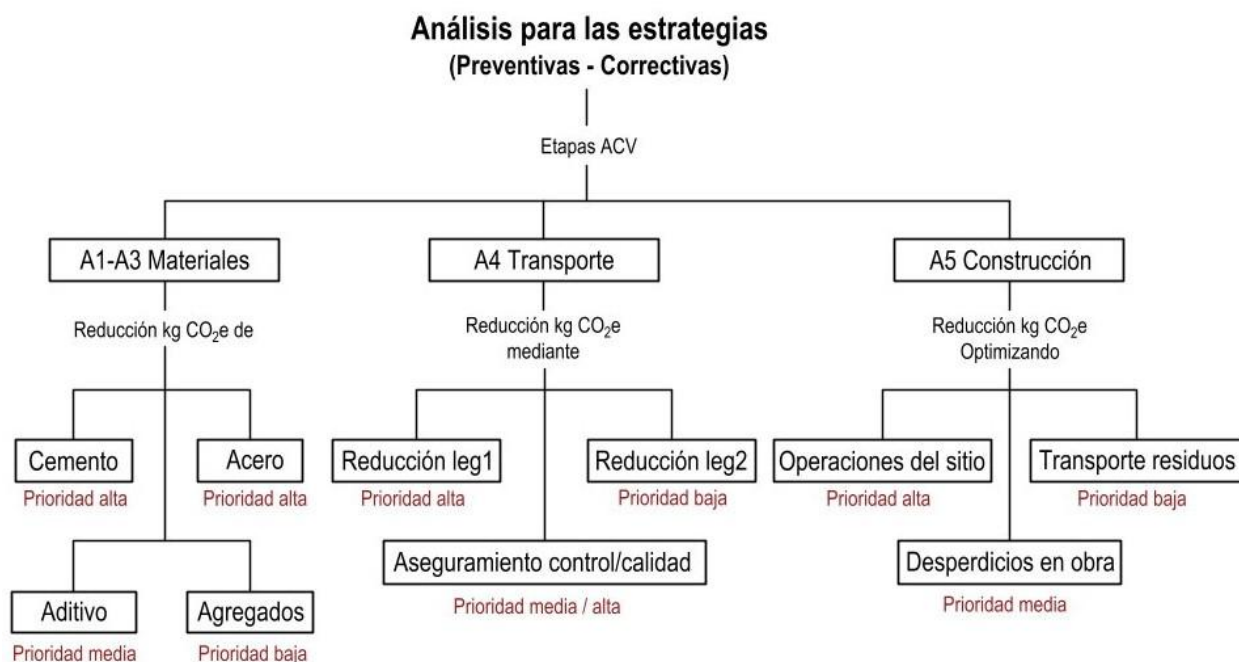
Del análisis bibliométrico se identificó que, a nivel internacional, la construcción industrializada se ejecuta mayoritariamente con muros prefabricados, lo que reduce la huella de carbono gracias a la fabricación en planta, la optimización de materiales, la disminución de desperdicios en obra y los menores tiempos de ejecución y transporte.

Asimismo, se identificó que el cemento es uno de los materiales con mayor contribución a la huella de carbono en edificaciones de concreto reforzado; en consecuencia, la literatura se ha enfocado en reducir el contenido de clinker mediante sustituciones con materiales cementantes suplementarios (escoria, puzolanas, caliza finamente molida).

Las estrategias, según lo identificado en el estudio de caso, se enfocarán en las etapas de carbono incorporado con límite de sistema hasta sitio de construcción con operaciones en obra (A1–A5). A continuación, se presenta el esquema general de las estrategias en la Figura 45.

Figura 45

Esquema orientador para el análisis de las estrategias



Cabe señalar que las estrategias se priorizaron en función del caso de estudio; dichas prioridades pueden variar según las condiciones del proyecto, en especial por factores A4 y A5.

A continuación, se proponen estrategias de reducción de la huella de carbono mediante acciones preventivas (diseño, especificación y planificación logística) y correctivas (gestión operativa en obra), estructuradas por etapa del ciclo de vida (A1–A5), con prioridades y metas que permitan mejorar el desempeño ambiental del sistema constructivo industrializado.

4.3.1 Estrategias para etapa A1-A3 (Materiales)

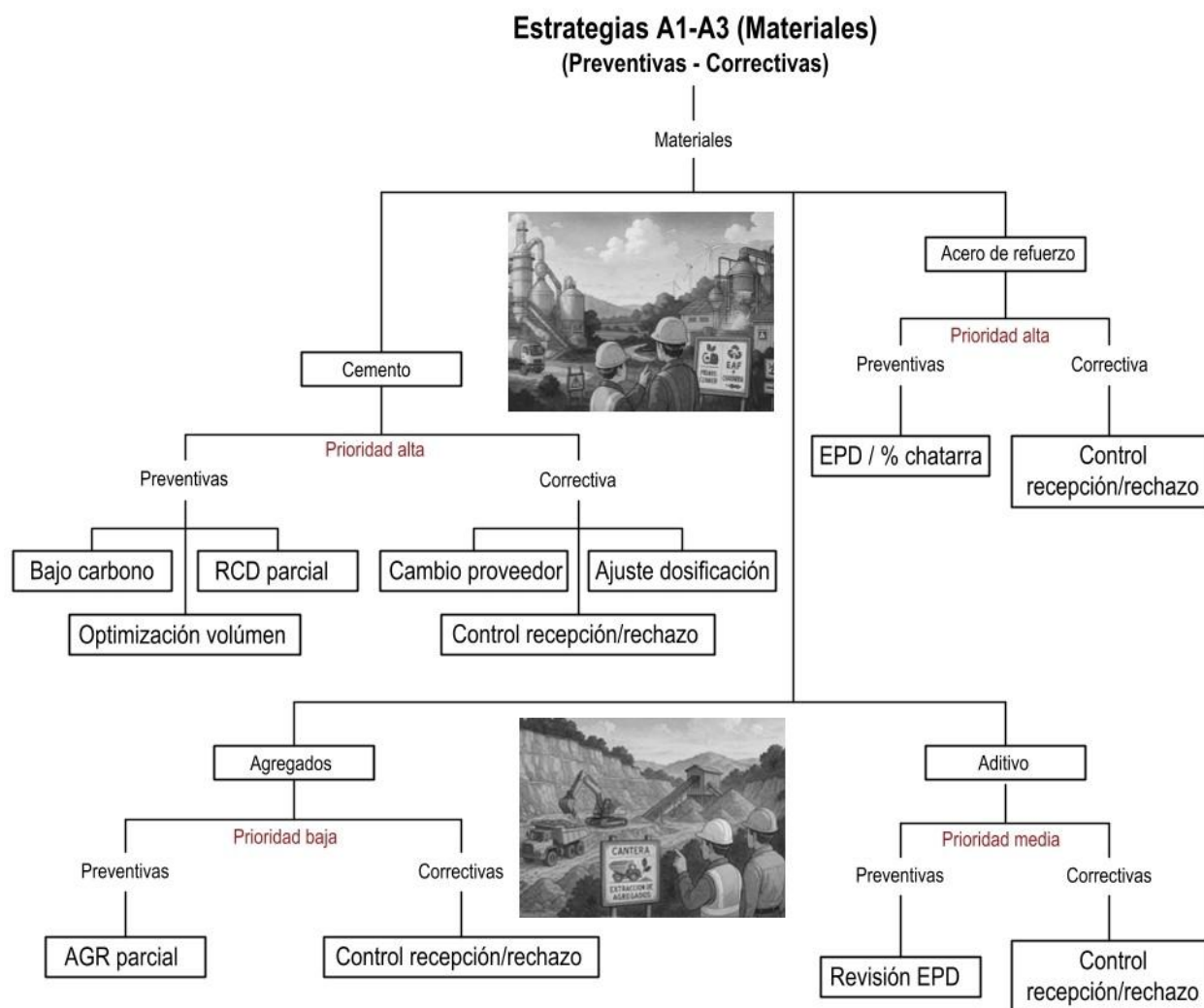
En las etapas A1–A3 (extracción y procesamiento de materias primas, transporte a fábrica y fabricación) se concentra la mayor parte del carbono incorporado del proyecto. Este subcapítulo presenta las estrategias de reducción para A1–A3, con enfoque preventivo (decisiones de diseño y especificación) y correctivo (mejoras operativas con datos reales), priorizando los materiales dominantes.

4.3.1.1 Análisis de causas. Para orientar dichas estrategias se realizó un análisis de causas que identifica los factores que explican el impacto del calentamiento global en A1–A3: en cemento, un alto factor de clínker y poca incorporación de materiales cementantes suplementarios conocidos como SCM (escoria, puzolanas, LC³ - caliza y arcilla calcinada), además de energía y eficiencia de planta; en acero, la ruta de producción y el % de chatarra utilizado; y en agregados/aditivos, su efecto indirecto en la dosificación. A continuación, se detallan estas causas y las estrategias asociados que guiarán las acciones de mejora.

4.3.1.2 Estrategias materiales. Las estrategias planteadas se enfocan, en gran medida, en los materiales con mayor contribución a la huella de carbono según el estudio de caso: cemento y acero de refuerzo. No obstante, también se proponen acciones para agregados y aditivos. En la Figura 46 se presenta el esquema general de las estrategias para A1–A3.

Figura 46

Esquema orientador para estrategias de A1-A3



Nota. Elaboración propia con apoyo de imágenes generadas por IA (OpenAI, 2025)

Cemento. El cemento ha sido utilizado masivamente desde la era romana en edificios de las más diversas escalas. Es casi imposible pensar en un edificio que no tenga al menos un elemento de concreto. De hecho, es el material de construcción más utilizado en el mundo debido a su versatilidad, resistencia, facilidad de manejo, valor accesible, estética, entre otros atributos. Sin embargo, al mismo tiempo su fabricación es uno de los principales contaminantes de la atmósfera, debido a que la industria del cemento emite alrededor del 8% de todas las emisiones globales de dióxido de carbono (CO₂). (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE et al., 2022)

Acciones preventivas

- Para reducir la huella de carbono producida por el cemento como se pudo identificar alrededor de todo el estudio, es indispensable la sustitución del Clinker por materiales cementicios suplementarios conocidos como SCM (escoria, puzolanas, entre otros).
- Para la producción de cemento pueden utilizarse insumos alternativos en determinadas proporciones, lo que contribuye a reducir el impacto de la huella de carbono. En la Tabla 32 se presentan los porcentajes en peso de cada insumo convencional y su alternativa, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.

Una vez el cemento se haya usado para la producción de concreto, no es posible extraerlo para reciclarlo. No obstante, el concreto de desecho o de demolición, puede reciclarse en el proceso de fabricación de nuevo cemento en cantidades controladas, ya sea como materia prima

alternativa para producir clinker o como aditivo, al moler el clinker con yeso y otros agregados.

(MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE et al., 2022)

Tabla 32

Comparativos de insumos convencionales y alternativos del cemento

Insumos convencionales		Insumos alternativos	
Agregados pétreos	80%	Cal residual de producción de acetileno, residuos de construcción y demolición	75%
Yeso	10%	Materiales puzolánicos: escorias y cenizas (residuos térmicos), ceniza de cascarilla de arroz, residuos de construcción y demolición	25%

Nota. Adaptado de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2015), Guía de materiales para la construcción sostenible, p. 45

- El uso de cementos de bajo GWP reduce de forma significativa los kg CO₂e del proyecto. Por ello, es recomendable seleccionar proveedores con Declaración Ambiental de Producto (EPD) conforme a EN 15804/NTC-ISO 21930:2021, comparar resultados y elegir la opción de menor huella. En el caso de estudio, pasar de 50 % a 60 % de GGBS en el cemento contribuyó a la reducción global reportada (39,01 %) respecto del modelo inicial. No obstante, el contenido de GGBS debe definirse según los tiempos de desencofrado y la resistencia requerida, ya que contenidos más altos suelen retardar la resistencia temprana; si se requieren ciclos rápidos, compéñese con curado adecuado y aditivos.
- Dado que el consumo de cemento es proporcional al volumen de concreto, a su vez determinado por las dimensiones de los elementos estructurales, resulta imprescindible optimizar el dimensionamiento desde la etapa de diseño.

Acciones correctivas

- Si en la planificación no se consideró al proveedor más adecuado con EPD de bajo GWP, esto puede corregirse cambiando de proveedor tras una comparación de EPD equivalentes (misma unidad declarada, alcance y prestaciones), seleccionando el de menor impacto.
- Un diseño de mezcla adecuado, orientado a optimizar la dosificación y la masa de los materiales, en especial del cemento, permite alcanzar la misma resistencia con menos cemento sin comprometer el desempeño y con la obtención de la reducción del impacto del producto.
- Mediante el control de calidad del cemento, ensayos de finura, consistencia, resistencia a 28 días y compatibilidad con aditivos/SCM, permite ajustar la dosificación del concreto para alcanzar la resistencia requerida con menos cemento, verificar que el producto suministrado corresponde al contratado (tipo, desempeño y EPD), y corregir desviaciones por humedad de áridos o errores en la dosificación. Así se evita la sobredosificación y los rechazos, disminuyen los kg de cemento por m³ y, en consecuencia, se reduce el GWP (A1–A3).

Acero de refuerzo. El acero convencional se produce a partir de la separación en horno del mineral de hierro extraído en minas de cielo abierto. Ese material se transporta hasta la instalación del alto horno calentado con coque (carbón de origen vegetal de alta generación calórica) donde es mezclado con roca caliza y llevado a temperaturas superiores a los 1.600 °C, lo que conlleva una separación del metal de hierro de los restantes minerales con que sale de la

mina. En ese estado, el hierro es un metal blando no adecuado para las exigencias de uso industrial, de manera que se hacen mezclas y aleaciones con diversos materiales que le dan las características de uso que requiere la industria. Una de las más conocidas es con carbón y su resultante es el acero utilizado en la construcción, su principal uso se da en la parte estructural. (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE et al., 2022)

Acciones preventivas

- Para el caso del material acero, como se muestra en la siguiente tabla, los insumos convencionales pueden sustituirse o reemplazarse por otros reduciendo así los impactos ambientales generados durante el ciclo de vida del material, ver Tabla 33. (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE et al., 2022)

Tabla 33

Comparativos de insumos convencionales y alternativos para el acero

Insumos convencionales		Insumos alternativos	
Carbón	5%	Chatarra	100%
Roca de hierro	95%		

Nota. Adaptado de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (2015), Guía de materiales para la construcción sostenible, p. 42

En el estudio de caso, al reemplazar el acero de refuerzo inicial por acero fabricado 100 % a partir de chatarra (Gerdau Corsa, 2020), la huella de carbono se redujo en 50,33 %. Esto

sugiere que una estrategia válida y eficiente es especificar acero de refuerzo con EPD verificada fabricado con chatarra y en conformidad con la NTC aplicable para uso estructural.

Acciones correctivas

- Si el acero de refuerzo no se suministra cortado y preformado, se deben optimizar las cuantías y minimizar los desperdicios mediante una gestión de inventario que consolide diámetros y longitudes y permita emitir un listado de corte optimizado.

Agregados pétreos. Los insumos convencionales pueden ser sustituidos por residuos de construcción y demolición, disminuyendo de esta manera, impactos generados en el ciclo de vida del material. (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE et al., 2022)

En Colombia el documento CONPES 3874 (Departamento Nacional de Planeación, 2016) propuso avanzar hacia una economía circular, buscando que los productos y materiales permanezcan durante el mayor tiempo posible en el ciclo productivo. En el 2019 el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) publicó el documento “Estrategia Nacional de Economía Circular” (MADS, 2019). Allí se afirma que en Colombia el sector de la construcción consume el 60 % de los recursos naturales no renovables extraídos de la tierra y el 40 % de la energía del país, y que genera el 30% de las emisiones de CO₂ y más del 20 % de los residuos del total de materiales empleados en las obras de infraestructura civil.(Mejía-De-Gutiérrez et al., 2023)

Acciones preventivas

- Considerando lo anterior, una estrategia efectiva para reducir la huella de carbono es sustituir parcialmente el agregado pétreo grueso por agregado grueso reciclado (AGR) proveniente de RCD. En concreto estructural no es viable el reemplazo total: la NTC 6421 (ICONTEC, 2021a) permite, para concretos hidráulicos estructurales de hasta 35 MPa, una sustitución máxima del 20 % de AGR, siempre que el material cumpla la NTC 174 y la clasificación de componentes conforme a NTC 6422, y cumpla lo dispuesto en el capítulo C.5 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.

Si bien el caso de estudio no contempló comparar los agregados pétreos, se aprovechó el módulo de comparación de materiales de One Click LCA para evaluar un escenario: sustituir el 20 % del agregado total del proyecto por AGR. La evaluación se hizo sobre el agregado grueso del primer modelo, bajo las condiciones de la Tabla 34.

Tabla 34

Comparación entre agregado grueso natural y AGR

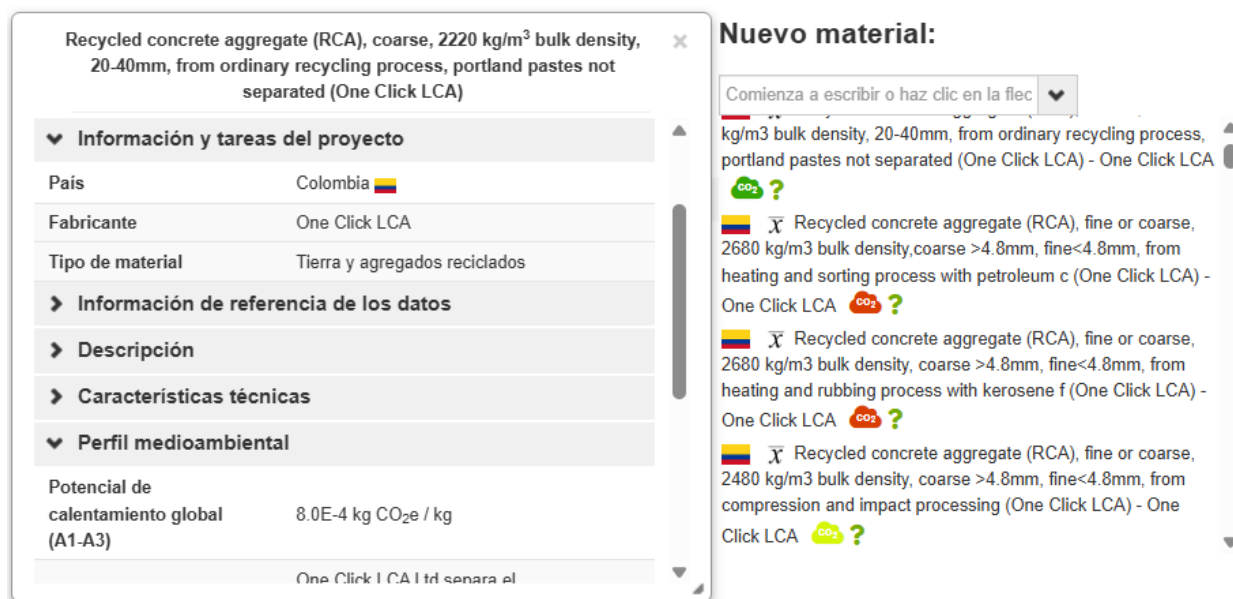
Tipo	Referencia del recurso	Software/Fuente	Cantidad kg	kg CO ₂ e/kg	kg CO ₂ e
Natural	Crushed rock, 8–16 mm, 1680 kg/m ³ (One Click LCA (2025))	One Click LCA (Genérico)	38136,84 kg	0,0043	163,61
AGR	Recycled concrete aggregate (RCA), coarse, 2220 kg/m ³ bulk density, 20-40mm, from ordinary recycling process, portland pastes not separated (One Click LCA)	One Click LCA (Genérico)	38136,84 kg	0,0003	12,58

En la Figura 47 se puede observar las diferentes alternativas mostradas por el software para reemplazar el agregado grueso por un agregado grueso reciclado, se selecciona la mejor opción apegada a las características del caso de estudio con el fin de que la comparación sea válida.

Aunque en la Figura 47 el perfil ambiental muestre un valor del impacto de 0,0008 kg CO₂e/kg, el programa lo ajusta para Colombia en los cálculos trabajando con un impacto de 0,0003 kg CO₂e/kg el cual es presentado en la Tabla 34.

Figura 47

Alternativa sostenible agregado grueso reciclado



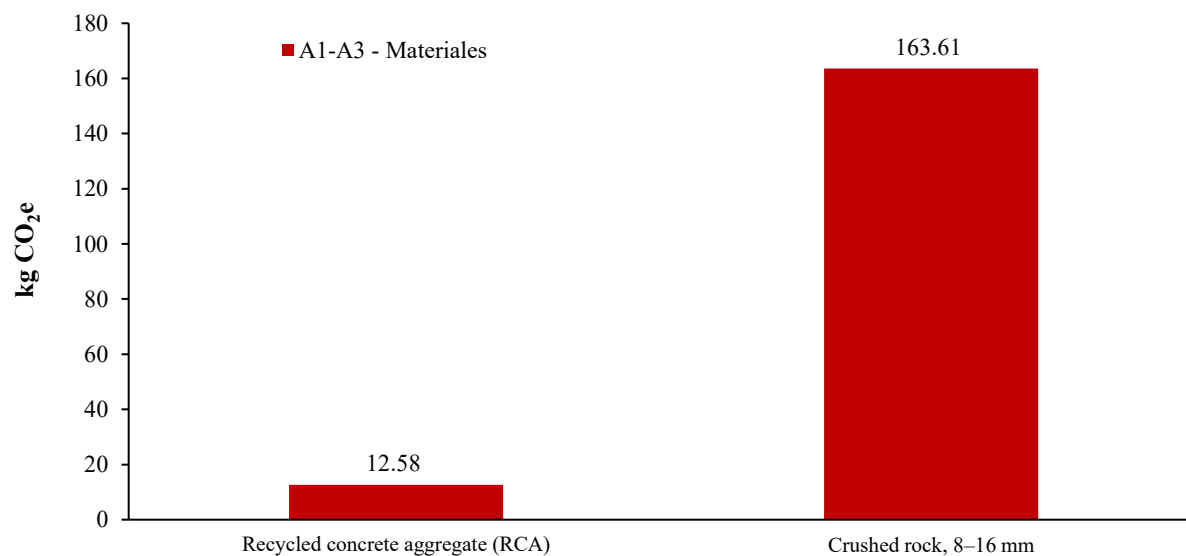
Nota. Tomado de la sección “Comparar datos” de One Click LCA (2025)

En la Figura 48, se puede observar la reducción significativa que tiene la sustitución del agregado grueso natural por agregado grueso reciclado (AGR). En la comparación el AGR logro

una optimización o reducción de la huella de carbono en un 92,31% solo considerando la etapa A1-A3 de los materiales comparados y aislado del edificio.

Figura 48

Comparación de los agregados grueso



Nota. Elaboración propia con resultados generados por One Click LCA (2025)

La comparación respalda la sustitución de hasta el 20 % del agregado natural por AGR en el concreto: aunque a escala de edificio la reducción es menor que la observada a nivel de material, la medida contribuye a disminuir la huella de carbono.

Acciones correctivas

- Se debe llevar control de calidad e inventario de los agregados para garantizar que, cuando se utilice AGR, se reciba la totalidad del volumen especificado, evitando recurrir al agregado pétreo natural y aumentar su consumo.

Aditivo. Los aditivos son ingredientes del concreto o mortero que además del agua, agregados, cemento hidráulico y en algunos casos fibra de refuerzo, son adicionados a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado. (Niño Hernández, 2018)

Acciones preventivas

- Aunque el impacto directo de los aditivos en A1–A3 es bajo por su pequeña dosificación, son una estrategia importante porque permiten reducir cemento sin perder desempeño. En prevención conviene elegir superplastificantes tipo PCE para bajar la relación a/c y lograr menores kg de cemento por m³ con la misma trabajabilidad; verificar compatibilidad con cementos de bajo clínker y con SCM (escoria, puzolanas, LC³) para evitar retardos o aire ocluido indeseado; usar EPD del aditivo y datos del proveedor que menor huella de carbono por unidad declarada tengan.

Acciones correctivas

- Las acciones correctivas se enfocan en dosificar bien el aditivo con el fin de controlar la desviación para evitar sobredosificación, ajustar por clima (retardante/estabilizador) para

minimizar rechazos, y prohibir reajustar con agua; gestionar inventario y contención de derrames.

- Se recomienda si es necesario actualizar el ACV con el aditivo realmente usado (si hay EPD) con el fin de que la experiencia tenga significado para nuevos proyectos y hacer una elección del aditivo con menor impacto de CO₂.

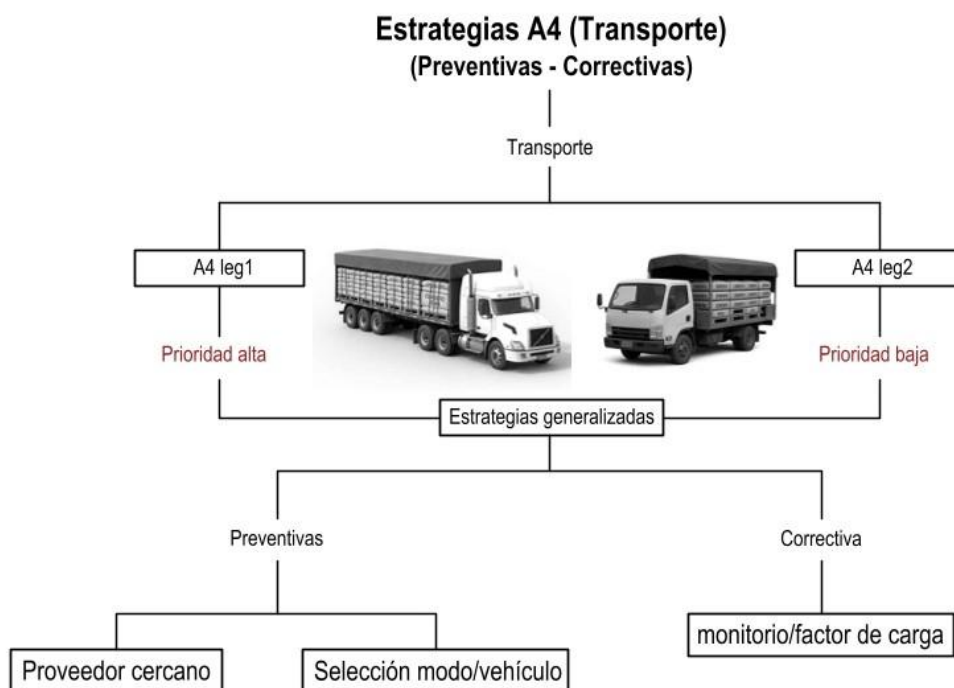
4.3.2 Estrategias para Etapa A4 (Transporte)

4.3.2.1 Análisis de causas. La etapa A4 comprende las emisiones del transporte desde la puerta de fábrica hasta la obra y, en el ACV, se estiman según toneladas-kilómetro y el factor de emisión del modo y combustible utilizados. Un A4 elevado suele originarse por distancias largas de suministro, compras fragmentadas que generan viajes parciales, baja ocupación y retornos en vacío, selección de modos intensivos en carbono y flotas antiguas, rutas en horas de congestión, datos poco representativos de la realidad operativa y, finalmente, por una masa y volumen transportados mayores a los estrictamente necesarios.

4.3.2.2 Estrategias transporte. Las estrategias se enfocarán principalmente en reducir las distancias de transporte, dado que en el análisis del caso de estudio, al comparar leg 1 y leg 2, el leg 1 presentó las mayores emisiones por la larga distancia entre la planta del proveedor y el municipio. En la Figura 49 se puede observar un esquema orientador para las estrategias de A4 (Transporte) donde se generalizan dichas estrategias para el A4le1 y el A4le2, considerando que las mayores emisiones se reducen en A4leg1.

Figura 49

Esquema orientador para estrategias de A4



Nota. Elaboración propia con apoyo de imágenes generadas por IA (OpenAI, 2025)

Acciones preventivas

- Priorizar proveedores cercanos o proveedores regionales para reducir kilómetros; programar entregas consolidadas y en ventanas fuera de pico, pactando procesos de retorno para minimizar retornos en vacío
- Sustituir tramos largos por ferrocarril o barcaza manteniendo camión en el último tramo
- Exigir vehículos EURO VI, biocombustibles o eléctricos en áreas urbanas

En el análisis del caso de estudio, el escenario del edificio 2 contempló cambiar el proveedor de cemento por uno más cercano dentro de Norte de Santander, con lo cual la distancia de suministro se redujo 46 % (de 450 km a 205 km) y las emisiones del módulo A4 disminuyeron 27,52 %. Esta reducción podría ampliarse optimizando también las distancias de otros insumos; no obstante, para los demás materiales ya se trabaja con los proveedores más próximos.

Acciones correctivas

- Optimizar diseño, empaque y lotes para disminuir masa/volumen; y mejorar la calidad de datos incorporando origen exacto, modo, tipo de vehículo, carga útil y tasa de retorno vacío.

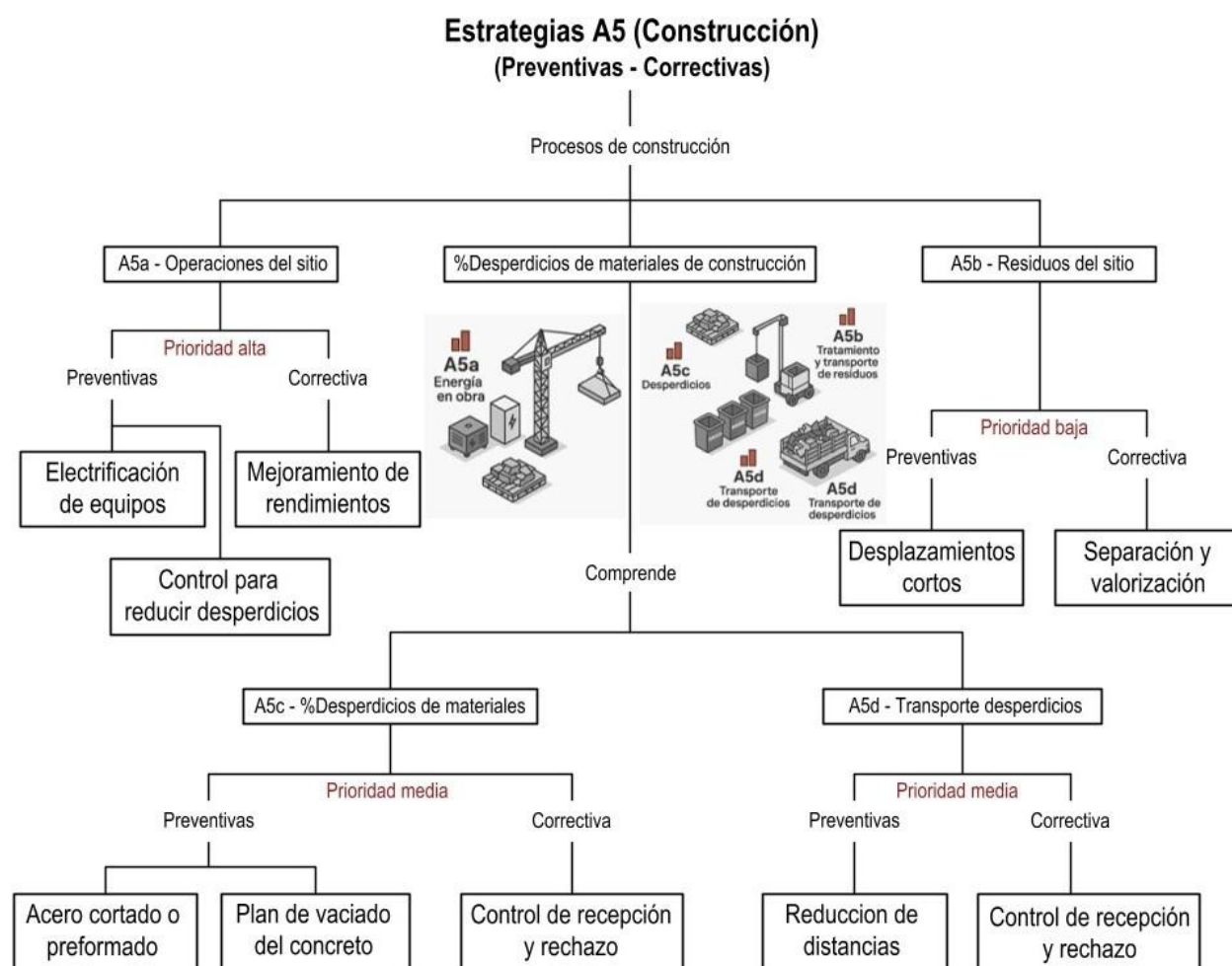
4.3.3 Estrategias para etapa A5 (Construcción)

4.3.3.1 Análisis de causas. En A5 (construcción/instalación), las principales causas de impacto provienen de A5a (energía y combustible en obra: horas-equipo elevadas, marcha en vacío, equipos antiguos y secuencias ineficientes), A5c (pérdidas por sobrepedido y cortes no modulares), A5b (tratamiento de residuos con baja segregación y distancias largas a sitios de vertedero) y A5d (transporte de desperdicios con distancias largas y retornos en vacío).

4.3.3.2 Estrategias proceso de construcción. Para definir las estrategias de reducción de la huella de carbono en A5, se priorizan las operaciones en obra, ya que, según el caso de estudio, el consumo de combustible y de energía eléctrica fue el principal contribuyente al impacto de este módulo. En la Figura 50 se puede observar el esquema orientador para A5.

Figura 50

Esquema orientador para estrategias de A5



Nota. Elaboración propia con apoyo de imágenes generadas por IA (OpenAI, 2025)

Acciones preventivas

- Se prioriza un plan energético de obra con el fin de optimizar los tiempos de no marcha de los equipos.
- Cuando sea viable, electrificación de grúa/pequeña maquinaria o uso de biocombustibles.
- Diseño modular y prefabricación para reducir cortes, compras ajustadas y protección de acopios para minimizar pérdidas.
- Segregación en sitio, acuerdos de retorno de embalajes y destinos de valorización cercanos.
- Optimización logística de residuos (rutas, modo y cargas completas). Se debe disponer de procedimientos y planes adecuados dentro de la obra para que el desplazamiento de los residuos se optimice, es decir ubicar estratégicamente los sitios de almacenamiento de residuos.
- Ubicar los vertederos más cercanos a la obra para el retiro y transporte de los residuos de la obra.

En el caso de estudio se evidenció que la energía eléctrica en equipos reduce las emisiones respecto al diésel. En particular, el reemplazo de la bomba de concreto por una bomba eléctrica disminuyó el impacto de A5 en 43,92 %.

A5c (desperdicios) y A5d (transporte de desperdicios) están estrechamente vinculados: el volumen generado en obra determina el transporte asociado. Por ello, es fundamental establecer planes y procedimientos para reducir la generación de desperdicios y optimizar su gestión.

Acciones correctivas

- Medición de la energía eléctrica o combustible de los equipos de la obra con el fin de determinar la optimización de estos y los tiempos de marcha en vacío.
- Se debe realizar un estricto control de recepción y rechazo de materiales con el fin de evitar altos desperdicios en la obra.

5. Conclusiones

El estudio de la huella de carbono en edificaciones industrializadas es un campo joven que pasó de ser poco abordado a estar en expansión, con mayor relevancia desde 2006 y un crecimiento anual cercano al 21,9% hasta 2024. Las líneas de investigación se centran en el desarrollo sostenible, las emisiones de carbono y el cambio climático, con protagonismo del ACV, BIM e impresión 3D. Para reducir la huella, destacan como parámetros principales la selección y composición de materiales, en especial la sustitución parcial del clinker por SCM y el uso de acero y agregados reciclados y, de forma complementaria, el uso de técnicas industrializadas como la prefabricación y la modulación y tecnologías en los procesos constructivos como la implementación de BIM.

En la evaluación de la huella de carbono del Edificio Prado Verde, la selección de las Declaraciones Ambientales de Producto (EPD) para cada material es determinante: los factores de impacto y los límites de sistema que declara cada EPD fijan los impactos unitarios (por ejemplo, kg CO₂e/kg) que, al multiplicarse por las cantidades del modelo, determinan la huella total (kg CO₂e). Esto permite identificar qué módulos del ciclo de vida (A1–A5) concentran la mayor contribución y dónde priorizar las estrategias de reducción. Cuando no se dispuso de datos específicos de fabricante, se recurrió a datasets genéricos de One Click LCA para aproximar el perfil ambiental de los productos realmente empleados. Al modelar un escenario más sostenible, seleccionando materiales con EPD de menor impacto según criterios de sostenibilidad, se obtuvo una reducción del 39,10 % (–54,94 kg CO₂e/m²) frente al caso base. Esta mejora se explica principalmente por la adopción de un cemento de bajo carbono con 60 %

de escoria (CEM III/A) y por la especificación de acero de refuerzo reciclado con 100 % de chatarra (Gerdau Corsa) que en Colombia es viable debido a que empresas como SIDOC, TERNIUM y DIACO las fabrica y comercializan, siendo este último el principal generador con el 98% de su producción proveniente de chatarra ferrosa. Estos resultados confirman que la fase de materiales (A1–A3) concentra la mayor contribución a la huella de carbono, por ende, debe priorizarse en un análisis de ciclo de vida.

Las estrategias de reducción de la huella de carbono en edificaciones industrializadas se definen desde el diseño y la planificación tempranos del proyecto, mediante la selección de EPD de menor impacto y la optimización de la logística. Los resultados confirman que el potencial principal se concentra en los materiales (A1–A3): el cemento es el mayor contribuyente, seguido del acero de refuerzo. En el Edificio Prado Verde (Modelo 2), el cambio de un cemento convencional a uno de bajo carbono permitió una reducción del 39,01 %, y la especificación de acero reciclado con alto contenido de chatarra, del 50,33 %. Aunque el acero pesa menos en la huella base, su mejora porcentual fue elevada; en términos absolutos, el mayor ahorro proviene del cemento. En síntesis, las acciones de reducción de la huella de carbono en edificios industrializados deben enfocarse en A1–A3 mediante EPD más sostenibles, sin descuidar A4–A5, donde también se obtienen mejoras: el paso de diésel a energía eléctrica en la bomba de concreto redujo A5 en 43,92 %, y la disminución de la distancia de transporte del cemento mediante un proveedor más cercano redujo A4 en 27,52 %.

6. Recomendaciones

En un análisis de ciclo de vida (ACV), particularmente en las etapas A1–A5, la fiabilidad y la sensibilidad de los resultados dependen de la calidad de los datos reales del proyecto; aunque la normativa permite emplear supuestos cuando falta información, es recomendable priorizar datos medidos y verificables sobre materiales, proveedores, distancias y procesos constructivos, registrando además los supuestos adoptados y su justificación

A la hora de evaluar la huella de carbono es imprescindible contar con EPD confiables y verificadas (conforme a ISO 14025 y EN 15804/NTC-ISO 21930); One Click LCA es una plataforma que facilita integrar EPD específicas de fabricante y datasets genéricos en el modelado del ACV, pero su rigor depende de elegir EPD comparables y vigentes, priorizando siempre las específicas del proveedor real. Cuando no existan, utilice datasets genéricos representativos y documente los supuestos. Verifique la unidad declarada (kg, m³, m²·año), los módulos incluidos (por ejemplo: A1–A3, A4, A5), los límites del sistema, la vigencia y PCR del operador del programa, así como la representatividad geográfica y temporal; evite comparar EPD con alcances distintos. Esta diligencia en la selección y trazabilidad de datos mejora la consistencia, transparencia y auditabilidad de los resultados.

Referencias

- Berges-Alvarez, I., Martínez-Rocamora, A., & Marrero, M. (2024). A Systematic Review of BIM-Based Life Cycle Sustainability Assessment for Buildings. *Sustainability (Switzerland)*, 16(24), 11070. <https://doi.org/10.3390/SU162411070/S1>
- BOSC. (2025). *FICHA TÉCNICA MARTILLO PERFORADOR GBH 2-26 DRE*.
<https://www.ohigginsherramientas.cl/media/hexaattachment/products/attachments/8635052%20MARTILLO%20PERFORADOR%20-%20GBH%202-26%20DRE.pdf>
- Boucher, L. (2021, junio). *¿Cómo reducir el carbono incorporado de los edificios?* Green Building Council España.
- Burrows, V., & Black, M. (2021). *WorldGBC Compromiso de Edificaciones Neto Cero Carbono*.
https://worldgbc.org/wp-content/uploads/2023/02/WorldGBC-NZCBCmt_Intro_2021_ST_hs.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Caamaño, N., & Guette, K. (2018). *Dosificaciones de mezclas para obtener concreto estructural empleando arcillas calcinadas del sector el Hatillo, materiales pétreos del río Algodonal y de la E.A.T. provias en Ocaña, norte de Santander*.
<https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/xmlui/handle/20.500.14167/718>
- Cano, C. (2022, julio 13). *La huella de carbono en la construcción*. eadic.
- CIDB MALAYSIA. (2025). *Sistema de construcción industrializado (IBS)*.
https://www.cidb.gov.my/eng/ibs/?utm_source=chatgpt.com
- DIMACRO. (2025). *Venta y Alquiler de pluma grúa en Colombia Aquí somos dimacro*.
<https://dimacro.com.co/portafolio/izaje-elevacion/pluma-grua/?srsltid=AfmBOorlPPuTWslMdS3fgdvs-FeW3XJGRY4EjSusLVj-MqMiItaVbpxk>

Gallego Gómez, N. E. (2023). *Mitigación de la huella de carbono en la construcción de vivienda de interés social (VIS) de sistema constructivo industrializado, en la ciudad de Bogotá, integrando en análisis de ciclo de vida (ACV) con el Value Stream Mapping (VSM)* [Universidad Nacional de Colombia].

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/84542/1110560689.2023.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

García Ochoa, J. A., Quito Rodríguez, J. C., & Perdomo Moreno, J. A. (2020). Análisis de la huella de carbono en la construcción y su impacto sobre el ambiente. *Universidad Cooperativa de Colombia UCC*.

<https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/db04e82c-180e-4775-9242-d50a6b56ff05/content>

Gerdau Corsa. (2020). *Environmental Product Declaration: Steel rebar manufactured from steel scrap* (Número S-P-01661).

Google. (2025, julio 25). *Ubicación de la Urbanización Prado Verde*. Google Maps.

Guzmán, A., & Roperio, W. L. (2014). *Caracterización físico-mecánica de los agregados pétreos en el municipio de Ocaña*.

<https://repositorioinstitucional.ufpso.edu.co/xmlui/handle/20.500.14167/871>

ICONTEC. (2013). *NTC-ISO 14025 - Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales tipo III. Principios y procedimientos*.

ICONTEC. (2021a). *Agregados gruesos reciclados para uso en el concreto hidráulico*.

ICONTEC. (2021b). *NTC-ISO 14044:2021 - Gestión Ambiental. Análisis de ciclo de vida. Requisitos y directrices. Requisitos del ciclo de vida*.

- ICONTEC. (2021c). *NTC-ISO 14067 - Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para cuantificación.*
- ICONTEC. (2021d). *NTC-ISO 15392: Sostenibilidad en edificaciones y obras de ingeniería civil. Principios generales.*
- ICONTEC. (2021e). *NTC-ISO 21930:2021 - Sostenibilidad en edificaciones y en obras de ingeniería civil. Reglas básicas para las declaraciones ambientales de los productos y servicios de construcción.*
- IEA. (2025). *Cemento - IEA*. https://www.iea.org/energy-system/industry/cement?utm_source=chatgpt.com
- International Energy Agency [IEA]. (2025). *Energy Efficiency Indicators: Glossary*.
<https://www.iea.org/glossary>
- INTERNATIONAL STANDARD. (2020). *Environmental management-Vocabulary Management environnemental-Vocabulaire COPYRIGHT PROTECTED DOCUMENT.*
- IPCC. (2022). Annex I: Glossary. En P. R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, & J. Malley (Eds.), *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781009157926.020>
- ISO 21931-1. (2022). *ISO 21931-1:2022. Sustainability in buildings and civil engineering works — Framework for methods of assessment of environmental performance of construction works — Part 1: Buildings.*

- Kanavaris, F., Di Benedetto, G., Campbell, A., Gedge, G., & Kaethner, S. (2024). Reducing the embodied carbon of concrete-framed buildings through improved design and specification: Influence of building typologies, construction types and concrete mix. *Structures*, 67, 107005. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.107005>
- Llamas, D. (2023). Ventajas medioambientales y financieras de la reducción de la huella de carbono en la edificación. *WSP*, 1-7.
file:///C:/Users/TOSHIBA/Downloads/Ventajas%20medioambientales%20y%20financieras%20reduccion%20huella%20carbono_WSP%20Spain.pdf
- Lützkendorf, T., & Balouktsi, M. (2022). Embodied carbon emissions in buildings: explanations, interpretations, recommendations. *Buildings and Cities*, 3(1), 964-973.
<https://doi.org/10.5334/BC.257>
- Maquistore. (2025). *Mezcladora de Concreto 1 Bulto - Maquistoresas*.
<https://maquistoresas.com/compra-de/maquinaria-liviana/mezcladoras/mezcladora-de-concreto-1-bulto/>
- MAQUITECDECOLOMBIA SAS. (2025). *Vibrador para Concreto ENAR DINGO*.
www.maquitecdecolombia.com
- Mejía-De-Gutiérrez, R., Robayo-Salazar, R., & Valencia-Saavedra, W. (2023). Construction and demolition waste as raw material for concrete and construction elements obtained through alkaline activation. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 47(184), 505-519. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1892>
- Miller, S., John, V. M., Provis, J., Favier, A., Horvath, A., & Scrivener, K. (2020). *Environmental impacts and decarbonization strategies in the cement and concrete industries*.
<https://doi.org/10.1038/s43017-020-0093-3>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2025). *Construcción Sostenible*.

https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/construccion-sostenible/?utm_source=chatgpt.com

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, Catalina Romano Castañeda,

Edgar Augusto Linares Triana, María del Carmen Cabeza Alarcón, Mauricio Gaitán Varón,

María Isabel Sánchez Pico, & Sara Jaasiel Mojica Oyuela. (2022). *Guía de materiales para*

la construcción sostenible. [https://www.minambiente.gov.co/wp-](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2023/06/Guia-de-materiales-para-la-construccion-sostenible.pdf)

[content/uploads/2023/06/Guia-de-materiales-para-la-construccion-sostenible.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2023/06/Guia-de-materiales-para-la-construccion-sostenible.pdf)

Niño Hernández, J. R. (2018). *Tecnología del concreto Tomo 1* (Tercera, Vol. 1). ASOCRETO.

One Click LCA. (2023a). *Presentación en Power Point Bootcamp de ACV de construcción* (p. 32).

One Click LCA. (2023b). *Tap wáter, conventionally treated*. Bionova Ltd.

One Click LCA. (2025a). *Eficacia y precisión en las evaluaciones de sostenibilidad*. One Click LCA. <https://oneclicklca.com/es/why-us/capabilities/bim-other-integrations>

One Click LCA. (2025b). *Modelado del transporte al lugar de construcción (Módulo A4)*. One Click LCA. <https://help.oneclicklca.com/en/articles/275812-modeling-transport-to-the-building-site-module-a4>

Ramachandran, A. (2025, febrero 10). *Las evaluaciones del ciclo de vida miden los efectos ambientales de un edificio en cuatro etapas clave*. One Click LCA.

<https://oneclicklca.com/en/resources/articles/life-cycle-assessment-examples-and-lca-defined/>

República de Colombia. (2021). *Ley 2169 de 2021 (Ley de Acción Climática)*.

- Rivera García, F. (2020). *Carbono incorporado en la construcción: estimación de emisiones asociadas a nuevas viviendas de interés social y prioritario en Bogotá, 2020-2030* [Tesis de maestría, Universidad de los Andes].
<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/6bd0736e-d27e-4ef5-8e9e-6c10a58d2cce/content>
- Roberts, M., Allen, S., & Coley, D. (2020). Life cycle assessment in the building design process – A systematic literature review. *Building and Environment*, 185, 107274.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107274>
- Royal Institution of Chartered Surveyors. (2024). *Whole Life Carbon Assessment for the Built Environment (2nd edition, Version 3, Aug 2024; Effective 1 July 2024)*.
<https://www.rics.org/>
- SCHWING. (2025). *Rock Valve Brochure* | <http://schwinglatinoamerica.com/productos/rock-valve-brochure/>
- Silva, O. J. (2024). *Generalidades del sistema industrializado*. 360 en Concreto.
<https://360enconcreto.com/blog/detalle/generalidades-del-sistema-industrializado-1/>
- Silva, O. J. (2025). *Construcción con Sistemas Industrializados - 360enconcreto*.
<https://360enconcreto.com/blog/detalle/construccion-con-sistemas-industrializados/>
- Sun, C., Chen, L., Xiao, J., Singh, A., & Zeng, J. (2021). Compound utilization of construction and industrial waste as cementitious recycled powder in mortar. *Resources, Conservation and Recycling*, 170, 105561. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.105561>
- Tierala, J. (2024, octubre 28). *LCA data - generic materials data production at One Click LCA*. One Click LCA. <https://oneclicklca.com/en/resources/articles/lca-data-generic-data-production>

UNFCCC. (2023). *Outcome of the First Global Stocktake (Decision 1/CMA.5)*.

United Nations Environment Programme [UNEP], & Yale Center for Ecosystems + Architecture

[Yale CEA]. (2023). *Building Materials and the Climate: Constructing a New Future*.

<https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/43293>

Wang, G., Luo, T., Luo, H., Liu, R., Liu, Y., & Liu, Z. (2024). A comprehensive review of building lifecycle carbon emissions and reduction approaches. *City and Built Environment*,

2(1), 12. <https://doi.org/10.1007/s44213-024-00036-1>

Zikmund, W. G. (2003). *Business Research Methods*. Thomson/South-Western.

<https://books.google.com.co/books?id=kPQJAQAAMAAJ>

Apéndice A. Análisis bibliométrico

1. Metodología

Para el análisis bibliométrico del proyecto “Propuesta para la reducción de la huella de carbono en edificios industrializados. Caso de estudio: Edificio Prado Verde, Ocaña, Norte de Santander”, se optó por utilizar la base de datos SCOPUS ingresando a la plataforma de la Biblioteca de la Universidad Francisco de Paula Santander, Ocaña.

Como se dijo anteriormente, se toma Scopus como la fuente de datos para obtener registros de alta calidad que sirven como insumos para los análisis cuantitativos y así mismo se usa RStudio como centro de trabajo para limpiar los datos de Scopus. Desde RStudio se instala el paquete Bibliometrix el cual es especializado en bibliometría que actúa como el motor analítico que automatiza desde los descriptivo hasta el “Science-mapping” , entregando resultados para la interpretación y análisis.

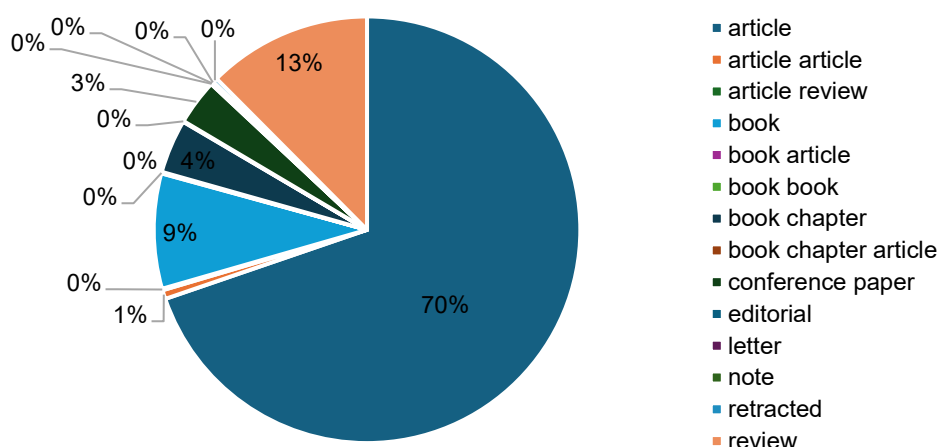
Inicialmente la búsqueda se realiza con diferentes palabras claves que arrojaron de 9 a 80 documentos, sin embargo, la mejor búsqueda se obtuvo con las siguientes palabras claves: Edificio industrializado y huella de carbono, en inglés “Industrialized building and Carbon Footprint” arrojando 1786 documentos relacionados con el tema. Una vez procesados los datos exportados desde Scopus en formato BibTex, utilizado RStudio con ayuda de Bibliometrix se realiza un filtro obteniendo 1765 documentos, los cuales pasaron por una depuración, libre de

duplicados y con metadatos esencialmente completos, garantizando la calidad y trazabilidad de los resultados.

En la Figura 51, se puede observar que una vez analizados los datos por Bibliometrix, el tipo de documento que más se destacan son artículos con un 70% de los 1765 documentos.

Figura 51

Tipo de documentos



Nota. Elaboración propia a partir de los metadatos descargados de Scopus y procesados con el paquete Bibliometrix en RStudio.

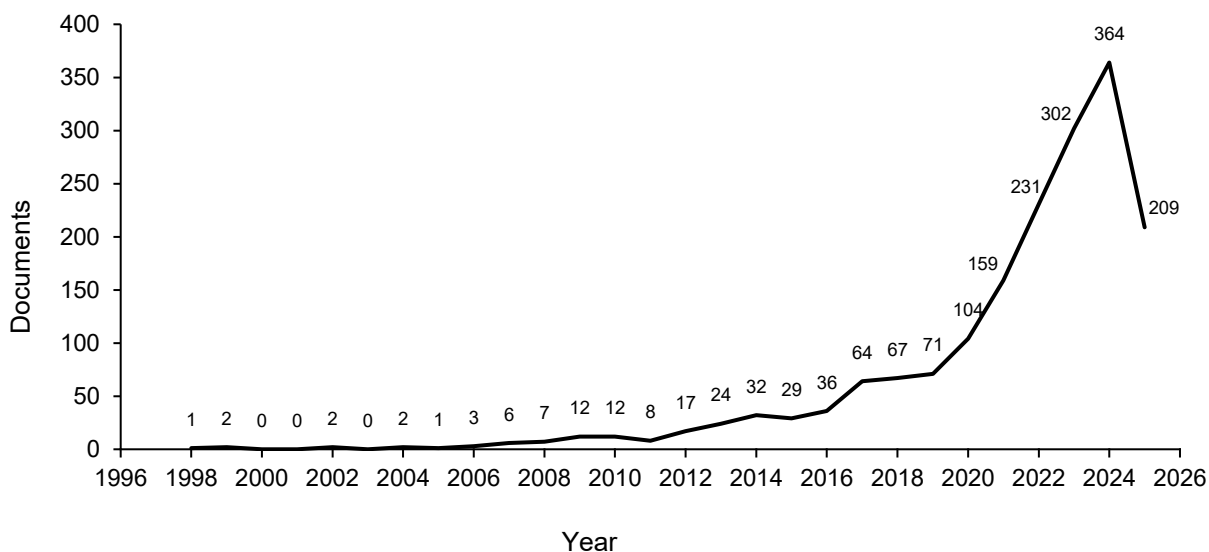
2. Resultados descriptivos

Según la Figura 52, se puede observar que el tema de edificios industrializados y huella de carbono antes de 2006 era muy poco publicado teniendo menos de 3 documentos por año; a

partir de este mismo año, las investigaciones y documentos aumentaron dando mayor importancia al tema, alcanzado una lista de 364 documentos en scopus para el año 2024.

Figura 52

Producción científica anual



Nota. Elaboración propia a partir de los metadatos descargados de Scopus y procesados con el paquete Bibliometrix en RStudio.

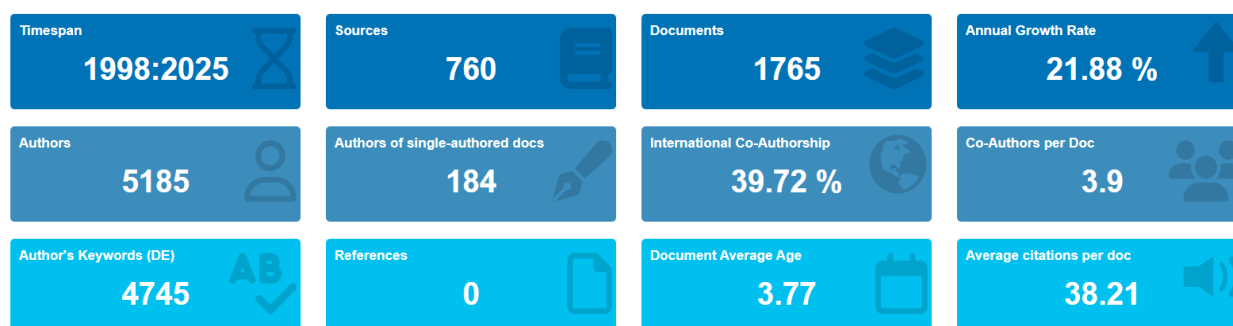
En la Figura 53, se presenta la información principal extraída de Bibliometrix que pone de manifiesto que la investigación sobre huella de carbono en edificios industrializados ha evolucionado de manera acelerada: entre 1998 y 2025 se publicaron 1 765 documentos distribuidos en 760 fuentes, con una tasa media de crecimiento anual del 21.9 %, señal de un campo en plena expansión. La comunidad científica involucrada abarca 5185 autores, de los cuales apenas el 3.5 % (184 autores) firma en solitario, lo que confirma una marcada cultura de

colaboración reflejada también en los 3.9 coautores por artículo y en la coautoría internacional presente en casi cuatro de cada diez trabajos (39.72 %).

El promedio de 38.21 citas por documento indica un impacto notable para un corpus cuyo “edad” media es de solo 3.77 años, sugiriendo que los hallazgos recientes están siendo rápidamente reconocidos. La dispersión de la producción en un alto número de revistas evidencia la naturaleza multidisciplinaria del tema y la ausencia de un órgano editorial dominante, mientras que la gran cantidad de palabras clave declaradas (4745) ofrece un terreno fértil para mapear tendencias conceptuales emergentes. En conjunto, estos indicadores retratan un ámbito de investigación joven, dinámico y globalmente conectado, ideal para explorar patrones de colaboración, núcleos temáticos y oportunidades de contribución científica.

Figura 53

Caracterización de documentos analizados



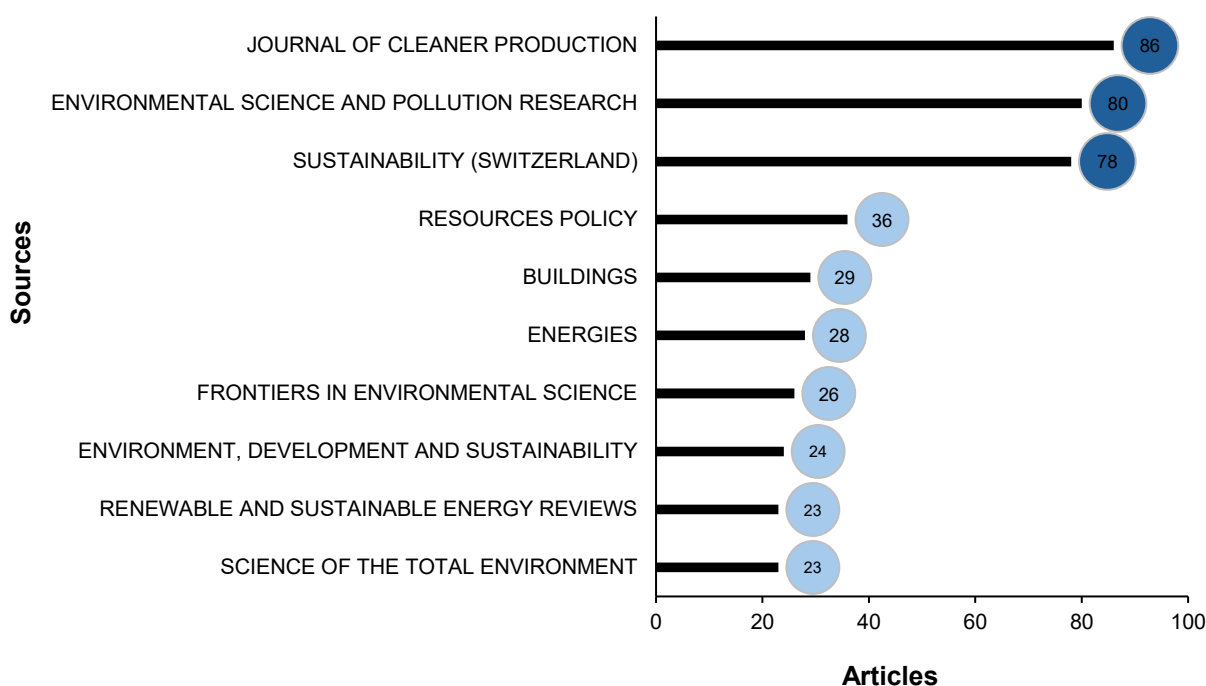
Nota. Reproducido de Biblioshiny, interfaz del paquete bibliometrix (Aria & Cuccurullo, 2017)

En la Figura 54, presenta las diez revistas más prolíficas en el estudio de la huella de carbono en edificios industrializados, es decir, el núcleo editorial donde se concentra la producción científica del área. Entre ellas sobresale el *Journal of Cleaner Production*, con 86 artículos, lo que ratifica

su papel como foro de referencia para la discusión de estrategias de descarbonización y construcción sostenible relacionada a las edificaciones. Le siguen *Environmental Science and Pollution Research* (80) y *Sustainability (Switzerland)* (78); juntas concentran casi el 14 % de toda la producción (244 de 1765 registros)

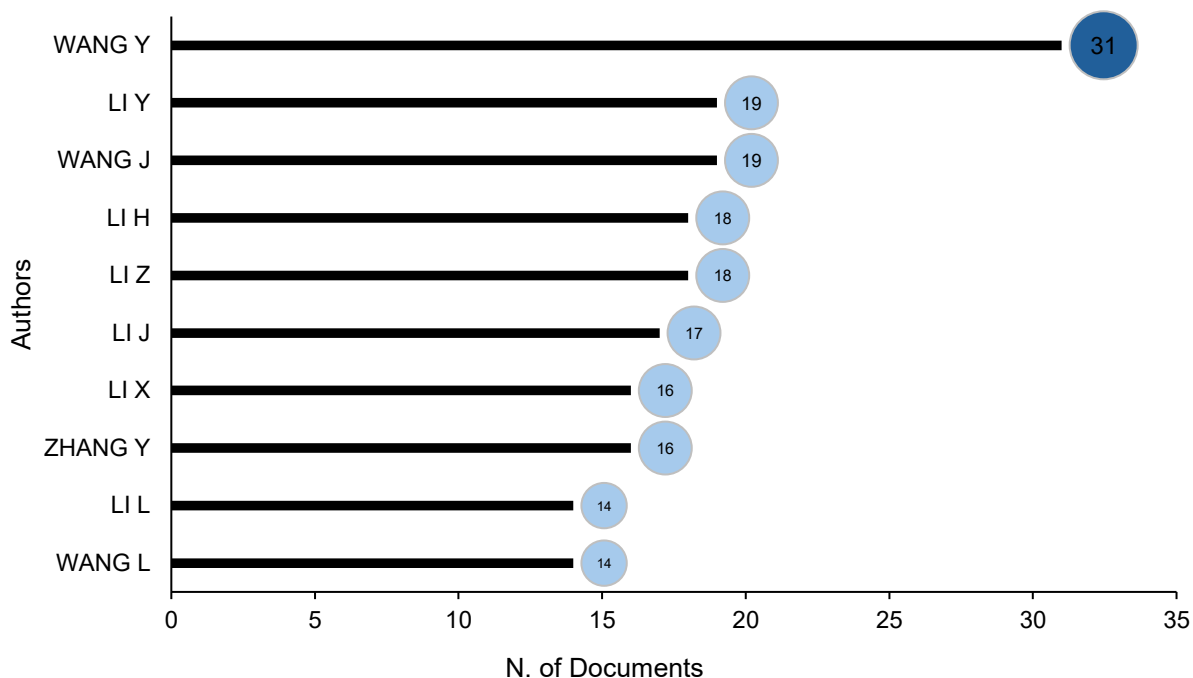
Figura 54

Fuentes más relevantes



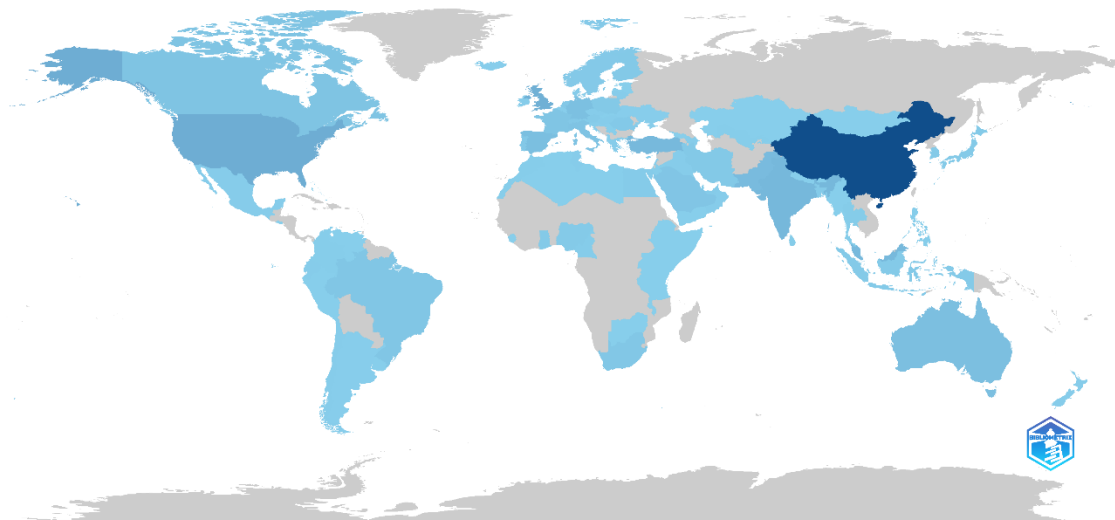
Nota. Elaboración propia a partir de los metadatos descargados de Scopus y procesados con el paquete Bibliometrix en RStudio.

En la Figura 55, se puede observar los autores que más han publicado sobre temas relacionados a edificios industrializados y huella de carbono, destacando los autores Wang Y y Li Y con 31 y 19 publicaciones respectivamente.

Figura 55*Autores más relevantes*

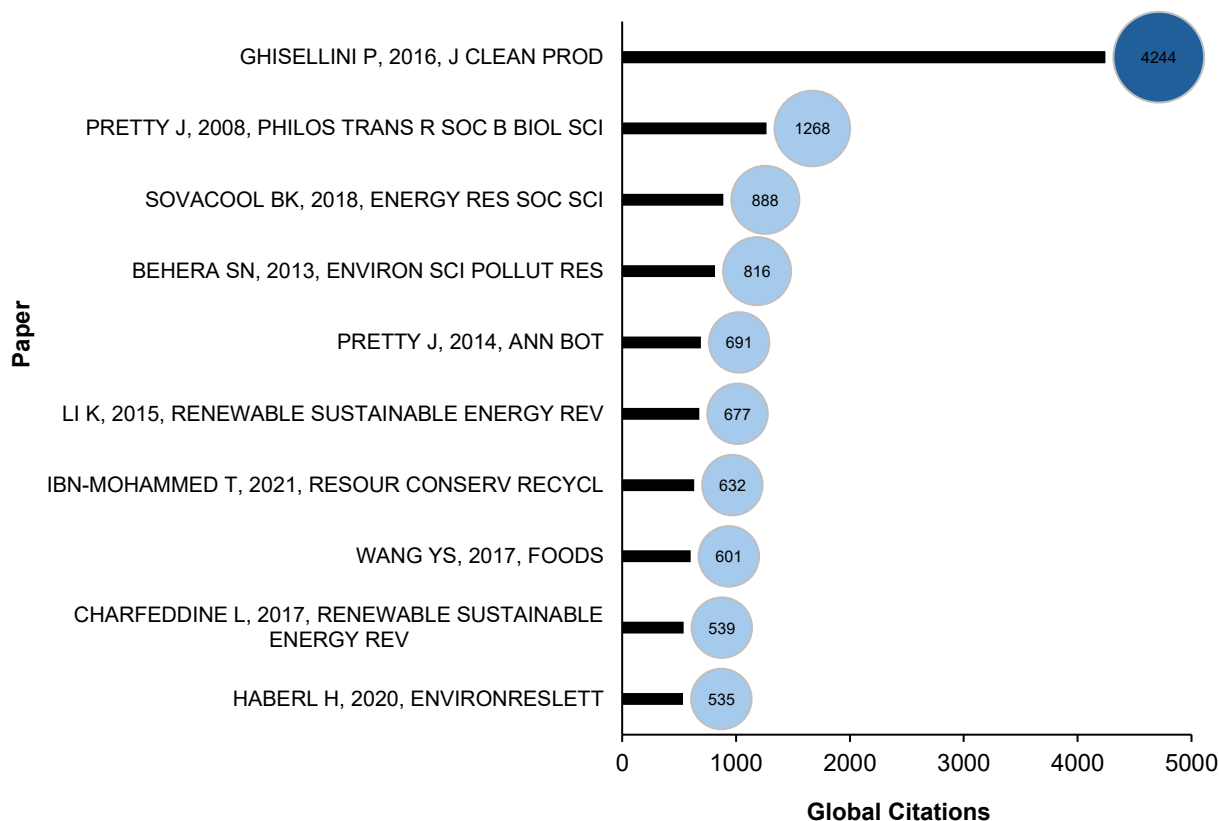
Nota. Elaboración propia a partir de los metadatos descargados de Scopus y procesados con el paquete Bibliometrix en RStudio.

Así mismo, en la Figura 56, se puede observar que china ha sido uno de los países que más ha publicado sobre el tema, con 1276 publicaciones seguido de estados unidos con 311 publicaciones. En la figura también se puede observar que una buena parte de América latina han incursionado sobre el tema de edificaciones industrializadas y huella de carbono.

Figura 56*Producción científica de los países*

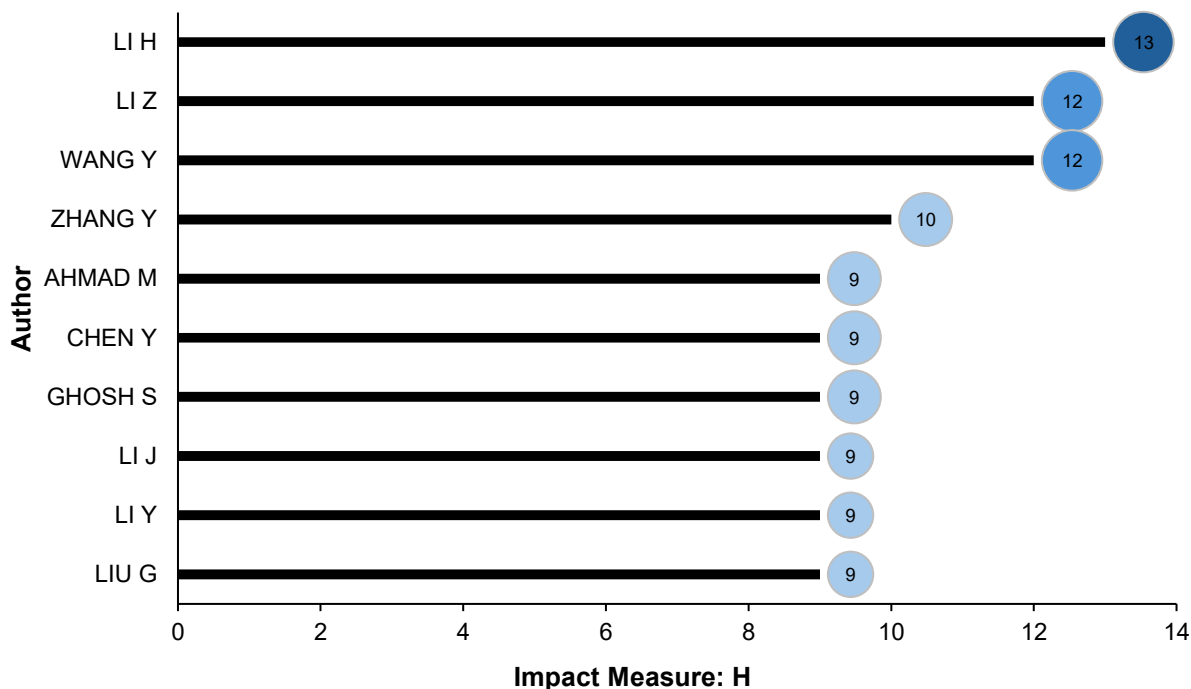
Nota. Reproducido de Biblioshiny, interfaz del paquete bibliometrix (Aria & Cuccurullo, 2017)

En la Figura 57, se puede observar una distribución fuertemente sesgada, donde el trabajo de Ghisellini et al. (2016) en *Journal of Cleaner Production* alcanza 4244 citas, cuadruplicando al segundo lugar (Pretty et al., 2008, 1 268 citas). Entre los diez documentos más citados predominan revistas de alto impacto transversal (*J Clean Prod*, *Philosophical Transactions B*, *Energy Research & Social Science*, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*), lo que confirma que los estudios sobre huella de carbono en edificios industrializados se nutren de aportes conceptuales más amplios que rebasan el ámbito puramente constructivo.

Figura 57*Documentos más citados a nivel mundial*

Nota. Elaboración propia a partir de los metadatos descargados de Scopus y procesados con el paquete Bibliometrix en RStudio.

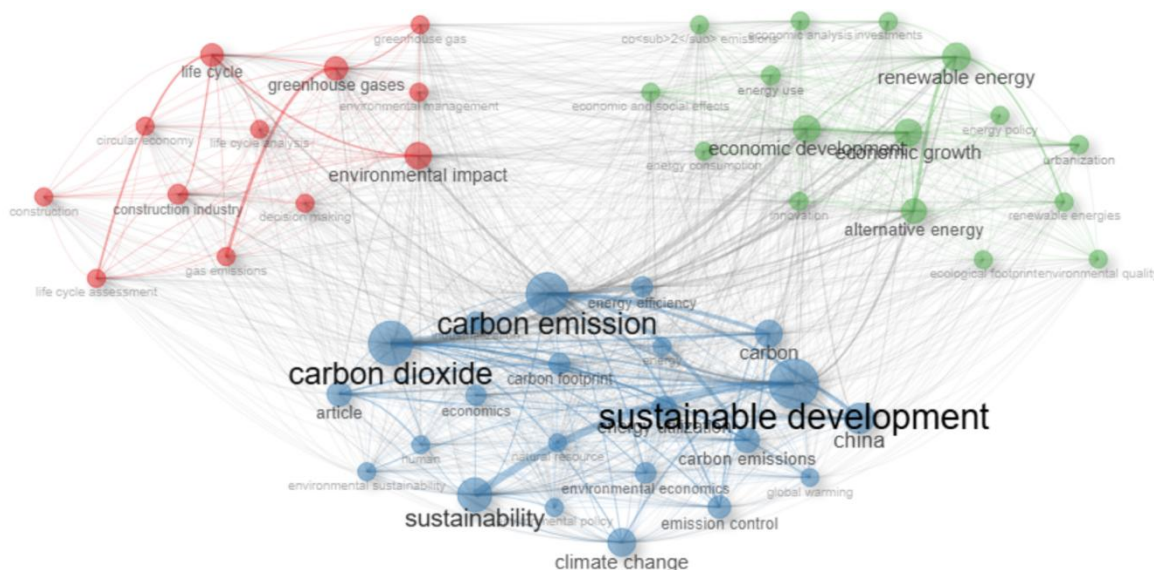
La Figura 58 muestra a los diez autores con mayor impacto en la investigación sobre la huella de carbono en edificios industrializados, medido mediante el índice h . El liderazgo recae en Li H, cuyo $h = 13$ indica que trece de sus artículos han sido citados al menos trece veces cada uno; le siguen Li Z y Wang Y, ambos con $h = 12$, y Zhang Y con $h = 10$, conformando un núcleo de investigadores de influencia consolidada.

Figura 58*Impacto local de los autores*

Nota. Elaboración propia a partir de los metadatos descargados de Scopus y procesados con el paquete Bibliometrix en RStudio.

3. Estructura conceptual y temática

A continuación, se desarrolla la red intelectual y las tendencias de investigación mediante un análisis de co-palabras, mapas temáticos y co-citación bibliográfica y de revistas, que ayudan a identificar núcleos conceptuales, las conexiones entre ellos y su evolución temporal lo que permitirá determinar vacíos y áreas emergentes.

Figura 60*Red de co-ocurrencia de palabras clave*

Nota. Reproducido de Biblioshiny, interfaz del paquete bibliometrix (Aria & Cuccurullo, 2017)

Clúster azul (centro-inferior): agrupa los términos más frecuentes, sustainable development, carbon emission, carbon dioxide y sustainability; su tamaño y posición central indican que la mitigación de emisiones y el desarrollo sostenible constituyen la columna vertebral del campo, sirviendo de puente con casi todos los demás conceptos.

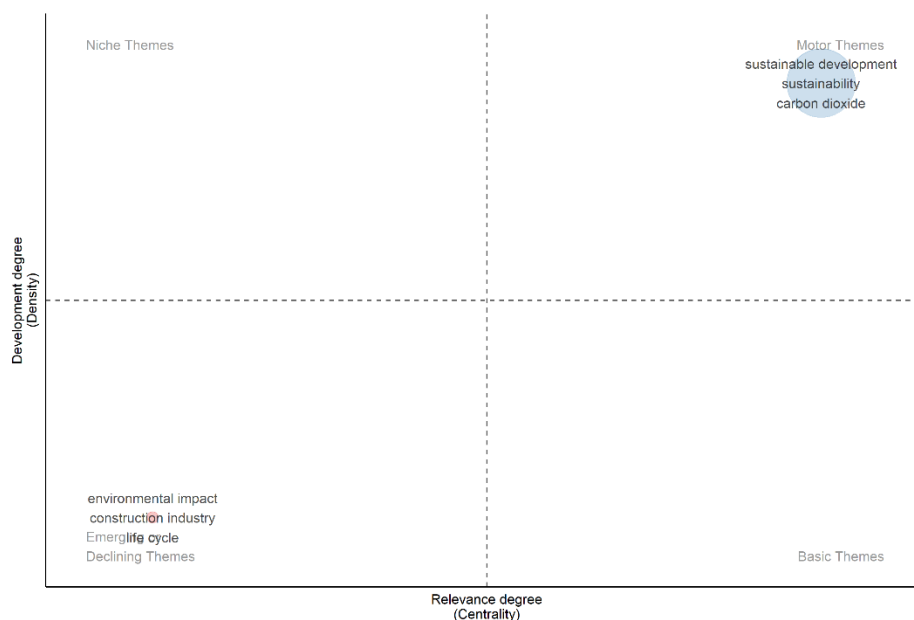
Clúster rojo (izquierda): concentra vocablos como life cycle, construction industry, circular economy y life cycle assessment, lo que apunta a estudios orientados a evaluar el impacto ambiental del edificio a lo largo de todo su ciclo de vida y a introducir estrategias de economía circular en procesos constructivos.

Clúster verde (derecha-superior): integra renewable energy, alternative energy, economic development y economic growth. Aquí predominan trabajos que relacionan la transición energética con la expansión económica y las políticas de urbanización.

La Figura 61 ubica los clústeres según su centralidad (relevancia) y densidad (madurez). En el cuadrante de *motor themes* sobresale el grupo “sustainable development”, “sustainability”, “carbon dioxide”, eje principal de la investigación sobre huella de carbono en edificios industrializados. En el cuadrante “emerging or declining” (inferior izquierdo) aparecen “environmental impact”, “construction industry” y “life cycle”: temas aún poco conectados y desarrollados que podrían consolidarse si se integran al debate principal, o bien perder vigencia si no evolucionan.

Figura 61

Mapa temático (Densidad vs centralidad)

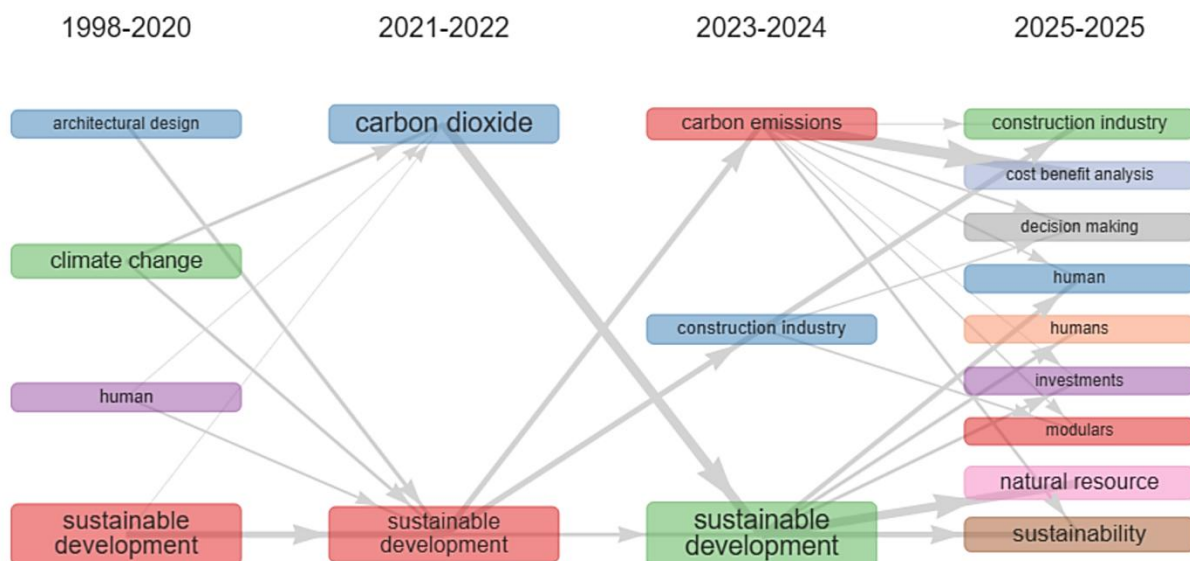


Nota. Reproducido de Biblioshiny, interfaz del paquete bibliometrix (Aria & Cuccurullo, 2017)

El diagrama de evolución temática (Figura 62) muestra un núcleo constante y una expansión gradual de perspectivas. De 1998 a 2019, el debate giró en torno a climate change, life cycle y sustainable development. Entre 2020-2022 el protagonismo pasó a carbon dioxide, aunque el desarrollo sostenible siguió siendo el hilo conductor. En 2023 surgieron indicadores y aplicaciones complementarias como carbon emissions, ecological footprint, construction industry, y en 2024 irrumpieron enfoques tecnológicos como 3-D printing y building information modelling, con renewable energy como nuevo motor. Para 2025 aparecen temas socioeconómicos que incluyen cost-benefit analysis, decision making, investments, BRICS y la modular construction, señalando que la investigación se orienta ahora a la viabilidad financiera y a la adopción práctica de soluciones de bajo carbono, sobre todo en economías emergentes.

Figura 62

Evolución temática



Nota. Reproducido de Biblioshiny, interfaz del paquete bibliometrix (Aria & Cuccurullo, 2017)

4. Análisis y discusión

El análisis bibliométrico satisface el objetivo de identificar tendencias y parámetros asociados con la reducción de la huella de carbono en edificios industrializados porque:

Define prioridades de investigación. Los clústeres revelan que el desarrollo sostenible, la evaluación de ciclo de vida (LCA) y la transición energética son los pilares actuales; centrar el caso Edificio Prado Verde en estos ejes garantizará alineación con la frontera del conocimiento.

Aísla parámetros clave. El estudio resalta cuatro ejes importantes: usar las emisiones de CO₂ como indicador ambiental principal; priorizar la energía renovable y la eficiencia energética en el diseño; emplear BIM e impresión 3D para optimizar materiales y procesos; e incorporar análisis costo-beneficio e inversiones para asegurar la viabilidad económica de las soluciones de bajo carbono.

Señala vacíos y oportunidades. El estatus emergente de “environmental impact / life cycle / construction industry” indica que falta integrar plenamente la visión LCA en la edificación vertical industrializada; abordar este vacío en el caso colombiano aporta novedad y relevancia académica.

Facilita la selección de fuentes y socios. Conocer las revistas, autores y países líderes permite focalizar la revisión de literatura, buscar asesorías expertas y establecer colaboraciones que robustezcan la investigación aplicada al Edificio Prado Verde.

El estudio bibliométrico no solo describe el estado del arte sino que orienta estratégicamente la investigación y ayuda a seleccionar indicadores, enfoques y actores importantes, maximizando el impacto científico y práctico de la propuesta de reducción de huella de carbono en construcciones verticales industrializadas.

Teniendo en cuenta los documentos más relevantes y relacionados con la industria de la construcción, la huella de carbono y edificaciones industrializadas se realiza la Tabla 35 donde se resume la idea del documento seleccionado.

La revisión de la documentación sintetiza dos ejes: el enfoque metodológico y la comparabilidad. Predomina el uso de ACV para evaluar edificios a lo largo de todo el ciclo de vida, con énfasis en reportar por módulos y bajo criterios de evaluación de sostenibilidad (SEC) que contemplen el triple balance ambiental, social y económico. Se insiste que las comparaciones sólo son válidas con unidad funcional clara, supuestos coherentes y datos de calidad (EPD/PCR), y que los estudios recientes muestran ventajas ambientales de la construcción industrializada/prefabricada frente a la obra tradicional cuando se modela de forma consistente.

El segundo eje se relaciona con técnicas de mitigación. Se destaca la reducción del factor clínker mediante SCM (escoria, puzolanas, caliza), el uso de acero reciclado, y la incorporación de agregados reciclados como vías de menor huella.

Tabla 35*Revisión de la bibliografía más relevante según análisis bibliométrico*

Título	Autor (es)	Año	País	DOI	Resumen
Desarrollo de criterios de desempeño para la evaluación de la sostenibilidad de métodos de construcción modulares versus convencionales	Mohammad Kamali Kasun Hewage	2017	Canadá	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.108	Los estudios previos muestran que la construcción modular suele reducir impactos ambientales frente a la convencional. El paso fundamental para comparar edificios es definir criterios de evaluación de sostenibilidad claros, pertinentes y medibles.
Potencial de reducción de dióxido de carbono en la industria mundial del cemento para 2050	Sabbie A. Miller Vanderley M. John Sergio A. Pacca Arpad Horvath	2018	Brasil	https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.026	Se concluye que la industria del cemento puede alinearse con la meta 2 °C para 2050 usando más arcilla calcinada y rellenos de ingeniería con dispersantes, sumando alternativas al clínker y eficiencia en uso; la viabilidad depende de disponibilidad regional y adopción de mercado, con tecnologías ya listas.
Análisis del ciclo de vida de la industria de la construcción: una visión general de dos décadas de investigación (1995-2018)	Majid Bahramian Kaan Yetilmezsoy	2020	Turquia	https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109917	Los estudios se enfocan en las fases de fabricación y uso, y en GWP y energía incorporada. Los resultados son muy dispersos: la energía incorporada va de 0,533 MJ/m ² a 883,1 GJ/m ² en gran altura (0,21–374,4 GJ/m ² en baja), y el GWP de 10 a 10.010 kg CO ₂ e/m ² ·año; las estructuras de madera muestran potencial de reducción (≈235–1338 kg CO ₂ e/m ²).
Huella de carbono de la industria de la construcción: una revisión global y análisis de la cadena de suministro	Nuri Cihat Onat Murat Kucukvar b	2020	Qatar	https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109783	Se evidencia poca atención a estimaciones macro del sector construcción que incluyan cadenas de suministro globales, necesarias para capturar su potencial total de reducción de carbono.
Sostenibilidad en la industria de la construcción: una revisión sistemática de la literatura	Luanda Lima Emanuely Trindade Luciana Alencar Marcelo Alencar Luna Silva c	2021	Brasil	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125730	Los artículos se enfocan principalmente en materiales, porque son la mayor fuente de impactos ambientales en construcción civil, tanto los permanentes como los auxiliares.

Título	Autor (es)	Año	País	DOI	Resumen
Lograr cero emisiones netas de gases de efecto invernadero en la industria del cemento mediante estrategias de mitigación de la cadena de valor	Sabbie A. Miller Guillermo Habert Rupert J. Myers John T. Harvey	2021	EE.UU	https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.09.011	Reducir clinker con SCM es la vía clave para bajar CO ₂ en cementos estándar. Las cenizas volantes y escorias ayudan pero su disponibilidad es limitada; en cambio, LC3 (caliza + arcilla calcinada) puede sustituir ~50% del clinker y bajar ~30% las emisiones. Además, optimizar la dosificación (cemento, SCM, granulometría y aditivos) reduce aún más los GEI.
Evaluación del impacto de la urbanización en las emisiones de CO ₂ de la industria de la construcción: evidencia de China	Shengxi Zhang Zhongfu Li Xin Ning Li c largo	2021	China	https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112440	Existe una curva EKC en U invertida: en las primeras fases del crecimiento urbano, las emisiones de CO ₂ del sector construcción aumentan, y luego se estabilizan o disminuyen al alcanzar cierto nivel de urbanización; por eso, las etapas iniciales implican altos costos ambientales.
Aprovechamiento total de áridos reciclados carbonatados en el hormigón: análisis de resistencia, contracción por secado y emisiones de carbono	Jianzhuang Xiao Hanghua Zhang Yuxiang Tang Qi Deng Dianchao Wang Chi-sun Poon b	2022	China	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134520	El CFRAC (con agregado reciclado carbonatado) logró +20,9% en resistencia y -23,3% en contracción a 180 días vs. AR, gracias a menor absorción y microestructura más densa. Además, redujo las emisiones 7,1–13,3% y la intensidad de CO ₂ 13,4–18,4% (menos transporte y captura de CO ₂), confirmando la carbonatación como vía eficaz para reciclar concreto de desecho.
Contabilidad holística del ciclo de vida de las emisiones de carbono de edificios prefabricados mediante ACV y BIM	Xiao-juan Li Wan-jun Xie Le Xu Lu-lu Li CY Jim b Tai-bing Wei c	2022	China	https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112136	Los edificios de hormigón prefabricado (PCB) pueden ahorrar recursos, reducir la construcción, mejorar la calidad y reducir la contaminación. Comprender los beneficios ambientales del PCB en comparación con los edificios tradicionales podría reforzar las políticas pertinentes y su adopción
Comparación y análisis de las emisiones de carbono de edificaciones tradicionales, prefabricadas y de materiales ecológicos en etapa de materialización	Yu Zhao Lu Liu Miao Yu	2023	China	https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137152	El estudio aplica Em-CEF y el diagrama de fases energéticas para comparar obra in situ, materiales bajo carbono y prefabricación. Resultado: la construcción in situ presenta las mayores emisiones de CO ₂ , mientras que la prefabricada logra el mejor índice de desarrollo sostenible.

Nota. Elaboración propia basada en múltiples fuentes (véase DOI). Artículos consultados en ScienceDirect; acceso: 2025.

Apéndice B. Cantidades de materiales

CANTIDADES DE MATERIALES - EDIFICIO PRADO VERDE - OCAÑA NORTE DE SANTANDER					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID	CANTIDAD	FACTOR	MATERIAL
1	CIMENTACIONES				
Total	Cantidad total concreto de f'c = 21 MPa–cimentación	m3	51,45	Desp.	Cantidad total
	Cemento	kg	428,00 kg/m3	0%	22020,60 kg
	Agregado fino	kg	945,33 kg/m3	0%	48637,23 kg
	Agregado grueso	kg	786,46 kg/m3	0%	40463,37 kg
	Agua	kg	213,51 kg/m3	0%	10985,09 kg
	Aditivo	kg	6,42 kg/m3	0%	330,31 kg
Total	Acero de refuerzo para cimentación	kg	5.968,84	Desp.	Cantidad total
	Acero de refuerzo	kg	5.968,84	0%	5968,84 kg
2	MUROS				
Total	Cantidad total concreto de f'c = 24,5 MPa - muros	m3	115,44	Desp.	Cantidad total
	Cemento	kg	475,00 kg/m3	0%	54833,25 kg
	Agregado fino	kg	904,31 kg/m3	0%	104392,11 kg
	Agregado grueso	kg	786,46 kg/m3	0%	90787,70 kg
	Agua	kg	213,33 kg/m3	0%	24626,48 kg
	Aditivo	kg	7,13 kg/m3	0%	823,08 kg
Total	Acero de refuerzo para muros	kg	11.251,22	Desp.	Cantidad total
	Acero de refuerzo	kg	11.251,22	0%	11251,22 kg
3	ESCALERAS				
Total	Cantidad total concreto de f'c = 21 MPa - escaleras	m3	3,21	Desp.	Cantidad total
	Cemento	kg	428,00 kg/m3	0%	1372,85 kg
	Agregado fino	kg	945,33 kg/m3	0%	3032,24 kg
	Agregado grueso	kg	786,46 kg/m3	0%	2522,65 kg
	Agua	kg	213,51 kg/m3	0%	684,85 kg
	Aditivo	kg	6,42 kg/m3	0%	20,59 kg
Total	Acero de refuerzo para escaleras	kg	295,05	Desp.	Cantidad total
	Acero de refuerzo	kg	295,05	0%	295,05 kg
4	VIGAS				
Total	Cantidad total concreto de f'c = 21 MPa–vigas, dintel	m3	6,05	Desp.	Cantidad total
	Cemento	kg	428,00 kg/m3	0%	2590,53 kg
	Agregado fino	kg	945,33 kg/m3	0%	5721,74 kg
	Agregado grueso	kg	786,46 kg/m3	0%	4760,16 kg
	Agua	kg	213,51 kg/m3	0%	1292,30 kg
	Aditivo	kg	6,42 kg/m3	0%	38,86 kg
Total	Acero de refuerzo para vigas y dinteles	kg	Cantidad	Desp.	Cantidad total
	Acero de refuerzo	kg	1.336,53	0%	1336,53 kg
5	LOSA MACIZA				
Total	Cantidad total concreto de f'c = 21 MPa–losa maciza	m3	66,31	Desp.	Cantidad total
	Cemento	kg	428,00 kg/m3	0%	28380,76 kg
	Agregado fino	kg	945,33 kg/m3	0%	62685,01 kg
	Agregado grueso	kg	786,46 kg/m3	0%	52150,31 kg
	Agua	kg	213,51 kg/m3	0%	14157,89 kg
	Aditivo	kg	6,42 kg/m3	0%	425,71 kg
Total	Acero de refuerzo para losa maciza	kg	Cantidad	Desp.	Cantidad total
	Acero de refuerzo	kg	5.582,28	0%	5582,28 kg

Apéndice C. Propiedades de los agregados

DATOS PARA DISEÑO DE MEZCLAS					
Propiedades agregado fino					
ÍTEM	Propiedad	Unidad	Trabajo de grado 1	Trabajo de grado 2	Promedio
			EAT Provias	EAT Provias	EAT Provias
1,0	Densidad aparente seca	g/cm ³	2,59	2,59	2,59
2,0	Masa unitaria compacta	gr/cm ³	1,62	1,80	1,712
3,0	Humedad natural	%	2,24	4,23	3,24
4,0	Absorción	%	1,83	3,01	2,42
5,0	Módulo de finura	---	2,54	4,31	3,43
Propiedades agregado grueso					
ÍTEM	Propiedad	Unidad	Trabajo de grado 1	Trabajo de grado 2	Promedio
			EAT Provias	EAT Provias	EAT Provias
1,0	Densidad aparente seca	g/cm ³	2,66	2,66	2,66
2,0	Masa unitaria compacta	gr/cm ³	1,56	1,66	1,608
3,0	Humedad natural	%	0,29	0,57	0,43
4,0	Absorción	%	2,07	1,72	1,90
5,0	Tamaño máximo (TM)	mm	19,00	19,00	19,00
6,0	Tamaño máximo nominal (TMN)	mm	19,00	12,70	12,70
Trabajo de grado 1: Dosificaciones de mezclas para obtener concreto estructural empleando arcillas calcinadas del sector el Hatillo, materiales pétreos del río algodonal y de la E.A.T. Provias en Ocaña, Norte de Santander. (Caamaño & Guette, 2018)					
Trabajo de grado 2: Caracterización físico-mecánica de los agregados pétreos en el municipio de Ocaña. (Guzmán & Roper, 2014)					

Apéndice D. Resultados del diseño de mezclas



V 1.0 21-06-2019

Diseño de mezclas de concreto por medio del Método del ACI



DISEÑO DE MEZCLAS CONCRETO MÉTODO ACI

1. Consideraciones específicas del proyecto

Resistencia de diseño del concreto(f'_c) : 21,00 MPa

Categoría de exposición de la estructura : C

Clase de exposición de la estructura : CO

Tipo de estructura : Losas

2. Agregados

2.1 Agregado grueso

Densidad aparente seca : 2,66 g/cm³

Masa unitaria compacta : 1.608,00 kg/m³

Humedad natural : 0,43 %

Absorción : 1,90 %

TM : 3/4"

TMN : 1/2"

2.2 Agregado fino

Densidad aparente seca : 2,59 g/cm³

Masa unitaria compacta : 1.712,00 kg/m³

Humedad natural : 3,24 %

Absorción : 2,42 %

Módulo de finura(MF) : 3,43

3. Cemento

Densidad específica : 3,10 g/cm³

4. Estimaciones iniciales

Asentamiento : 150,00 mm

Agua de mezclado : 214,00 kg/m³

Relación agua-cemento(a/c) : 0,50

¿Considera aire atrapado? : No

Aire naturalmente atrapado : ---

5. Resultados

5.1 Resistencia promedio requerida

Resistencia requerida(f'_{cr}) : 29,30 MPa

5.2 Agua y cemento

Contenido de agua : 214,00 kg/m³

Contenido de cemento : 428,00 kg/m³

Volumen agua : 214,00 l/m³

Volumen cemento: 138,0645 l/m³

5.3 Agregados compactos

5.3.1 Agregado grueso

Relación b/bo : 0,487

Peso seco(P_g) : 783,096 kg/m³ concreto

Volumen absoluto(V_g) : 294,397 l/m³ concreto

5.3.2 Agregado fino

Peso seco(P_f) : 915,6647 kg/m³ concreto

Volumen absoluto(V_f) : 353,5385 l/m³ concreto

5.4 Corrección por humedad

Agua libre agregado grueso : $-11,5115 \text{ l/m}^3$

Agua libre agregado fino : $7,5085 \text{ l/m}^3$

Total agua libre : $-4,0031 \text{ l/m}^3$

Agua de mezclado ajustada : $218,0031 \text{ l/m}^3$

5.5 Proporciones y dosificación de la mezcla

Ingrediente	Peso húmedo(kg/m^3)	Densidad específica(gr/cm^3)	Volumen absoluto(l/m^3)
Cemento	428,00	3,10	138,06452
Agua	218,00306	1,00	218,00306
Aire	---	---	Despreciado
Agregado grueso	786,46331	2,66	294,39699
Agregado fino	945,33223	2,59	353,53849
Total	195.022.660,00 kg/m^3		100.400.306,00 l/m^3 *

Tabla 1. Proporciones por peso húmedo compacto para 1 m^3 de concreto.

* El agua superficial libre de los agregados completa los 1000 l/m^3 de la mezcla.

Finalmente, para comprobar que los pesos ajustados por humedad se encuentran correctos, la diferencia entre el peso unitario del concreto con agregados húmedos y agregados secos, debe ser equivalente al peso del agua absorbida por los agregados. Es decir :

Peso unitario concreto con agregados secos : $2.340,7607 \text{ kg/m}^3$

Agua absorbida por el agregado grueso : $14,8788 \text{ kg/m}^3$

Agua absorbida por el agregado fino: $22,1591 \text{ kg/m}^3$

Suma entre agua absorbida del agregado grueso y fino : $37,0379 \text{ kg/m}^3$

La dosificación se realiza para el caso de los materiales compactos y teniendo en cuenta la corrección por humedad de los agregados, por lo que se verá disminuida la relación de agua para la dosificación.

Tipo dosificación	Cemento	Arena	Triturado	Agua(agreg. húmedo)
Por kg de cemento	1	2,21	1,84	0,51 l
Por bulto de cemento de 42.5	1	2,21	1,84	21,65 l
Por bulto de cemento de 50 kg	1	2,21	1,84	25,47 l

Tabla 2. Dosificaciones por peso para agregados compactos y con corrección por humedad.

DISEÑO DE MEZCLAS CONCRETO MÉTODO ACI

1. Consideraciones específicas del proyecto

Resistencia de diseño del concreto(f'_c) : 24,50 MPa

Categoría de exposición de la estructura : C

Clase de exposición de la estructura : CO

Tipo de estructura : Muros

2. Agregados

2.1 Agregado grueso

Densidad aparente seca : 2,66 g/cm³

Masa unitaria compacta : 1.608,00 kg/m³

Humedad natural : 0,43 %

Absorción : 1,90 %

TM : 3/4"

TMN : 1/2"

2.2 Agregado fino

Densidad aparente seca : 2,59 g/cm³

Masa unitaria compacta : 1.712,00 kg/m³

Humedad natural : 3,24 %

Absorción : 2,42 %

Módulo de finura(MF) : 3,43

3. Cemento

Densidad específica : 3,10 g/cm³

4. Estimaciones iniciales

Asentamiento : 150,00 mm

Agua de mezclado : 214,00 kg/m³

Relación agua-cemento(a/c) : 0,45

¿Considera aire atrapado? : No

Aire naturalmente atrapado : ---

5. Resultados

5.1 Resistencia promedio requerida

Resistencia requerida(f'_{cr}) : 32,80 MPa

5.2 Agua y cemento

Contenido de agua : 214,00 kg/m³

Contenido de cemento : 475,5556 kg/m³

Volumen agua : 214,00 l/m³

Volumen cemento : 153,405 l/m³

5.3 Agregados compactos

5.3.1 Agregado grueso

Relación b/bo : 0,487

Peso seco(P_g) : 783,096 kg/m³ concreto

Volumen absoluto(V_g) : 294,397 l/m³ concreto

5.3.2 Agregado fino

Peso seco(P_f) : 875,9328 kg/m³ concreto

Volumen absoluto(V_f) : 338,198 l/m³ concreto

5.4 Corrección por humedad

Agua libre agregado grueso : $-11,5115 \text{ l/m}^3$

Agua libre agregado fino : $7,1826 \text{ l/m}^3$

Total agua libre : $-4,3289 \text{ l/m}^3$

Agua de mezclado ajustada : $218,3289 \text{ l/m}^3$

5.5 Proporciones y dosificación de la mezcla

Ingrediente	Peso húmedo(kg/m^3)	Densidad específica(gr/cm^3)	Volumen absoluto(l/m^3)
Cemento	475,5556	3,10	153,40502
Agua	218,32886	1,00	218,32886
Aire	---	---	Despreciado
Agregado grueso	786,46331	2,66	294,39699
Agregado fino	904,31302	2,59	338,19799
Total	238.466.075,00 kg/m^3		100.432.886,00 l/m^3 *

Tabla 1. Proporciones por peso húmedo compacto para 1 m^3 de concreto.

* El agua superficial libre de los agregados completa los 1000 l/m^3 de la mezcla.

Finalmente, para comprobar que los pesos ajustados por humedad se encuentran correctos, la diferencia entre el peso unitario del concreto con agregados húmedos y agregados secos, debe ser equivalente al peso del agua absorbida por los agregados. Es decir :

Peso unitario concreto con agregados secos : $2.348,5843 \text{ kg/m}^3$

Agua absorbida por el agregado grueso : $14,8788 \text{ kg/m}^3$

Agua absorbida por el agregado fino: $21,1976 \text{ kg/m}^3$

Suma entre agua absorbida del agregado grueso y fino : $36,0764 \text{ kg/m}^3$

La dosificación se realiza para el caso de los materiales compactos y teniendo en cuenta la corrección por humedad de los agregados, por lo que se verá disminuida la relación de agua para la dosificación.

Tipo dosificación	Cemento	Arena	Triturado	Agua(agreg. húmedo)
Por kg de cemento	1	1,90	1,65	0,46 l
Por bulto de cemento de 42.5	1	1,90	1,65	19,51 l
Por bulto de cemento de 50 kg	1	1,90	1,65	22,96 l

Tabla 2. Dosificaciones por peso para agregados compactos y con corrección por humedad.

Apéndice E. Fichas técnicas de equipos



MEZCLADORA 1 BULTO



MOTOR ELÉCTRICO
MONOFÁSICO
3HP



MOTOR GASOLINA
HONDA
5,5HP
3600 rpm



MOTOR DIESEL
5,5HP
3600 rpm

Producción por hora	1,5 a 2m3 ó 7,5 a 9 Bultos
Cremallera	Completa Intercambiable
Chasis	De 3"
Fabricación	Lámina trabajo pesado Calibre 3/16" y 1/8"
Corona Diente Interno	Hierro
Seguridad Industrial	Piñón Protegido
Rodamientos	Para Trabajo Pesado
Llantas	Rin No. 13
Peso Seco Sin Motor	190 Kg Aproximadamente
Dimensiones (cm)	Largo 179 x Ancho 100 x Alto 139
Capacidad Max (Litros)	250 Litros
Capacidad Mezcla (Lt)	180
Accesorios	Protector de corona Protector de catalina



Corona



Eje

www.maquistoresas.com

 317 4443321
317 6615941
  maquistore_sas
  maquistore sas



Nota. Mezcladora de 1 bulto genérica tradicionalmente utilizada. Tomada de la página Web del vendedor MAQUISTORE (2025)



Descripción

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MOTOR:

Trifásico: 5hp, 3600 rpm 220v.

Gasolina: 9hp 3600 rpm

Diesel: 10hp 3600rpm

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ESTRUCTURA:

Estructura: Fabricado en lámina 3/16 – 1/4

Tambor: En Aluminio

Guaya: 5/16 Alma en Yute x 30 mts

Zapatillas: En Aluminio Recalzadas en Asbesto

Brazo: En Tubería Petrolera 2" x 1.60 mts

Giro: 360 Grados

Peso: 190 – 200 Kg Aproximados

Dimensiones: Largo: 2 m – Ancho: 0.64 m – Alto: 2.05 m

Base: Fabricada en Acero 1045 – Canal U de 3" Estructural

Balde: Alto 45 cm * 38 cm de diametro, fabricado en lámina calibre 12, reforzado con platina de 1 ½" x 1/8

Canastilla: 80 cm x 80 cm x 27 cm de alto, fabricada en Angulo de 1 ½" x 3/16, Piso madera segmentada 18 cms ancho x 2cm grosor.

Nota. Pluma grúa tradicional utilizada en construcciones en el municipio de Ocaña Norte de Santander. Tomado de la página web del vendedor DIMACRO (2025)



Maquinaria Liviana

VIBRADOR PARA CONCRETO ENAR DINGO

Vibrador para Concreto, con Motor Español Monofásio Enar, con asas laterales que proporcionan mayor seguridad y protección para el equipo, liviano y versátil para su transporte, el vibrador para concreto Enar ofrece las mejores prestaciones para su labor.

FICHA TÉCNICA	
Carcasa	Poliamida
Marcos protectores	Mangos – alta Protección
Potencia de motor	3 Hp (20 Amp)
Voltaje	110 V
Revoluciones x min	18.000
Frecuencia vpm	hasta 16.000
Resistencia a golpes	Alta
Diámetro cabezotes	De 25 mm a 45 mm
Longitud eje flexible	De 3 mt a 6 mt
Sistema	Excéntrico
Peso	5,4 kg (solo motor)
Trabajo continuo	8 horas
Acople motor – eje	Roscado



SKU:

Sin eje flexible	ME-EN3
Eje flexible 4m cabezote 25mm	ME-EN3-EF4-25
Eje flexible 4m cabezote 38mm	ME-EN3-EF4-38
Eje flexible 4m cabezote 45mm	ME-EN3-EF4-45
Eje flexible 6m cabezote 25mm	ME-EN3-EF6-25
Eje flexible 6m cabezote 38mm	ME-EN3-EF6-38
Eje flexible 6m cabezote 45mm	ME-EN3-EF6-45

info@maquitecdecolombia.com
Cra. 22 # 68 - 68 | Bogotá, Colombia

Nota. Vibrador eléctrico. Tomado de la página Web del vendedor MAQUITEC (2025)

FICHA TÉCNICA



MARTILLO PERFORADOR GBH 2-26 DRE

MARTILLO PERFORADOR
GBH 2-26 DRE (11253)

Referencia: **GBH 2-26 DRE**

■ Código DUN 00000000000
■ Código EAN13 000000000
■ SKU 8635052



Información Técnica

MARTILLO PERFORADOR GBH 2-26 DRE

Modelo: **GBH 2-26 DRE**

El Rotomartillo Bosch GBH 2-26 DRE es el más rápido para perforaciones en hormigón y cincelados en la construcción. Tiene potente motor de 800W e interruptor electrónico, ideal para instalaciones en general, sistema de encaje SDS-plus para cambios rápidos de accesorios, ofrece la misma potencia en ambos sentidos de giro y embrague de seguridad, ofreciendo protección al operador en caso de bloqueo del accesorio.

Propiedad	Especificación
RPM:	0-900
Color:	Azul
Potencia absorbida:	800 W
Max perforación madera:	30mm
Max perforación acero:	13mm
Mandril (mm):	13
Tipo mandril:	SDS plus
Fuerza impacto (J):	3
ipm:	0-4000

Nota. Taladro percutor. Tomado de la página Web del vendedor BOSCH (2025)

ESPECIFICACIONES

	Inglés	Métrico
Producción de concreto por hora	45 yardas ³	35 metros ³
Máx. presión en el concreto	1100 psi	76 bar
Máx. tamaño de agregado	1.5 in	38 mm
Diámetro del cilindro de concreto	6 in	150 mm
Largo de recorrido del cilindro de concreto	39 in	1000 mm
Diámetro del pistón/vástago del diferencial	3.15/1.96 in	80/50 mm
Diámetro externo	5 in	125 mm
Tipo de válvula de concreto	Roca larga	
Cilindros corredizos	2	
Máx. recorridos de la bomba por minuto	32.5	
Control de volumen	0 hasta el máximo	
Sistema hidráulico	Circuito abierto	
Bomba hidráulica principal	A11VO95	
Presión hidráulica	3867 psi	266 bar
Capacidad del tanque hidráulico	63 gal	238 l
Modelo del motor – Diésel Tier 4l	CAT 4.4 T	2200 RPM
Potencia del motor diésel CAT	81 hp	60.4 kw

Capacidad del tanque hidráulico	63 gal	238 l
Modelo del motor – Diésel Tier 4l	CAT 4.4 T 2200 RPM	
Potencia del motor diésel CAT	81 hp	60.4 kw
Capacidad del tanque de combustible	20 gal	76 l
Capacidad de la tolva	11 cu ft	311 l
Altura de la tolva	48 in	1220 mm
Eje	Estándar sencillo	
Capacidad nominal del eje	7000 lbs	3175 kg
Llantas	ST 235/80 R16	
Frenos	Eléctricos	
Patas de estabilizadores	Estándar manuales	
Largo	172 in	4369 mm
Ancho	68 in	1727 mm
Altura	87 in	2210 mm
Peso de unidades de remolque	6950 lbs	3152 kg
Peso doble	6500 lbs	2948 kg
Cable de control remoto	100 ft	30.5 m



SCHWING
America

[Productos](#)
[Repuestos](#)
[Servicio](#)
[Tecnología](#)
[Usados](#)
[Quiénes somos](#)
[Carreras](#)
[Noticias](#)

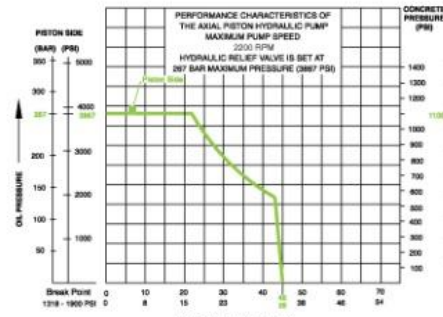
SP 500



PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF THE AXIAL PISTON HYDRAULIC PUMP*

MAXIMUM PUMP SPEED: 2200 RPM

HYDRAULIC RELIEF VALVE IS SET AT 267 BAR MAXIMUM PRESSURE (3867 PSI)



Oil Pressure (BAR/PSI)

Concrete Output (cu yd / cu m)

Number of Stroke (stroke per min.)

Oil Volume (liters per min.)

Nota. Bomba de concreto. Tomado de la página Web del vendedor SCHWING (2025)