

INFORME FINAL - TRABAJO DE GRADO

Luis Miguel Portilla Carrillo

Código: 100331749

Pablo Andrés García Arango

Código: 100331609

Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano

Maestría en Gerencia de Proyectos

Trabajo de grado

Octubre, 2024

Manizales, Caldas

Informe final - Trabajo de grado

Diagnóstico de la huella de carbono en proyectos de construcción de obras civiles a partir de la metodología de análisis de ciclo de vida: Caso de estudio en empresas en el eje cafetero

Luis Miguel Portilla Carrillo

Código: 100331749

Pablo Andrés García Arango

Código: 100331609

Director del trabajo de grado

Jairo Enrique Parra Herrera

Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano

Maestría en Gerencia de Proyectos

Trabajo de grado

Octubre, 2024

Manizales, Caldas

Contenido

TITULO.....	7
INTRODUCCIÓN.....	7
RESUMEN	10
ESTADO DE LA CUESTIÓN	12
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
OBJETIVOS	16
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	17
HIPÓTESIS	17
MARCO TEORICO	18
METODOLOGÍA.....	26
RESULTADOS	30
DISCUSIÓN.....	63
CONCLUSIONES.....	65
RECOMENDACIONES	67
REFERENCIAS	68

Listado de tablas

Tabla 1 Comparativa de metodologías para la evaluación de los gases de efecto invernadero en las organizaciones.....	22
Tabla 2 <i>Metodología para el desarrollo de la investigación</i>	28
Tabla 3 <i>Selección de la muestra</i>	30
Tabla 4 <i>Límites de la organización</i>	32
Tabla 5 <i>Carácter de los aspectos ambientales</i>	35
Tabla 6 <i>Extensión de los aspectos ambientales</i>	35
Tabla 7 <i>Frecuencia de los aspectos ambientales</i>	36
Tabla 8 <i>Importancia de los aspectos ambientales</i>	36
Tabla 9 <i>Calificación de los impactos negativos</i>	37
Tabla 10 <i>Calificación de los impactos positivos</i>	37
Tabla 11 <i>Matriz de aspectos e impactos ambientales</i>	38
Tabla 12 <i>Emisiones por alcance</i>	39
Tabla 13 <i>Fuentes de gases</i>	40
Tabla 14 <i>Límites operativos para emisiones directas – Alcance 1</i>	42
Tabla 15 <i>Límites operativos para emisiones indirectas – Alcance 2</i>	43
Tabla 16 <i>Factores de emisión (emisiones directas) combustión</i>	45
Tabla 17 <i>Factores de emisión (emisiones directas) construcción</i>	46
Tabla 18 <i>Factores de emisión (emisiones indirectas)</i>	47
Tabla 19 <i>Año base inventario de emisiones</i>	48
Tabla 20 <i>Cálculo huella de carbono emisiones directas</i>	48

Tabla 21 <i>Cálculo huella de carbono emisiones indirectas</i>	49
Tabla 22 <i>Cálculo huella de carbono total</i>	49
Tabla 23 <i>Informe GEI-001</i>	50
Tabla 24 <i>Informe GEI-002</i>	51
Tabla 25 <i>Informe GEI-003</i>	52
Tabla 26 <i>Procesos del ciclo de vida del sector construcción</i>	54
Tabla 27 <i>Procesos del ciclo de vida a analizar</i>	55
Tabla 28 <i>Aspectos e impactos de mayor relevancia</i>	55
Tabla 29 <i>Cálculo huella de carbono total, etapa proceso ciclo de vida</i>	56
Tabla 30 <i>Informe contraste LCA</i>	61

Listado de ilustraciones

Ilustración 1 <i>Ciclo de vida sector construcción / ciclo de vida del producto – servicio a analizar</i>	
.....	53

TITULO

Diagnóstico de la huella de carbono en proyectos de construcción de obras civiles a partir de la metodología de análisis de ciclo de vida: Caso de estudio en empresas en el eje cafetero.

INTRODUCCIÓN

La industria relacionada con la construcción de obras civiles como pilar fundamental para el desarrollo económico, social y ambiental de Colombia aporta un gran impacto al medio ambiente, especialmente en las emisiones de gases invernadero, por lo tanto, la implementación de medidas para reducir su impacto ambiental puede aportar a la reducción del actual 10% al que corresponde el sector entre las principales industrias nacionales cuyas emisiones de CO₂ de acuerdo con bases de datos en 2021 han sido de 77,57 megatoneladas, con lo que Colombia es el país número 137 del ranking de países por emisiones de CO₂, formado por 184 países, en el que se ordenan los países de menos a más contaminantes (Datosmacro, 2022).

La huella de carbono es un concepto desarrollado para referirse a la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) tales como el dióxido de carbono (CO₂) u otros que se estiman y cuantifican en términos equivalentes al dióxido de carbono (CO₂e) y son generados por las actividades humanas derivadas del uso de combustibles fósiles, la degradación de los productos manufacturados, el manejo de residuos, el uso de energía, la explotación y consumo de recursos naturales, actividades que emiten gases de efecto invernadero con potencial de afectar a la capa de ozono, contribuyendo al calentamiento global.

Existen esfuerzos internacionales por implementar planes de acción para tomar medidas e indicaciones para la acción por el clima, como lo ha sido la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP26) y el resultante Pacto de Glasgow para el Clima en donde las naciones acordaron acciones para “estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera”.

Actualmente, se suman iniciativas corporativas para la optimización de procesos, implementación de tecnologías sostenibles, conceptos de arquitectura verde, economía circular entre otros, que apuntan a la disminución del impacto al medio ambiente en el corto plazo dentro del proceso constructivo utilizando materiales reciclados, optimizando las horas de consumo de combustible, generando rutinas de mantenimiento que garanticen el funcionamiento eficiente y adecuado de los equipos de mayor consumo de combustible, realizando clasificación en la fuente, capacitando y concientizando en buenas prácticas. Adicionalmente se incorporan conceptos de sostenibilidad a mediano y largo plazo desarrollando construcciones bioclimáticas, que permitan reducir el consumo de energías utilizadas para obtener un confort térmico, haciendo uso de materiales aislantes, ventilación cruzada, iluminación natural, diseño estratégico, materiales de alta calidad, baja mantenibilidad entre otras consideraciones que en su conjunto permiten que durante todo el ciclo de vida del producto se obtenga una reducción relevante en gasto energético o consumo de recursos naturales.

La falta de una evaluación sistemática de la huella de carbono en los proyectos impide una lectura completa del impacto ambiental de sus actividades, por lo tanto, realizar un diagnóstico integral y una evaluación detallada de la huella de carbono asociada a los proyectos

de obra civil en la región permite avanzar hacia la identificación de acciones concretas hacia la sostenibilidad y la mitigación del cambio climático.

La implementación del análisis de ciclo de vida en proyectos de construcción obras civiles permite desarrollar oportunidades de mejora para alcanzar los compromisos nacionales e internacionales en materia de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Colombia se ha comprometido a abordar el cambio climático mediante la implementación de medidas concretas y sostenibles. En este sentido, la industria de la construcción puede jugar un papel determinante en la consecución de estos objetivos, al adoptar prácticas y tecnologías más amigables con el medio ambiente.

La presente investigación tiene una relevancia social, económica y ambiental significativa. Desde el punto de vista social, el estudio busca promover una conciencia sostenible en el sector de la construcción y obras civiles en Colombia, fomentando prácticas responsables que beneficien a las comunidades locales y al medio ambiente en general. Desde la perspectiva económica, la implementación de eficiencia energética puede traducirse en ahorros significativos a largo plazo para la industria, al disminuir costos operativos asociados al consumo energético. Finalmente, desde una perspectiva ambiental, el estudio busca contribuir al análisis para la mitigación del cambio climático al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Al obtener un diagnóstico y evaluación de la huella de carbono de los proyectos de obra civil de la empresa, se sentarán las bases para la formulación de estrategias efectivas que promuevan un desarrollo sostenible y responsable en el sector de la construcción en Colombia, con el fin de contar con estructuras sostenibles, resilientes e inclusivas.

RESUMEN

Las emisiones de carbono en la industria de la construcción y su alto consumo de energía representan aspectos relevantes para el medio ambiente, que evidencian la importancia de identificar métodos para mitigar las emisiones, reducir el consumo y mejorar la eficiencia hacia un desarrollo sustentable.

Con la presente investigación se realizó el diagnóstico de la huella de carbono en proyectos de construcción de obras civiles a partir de la metodología de análisis de ciclo de vida en el eje cafetero colombiano como caso de estudio, análisis y aproximación a la estimación de impactos en el medio ambiente del sector, ya que la industria de la construcción de obras civiles de infraestructura en Colombia desempeña un papel dinamizador de la economía tanto en generación de empleo como en crecimiento económico, que, sin embargo, genera afectaciones significativas en el medio ambiente, especialmente asociadas a emisiones de gases de efecto invernadero.

Compilando información suministrada por entidades, bases de datos y empresas que configuran la muestra de investigación, se desarrolló análisis del ciclo de vida aplicado a esta problemática, contribuyendo a la identificación de oportunidades de mejora enfocadas en la disminución significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero en las actividades asociadas a la construcción de obras civiles en infraestructura, considerando las emisiones directas e indirectas; identificando los factores y actividades generadores de huella de carbono; analizando metodologías de evaluación de la medida de huella de carbono.

Palabras clave

Análisis de ciclo de vida, huella de carbono, industria de construcción.

ABSTRACT

Carbon emissions in the construction industry and its high energy consumption represent relevant aspects for the environment, which demonstrate the importance of identifying methods to mitigate emissions, reduce consumption and improve efficiency towards sustainable development.

The present research aims to carry out the diagnosis of the carbon footprint in civil works construction projects based on the life cycle analysis methodology in the Colombian coffee region as a case study, analysis and approach to estimating impacts. in the environment of the sector, since the construction industry of civil infrastructure works in Colombia plays a dynamic role in the economy both in job creation and economic growth, which, however, generates significant effects on the environment, especially associated with greenhouse gas emissions.

Compiling information provided by entities, databases and companies that make up the research sample, we seek to develop life cycle analysis applied to this problem, which contributes to improvement opportunities focused on the significant reduction of greenhouse gas emissions. in activities associated with the construction of civil infrastructure works, considering direct and indirect emissions; identifying the factors and activities that generate the carbon footprint; analyzing carbon footprint measurement evaluation methodologies.

Palabras clave

life cycle analysis, carbon footprint, construction industry.

ESTADO DE LA CUESTIÓN

En el marco de la investigación se realizó la revisión literaria relacionada con el alcance y aplicabilidad del problema y los objetivos propios del presente desarrollo en los años recientes, esto es:

Evaluación del Ciclo de Vida y Emisiones de Carbono: Un enfoque común entre los estudios revisados es la aplicación de la evaluación del ciclo de vida (ACV) para cuantificar la HC de edificios. Lu et al. (2022) destacan la importancia de modelar las emisiones de carbono durante la fase de entrega en proyectos de construcción en China, utilizando las especificaciones PAS 2050 para definir las fuentes de emisión y calcular los coeficientes de emisión de carbono. Del mismo modo, Rinne, Ilgin, y Karjalainen (2022) comparan la HC de edificios de apartamentos híbridos, de concreto y de madera en Finlandia, empleando herramientas de software para evaluar los impactos ambientales a lo largo de un ciclo de vida de 50 años.

Bhorkar et al. (2021) exploran el impacto de los materiales de construcción en la HC, encontrando que la producción de cemento y acero contribuye significativamente a las emisiones. El estudio revela que la ceniza volante y la escoria de alto horno granulada molida tienen menores huellas de carbono en comparación con el cemento Portland. En una línea similar, Burdova et al. (2023) subrayan el papel crucial de la gestión de residuos de demolición y el reciclaje de materiales en la reducción de la HC durante la fase final de vida de un edificio. La reutilización de materiales reciclados se destaca como una estrategia eficaz para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Estrategias de Reducción y Comparación de Tipos de Edificios: La revisión muestra que el uso de materiales de construcción sostenibles, como la madera, puede reducir significativamente la HC. Rinne et al. (2022) encuentran que los edificios de madera tienen una menor HC en comparación con los de concreto, especialmente en las fases de producción y operación. Además, Al-Obaidy, Courard y Attia (2022) introducen un enfoque paramétrico que optimiza los sistemas de construcción para reducir la HC, demostrando que los edificios de madera ofrecen ventajas significativas en términos de impacto ambiental y circularidad. A pesar de los avances, existen desafíos persistentes. Lu et al. (2022) observan que la mayor parte de las emisiones durante la construcción proviene del uso de cemento, indicando la necesidad de alternativas más sostenibles. La investigación de Burdova et al. (2023) enfatiza que la técnica de demolición selectiva y la gestión adecuada de residuos pueden significativamente mejorar el desempeño ambiental al final de la vida útil de un edificio.

Los estudios revisados subrayan que una combinación de estrategias, incluyendo la selección de materiales sostenibles, el diseño paramétrico optimizado y la gestión eficiente de residuos, puede llevar a una reducción considerable de la HC en la construcción. Sin embargo, se requiere más investigación para abordar las brechas existentes en la medición de emisiones y para desarrollar sistemas de clasificación y normas internacionales que puedan ser aplicadas globalmente. Los futuros trabajos deben centrarse en la integración de consideraciones económicas y sociales en la evaluación de la HC y en la implementación de prácticas de construcción más sostenibles

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Abordar la problemática del desarrollo sostenible en donde los procesos industriales generen menos emisiones, los proyectos mitiguen sus impactos ambientales, se implementen nuevas técnicas y se fortalezcan las visiones empresariales en su relación con la preservación del medio ambiente, La industria de construcción de obras civiles del eje cafetero colombiano no es ajena a los impactos que, si bien son monitoreados, pueden no contar con un rubro o un objetivo organizacional trazado desde la evaluación de proyectos y no hay expectativas ni esfuerzos para cambiarlos.

El impacto de estas emisiones contribuye a la degradación del medio ambiente, la contaminación de los recursos y componentes ambientales, la afectación a la salud de los pobladores y demás seres vivos que hacen parte del ecosistema y finalmente también en la reputación y expansión de la industria que obtiene regulaciones gubernamentales y sociales cuando pudiese tener cambios en prácticas mediante nuevas tecnologías y procesos sostenibles. En este sentido, la expansión y el desarrollo de la región enfrentan el reto de encontrar soluciones sostenibles y responsables que permitan mitigar su participación en el cambio climático y promover un desarrollo más sostenible. Según datos del Informe del Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero 1990-2018 el sector de la construcción en Colombia generó 238, 93 Gg CO₂ eq (Gigagramos de bióxido de carbono equivalente) de emisiones, igualmente, según el Inventario Nacional y Departamental de Gases Efecto Invernadero – Colombia, el departamento de Caldas generó en el año 2016 3.424 Gg CO₂ eq, siendo la agricultura la mayor actividad generadora de GEI con un 44,13%; el departamento del Quindío

generó en el año 2016 1.343 Gg CO₂ eq, siendo la agricultura la mayor actividad generadora de GEI con un 42,33%; el departamento de Risaralda generó en el año 2016 1.839 Gg CO₂ eq, siendo sector transporte la mayor actividad generadora de GEI con un 27,38%.

Para contribuir a la transición hacia una economía baja en carbono, se deben identificar precisamente los puntos críticos en sus proyectos de construcción de obras civiles. Los métodos, dimensiones y características del impacto del sector construcción de obras civiles constituyen el trasfondo de un problema que solo podría ser atendido al comprenderlo y establecer un diagnóstico que permita la toma de decisiones basada en evidencia.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diagnosticar la huella de carbono en proyectos de construcción de obras civiles en el eje cafetero a partir de la metodología de análisis de ciclo de vida

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los factores principales, aspectos e impactos ambientales que contribuyen de forma sensible a la generación de la huella de carbono en los proyectos de construcción de obra civil en el eje cafetero.
- Analizar las metodologías de evaluación de huella de carbono y casos de aplicación a partir de referentes internacionales
- Contrastar casos de obras civiles en el eje cafetero a partir del análisis de ciclo de vida para la medición de la huella de carbono.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cómo impactan las construcciones de obra civil en el ambiente a partir de la medición su huella de carbono en el eje cafetero?

HIPÓTESIS

- A través de la implementación del uso de materiales alternativos y la mejora en la eficiencia energética, es factible alcanzar la reducción de emisiones de carbono en la cadena de producción asociada a las obras civiles.
- Con la adopción de prácticas para la optimización en el uso de materiales se podrían alcanzar reducciones teóricas de la huella de carbono por medio de la reutilización de materiales y con la selección de materiales de bajo impacto.
- La eficiencia en los procesos constructivos contribuyen a la reducción de la huella de carbono del ciclo de vida de las construcciones civiles por medio de la gestión de residuos y en la adopción de técnicas de demolición selectiva.

MARCO TEORICO

Eficiencia energética y el desarrollo económico:

La eficiencia energética es un término relevante que plantea la reducción de pérdidas energéticas y la disminución de emisiones en distintas industrias. En Colombia, la industria de construcción es un sector económico relevante para el desarrollo nacional, sin embargo, su crecimiento se puede relacionar con el incremento en el consumo de recursos naturales y sus afectaciones ambientales que bien se pueden analizar, cuantificar y establecer las medidas para mitigar o compensar los impactos ocasionados.

El impacto de las actividades humanas en el entorno:

El desarrollo de toda actividad humana conlleva a la generación de un impacto en su entorno circundante, así como la posibilidad de una consecuencia relacionada a lo largo del tiempo o la distancia. La importancia de la gestión de proyectos de construcción y su impacto ambiental puede llevar al gerente de proyecto a la toma de decisiones relacionadas con la generación de nuevas restricciones en tiempo, costo, calidad y alcance, que según afirman Reza K. “et al” es un proceso ausente en actualidad, exponiendo lo que llaman las complicadas y complejas relaciones inherentes a la gestión de proyectos de construcción sostenible.

Fenómeno del cambio climático:

La alteración de los comportamientos climáticos en las tendencias históricas es muestra de la existencia del fenómeno denominado “Cambio climático” que más allá de hacer parte de los procesos cíclicos, estacionales o particulares del medio ambiente y distintas partes del mundo, se analizan a lo largo del tiempo en tanto marcan un comportamiento gradual consistente y aparentemente irreversible.

Estos comportamientos climáticos evidenciados en la nubosidad, temperatura o precipitación, así como en otros parámetros de estudio, se han relacionado con la emisión de gases de efecto invernadero y su origen en las consecuencias de la actividad humana desde la primera revolución industrial.

Gases efecto invernadero:

El dióxido de carbono (CO₂) es un gas conocido como el principal responsable del calentamiento global, aunque no es el único contribuyente, se afirma que junto con el óxido nitroso (N₂O) y el metano (CH₄) son los más relevantes. El impacto de un gas y su contribución en el calentamiento global se influencia principalmente por su concentración en la atmosfera y por su denominado “Potencial de calentamiento global” el cual es mayor en los gases que tienen mayor capacidad para aumentar la retención de calor en la atmosfera luego de ser liberados.

Análisis de la huella de Carbono:

La huella de carbono es un indicador que representa la cantidad total de emisiones de gases de efecto invernadero, en el ciclo de vida de un producto, proceso o proyecto. De tal modo que permite una idea cuantitativa para establecer un punto sobre el cual comparar alternativas que desde el punto de vista de los proyectos pudiesen representar un aspecto importante para la toma de decisiones, la evaluación de planes de mitigación y la compensación ambiental en la búsqueda de un equilibrio entre el desarrollo económico, la responsabilidad social y la protección del medio ambiente.

Los componentes del impacto ambiental:

El impacto ambiental en la industria de la construcción tiene dos componentes relevantes para el análisis, siendo estos, el consumo o uso de recursos naturales en los procesos

de su cadena de suministro tales y la generación de residuos asociados con el ciclo de vida de sus productos, bienes y servicios afectando tanto los medios agua, suelo y aire como los factores bióticos del ecosistema.

Actualmente la sostenibilidad tiene un rol fundamental para promover el cuidado del planeta al punto de que gobiernos y organizaciones están llamadas a alinearse a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) acordados en la agenda 2020-2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

Actividades o factores generadores de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la región del eje cafetero colombiano:

Las principales actividades generadoras de gases de efecto invernadero (GEI) en las empresas dedicadas a la construcción pueden variar en impacto según su sector económico, pero conservan elementos comunes relacionados con su objeto social que son objeto de una gestión ambiental. Según el nivel de consciencia de la alta gerencia, la inversión en recursos de gestión ambiental y la efectividad de sus procesos se pueden obtener indicadores de gestión favorables para la reputación de la compañía. Las autoridades ambientales, la legislación ambiental y las certificaciones en estándares de sistemas de gestión como la ISO14001 se configuran como medidas creadas por el ser humano para el control y seguimiento de las actividades que interactúan con el medio ambiente y regulan las acciones que pueden considerarse lesivas.

De este modo, en una de las herramientas creadas para la gestión ambiental de las organizaciones de esta índole, como lo es la matriz de identificación de aspectos e impactos ambientales, se establecen actividades o factores generadores de gases de efecto invernadero y se señalan a continuación:

- Consumo de recurso hídrico
- Consumo de energía eléctrica
- Consumo de materias primas e insumos
- Generación de Vertimientos
- Generación de residuos solidos
- Generación de emisiones.

Metodologías de evaluación de la huella de carbono:

Análisis de ciclo de vida – ACV (LCA por sus siglas en inglés Life Cycle Assessment)

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV), es una metodología que permite de manera objetiva, estimar y evaluar los impactos que un producto o servicios pueden tener sobre el medio ambiente durante todas las etapas de su vida.

El principio básico de la herramienta del Análisis del Ciclo de Vida es identificar y describir todas las etapas del ciclo de vida de los productos, desde la extracción de las materias primas, la producción, la distribución y uso del producto final hasta su posible reutilización, reciclaje o desecho.

La vida de un producto comienza en el diseño y desarrollo de éste, y finaliza con las actividades de reutilización y reciclaje, pasando por las siguientes etapas:

- Adquisición de materias primas.
- Proceso y fabricación.
- Distribución y transporte.
- Uso, reutilización y mantenimiento.

- Reciclaje.
- Gestión de los residuos

Actualmente existen metodologías para evaluar la huella de carbono en distintos sectores económicos, organizaciones, productos y servicios que se encuentran protocolizados por organismos internacionales como se ejemplifican en la tabla presentada a continuación:

Tabla 1 Comparativa de metodologías para la evaluación de los gases de efecto invernadero en las organizaciones

	UNE- EN ISO 14.064	GHG Protocol Alcance 1 y2	GHG Protocol Alcance 3	Bilan Carbone	PAS 2060:2010
Organización responsable	Organización Internacional de Normalización	World Business Council for Sustainable Development - World Resources Institute	World Business Council for Sustainable Development - World Resources Institute	ADE ME	British Standard Institute

Utilidad	Inventario de emisiones	Inventario de emisiones	Huella de Carbono	Huella de Carbono	Huella de carbono y compensación de emisiones
Recomendaciones para la reducción	Sí	No	No	Sí	Sí
Recomendaciones para la compensación	No	No	No	No	Sí
Contabilización de las remociones de GEI	Sí	No	No	No	No
Gases considerados	Todos los GEI	6 incluidos en el Protocolo de	6 incluidos en el Protocolo de	6 incluidos en el Protocolo de	6 incluidos en el Protocolo de Kioto (CO,

		Kioto (CO, CH 2 4, N O, HFCs, PFCs, 2 SH)	Kioto (CO, CH 2 4, N O, HFCs, PFCs, 2 SH)	Kioto (CO, CH 2 4, N O, HFCs, PFCs, 2 SH)	CH 2 4, N O, HFCs, PFCs, 2 SH)
Escala	Organización	Organización /Producto/ Servicio	Organización /Producto/ Servicio	Organización /Producto/ Servicio	Organización/Producto
Alcance	Directas+Indirectas+otras indirectas	Directas+Indirectas	Directas+Indirectas+otras indirectas	Directas+Indirectas+otras indirectas	Directas+Indirectas+otras indirectas
Uso internacional	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Certificación/verificación	Sí Permite la verificación de los inventarios y	No El GHG Protocol no es un estándar de verificación	No El GHG Protocol no es un estándar de verificación	No El Bilan Carbone no es un estándar de verificación	Sí Permite la verificación de los inventarios y emisiones

	emisiones reducidas Certificación a nivel de ISO	(ofrece guías para hacerlo verificable) El GHG Protocol no certifica las verificaciones .	(ofrece guías para hacerlo verificable) El GHG Protocol no certifica las verificaciones .	El Bilan Carbone no certifica las verificaciones	reducidas Certifica la neutralidad climática de la empresa
--	---	---	---	---	--

Fuente: Adaptado de: Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda del Gobierno Vasco. (2013). Metodologías para el Cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI): 7ª Actualización. Recuperado de [URL: https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/7metodologias_gei/es_def/adjuntos/7METODOLOGIAS.pdf]

METODOLOGÍA

La Huella de Carbono Corporativa (HCC), es la sumatoria de todas las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), causadas directa o indirectamente en todas las actividades de la empresa. El estudio, la contabilidad, el control y el reporte de los seis Gases de Efecto Invernadero (GEI) previstos en el Protocolo de Kioto como lo son el bióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los hidrofluorocarbonos (HFCs), los perfluorocarbonos (PFCs) y el hexafluoruro de azufre (SF₆).

La Huella de Carbono Corporativa (HCC), se pudo obtener haciendo uso de algunas metodologías, entre las cuales se encuentran como referentes ciertos protocolos o guías nacionales e internacionales, entre las cuales están:

- Protocolo de Gases Efecto Invernadero (GHG PI): GHG Protocol “Green Gas Protocol”, del Instituto de Recursos Mundiales (WRI)/Consejo Empresarial Mundial sobre Desarrollo Sostenible (WBCSD) (WBCSD/WRI, 2001)
- Guía para los inventarios organizacionales de emisiones de GEI (Fundación Natura, 2014;2016)
- Normas NTC ISO 14067:2018 y NTC ISO 14064-1:2020: Especificaciones con orientación a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero.
- Norma PAS 2060:2014

Partiendo de las directrices y estándares internacionales (marcos metodológicos definidos por el GHG Protocol y de acuerdo con los requisitos de la NTC ISO 14064-1), se tiene

el procedimiento para el cálculo de la huella de carbono a nivel sectorial, basados en los siguientes pasos:

Paso 1: Límites organizacionales: El límite organizacional se estableció con el fin de identificar que unidades, empresas, edificaciones, sucursales; entre otros.

Paso 2: Límites operacionales: El límite operacional hace referencia al alcance de las emisiones que fueron incluidas en el inventario de emisiones y la identificación de las fuentes de emisión. El alcance de las emisiones puede ser 1, 2 o 3 según corresponda a emisiones directas por combustión o por proceso, emisiones indirectas por consumo de energía eléctrica del sistema interconectado o emisiones de actividades asociadas a los procesos pero que no están bajo el control de la organización.

Paso 3: Definición de la metodología de cálculo: Generalmente las emisiones se estimaron utilizando los consumos o tasas de producción de la organización, también era posible desarrollar mediciones directas de acuerdo con los protocolos de medición de emisiones aprobados en el país o a nivel internacional.

Paso 4: Recolección de la información: Empleando la información de fuentes y responsables recolectadas en el paso 2, fue necesario contar con la totalidad de la información identificada.

Paso 5: Cálculo de las emisiones GEI: El cálculo de las emisiones a través de la ecuación $\text{Emisión} = \text{Actividad} * \text{Factor de Emisión}$; el factor de emisión fue una herramienta que permitió asociar la emisión a un proceso o a una actividad (El GHG Protocol incluye la tabla de factores de emisión)

Paso 6: Elaboración del reporte de emisiones GEI

Tabla 2 Metodología para el desarrollo de la investigación

Objetivo específico	Actividades	Técnica / Instrumentos
1. Identificar los factores principales, aspectos e impactos ambientales que contribuyen de forma sensible a la generación de la huella de carbono en los proyectos de construcción de obra civil en el eje cafetero	1.1 Establecer la muestra mediante la definición de límites de la organización	1.1.1 Enfoque de control: Se establece la muestra no probabilística a desarrollar. 1.1.2 Enfoque de cuota de participación correspondiente: Se desarrolla la selección de empresas y acercamiento.
	1.2 Desarrollo de la matriz de aspectos e impactos ambientales en un marco de referencia de proyectos tipo del portafolio de la compañía y su ciclo de vida.	1.2.1 Realizar la identificación de aspectos marco del proyecto. 1.2.2 Establecer el nivel de significancia de cada aspecto identificado 1.2.3 Establecer una matriz de gestión de aspectos e impactos en donde se presenten las acciones de seguimiento y control
2. Analizar las metodologías de evaluación de huella de carbono y casos de aplicación a partir de referentes internacionales	2.1 Determinar los parámetros de análisis de los límites operativos	2.1.1 Alcance 1: emisiones directas y tienen que ver con aquellos GEI generados por fuentes ubicadas dentro de las instalaciones de la organización. 2.1.2 Alcance 2: emisiones indirectas debidas al consumo de energía. 2.1.3 Alcance 3: para el presente trabajo no se tendrá en cuenta (no es de obligatorio reporte).
	2.2 Definición de la metodología de cálculo de emisiones	2.2.1 Factores de emisión: nivel de emisión promedio de un gas por una actividad específica, en Colombia los emite la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) del Ministerio de Minas y Energía
	2.3 Recolección de la información	2.3.1 Establecer el año base del inventario de emisiones.

	2.4 Cálculo de las emisiones de GEI – Huella de carbono	2.4.1 Emisión = Actividad * Factor de Emisión
	2.5 Elaboración del reporte de emisiones GEI	2.5.1 Desarrollo de los informes ejecutivos que relacionan (un informe específico por organización): Organización Límite organizacional Límite operacional Año base de inventario Fuentes de Gases Efecto Invernadero Metodología para el cálculo de emisiones Cálculo de emisiones de GEI Porcentaje de representación de la empresa con relación a la muestra total Conclusiones Oportunidades y compromisos de reducción de GEI
	3. Contrastar casos de obras civiles en el eje cafetero a partir del análisis de ciclo de vida para la medición de la huella de carbono	3.1 Establecer parámetros para proceso de análisis de ciclo de vida (ACV) para el estudio de caso 3.1.1 Definiciones y premisas para el análisis de ciclo de vida de obras civiles en el eje cafetero colombiano 3.2 Implementación de la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV) para caso empresa / Sector 3.2.1 Desarrollo de la metodología de análisis de ciclo de vida del producto / servicio con los siguientes inputs: - Matriz de aspectos e impactos - Cálculo de emisiones GEI 3.3 Informe 3.3.1 Desarrollo de los informes ejecutivos que relacionan (un informe específico por organización): Organización Límite organizacional Límite operacional Año base de inventario Análisis de ciclo de vida (LCA) caso empresa Reporte correlación empresa /muestra Conclusiones

Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

1. Identificación de la muestra:

Para el desarrollo de la investigación se estableció una muestra no probabilística mediante la cual por medio del acercamiento a las empresas del sector de la construcción del eje cafetero se realizó la toma de datos de especial relevancia para el análisis y diagnóstico de evaluación de huella de carbono, que pese a las distintas particularidades y restricciones en torno al suministro de información considerada como sensible para algunas de las compañías se logró obtener información clave para el ejercicio.

Tabla 3 *Selección de la muestra*

Compañía	Localización principal
Empresa 1	Armenia – Quindío
Empresa 2	Pereira – Risaralda
Empresa 3	Manizales - Caldas

Fuente: Elaboración propia

La selección realizada obedece tanto a la disponibilidad de información, como a la cobertura de la muestra en los tres departamentos principales que, por sus características demográficas, cercanía geográfica, particularidades geopolíticas, afinidad cultural y su historia

representan una región que particularmente se le conoce como eje cafetero en el marco de la diversidad poblacional de Colombia.

1.1 Se establece la muestra mediante la definición de límites de la organización

Enfoque de control: bajo el enfoque de control una empresa contabiliza el 100% de las emisiones de GEI atribuibles a las operaciones sobre las cuales ejerce el control. No se debe contabilizar emisiones provenientes de operaciones de las cuales la empresa es propietaria de alguna participación, pero no tiene control de las mismas.

- Enfoque de control operativo: la empresa registra todas las emisiones de las operaciones sobre las que ella o una de sus subsidiarias tiene control operativo, es decir, la capacidad de establecer y aplicar políticas que inciden en esa operación
- Enfoque de control financiero: la empresa en este apartado registra las emisiones de las operaciones sobre las cuales tiene control financiero, es decir, puede tomar decisiones que afectan directamente las finanzas y operaciones para obtener beneficios económicos.

Enfoque de participación accionaria: la empresa contabiliza las emisiones de GEI de acuerdo con la proporción que posee en la estructura accionaria. La participación accionaria refleja directamente un interés económico y el alcance que una empresa tiene sobre los riesgos y beneficios que se derivan de una operación.

Tabla 4 *Límites de la organización*

		Límites de la organización		
Compañía	Ubicación	Enfoque de control		Cuota de participación Operacional (% emisiones GEI)
		Operacional (% emisiones GEI)	Financiero (% emisiones GEI)	
Empresa 1	Armenia - Quindío	100%	100%	100%
Empresa 2	Pereira - Risaralda	49%	0%	49%
Empresa 3	Manizales - Caldas	50%	50%	50%

Fuente: Elaboración propia

1.2 Aspectos e impactos ambientales:

1.2.1 Aspectos del proyecto:

Las compañías seleccionadas cuentan con un sistema de gestión ambiental basado en la norma ISO 14001:2015 que establece requisitos para los sistemas de gestión ambiental, entre los cuales se encuentra la identificación de aspectos e impactos ambientales significativos en el marco de las actividades misionales y su ciclo de vida.

En este sentido, Los aspectos más comúnmente identificados se agrupan en un listado relacionado a continuación:

- Generación de residuos aprovechables (papel, cartón, plástico, metal, vidrio)
- Generación de residuos peligrosos (diferentes a aceites usados y hospitalarios)
- Generación de residuos de manejo especial (escombros)
- Generación de residuos de manejo especial (llantas)
- Generación de residuos de manejo especial (colchones)
- Generación de emisiones atmosféricas por fuentes de combustión externa
- Generación de emisiones atmosféricas por plantas eléctricas (fuentes fijas)
- Consumo de combustibles
- Generación de ruido por fuentes de combustión externa
- Generación de ruido por fuentes de combustión interna
- Generación de ruido por alarmas, perifoneos o alto parlantes

- Generación de emisiones atmosféricas por fuentes móviles
- Uso de Publicidad exterior visual
- Consumos de agua
- Implementación de sistemas ahorradores de agua
- Consumo de energía eléctrica
- Implementación de sistemas ahorradores de energía
- Vertimientos domésticos con descargas en el alcantarillado
- Vertimientos domésticos con descargas en fuentes hídricas superficiales o el suelo
- Vertimientos no domésticos con descarga al alcantarillado o el suelo
- Generación de ruido en el área rural por fuentes de combustión externas.
- Generación de residuos peligrosos (Aceites usados)
- Generación de residuos peligrosos (Hospitalarios)
- Consumo de recursos naturales
- Generación de residuos peligrosos (RAEE)

1.2.2 Establecer el nivel de significancia de cada aspecto identificado

Este listado de aspectos se especifica con base en las prácticas, acciones y procesos de la organización y se desarrolla la matriz teniendo en cuenta los criterios semicuantitativos de:

- **Carácter:** Se determina según si el impacto es positivo o es negativo con relación al entorno

Tabla 5 *Carácter de los aspectos ambientales*

Carácter (C)		
Carácter (C)	Definición	Calificación
Positivo	Positivos o Beneficiosos.	1
Negativo	Negativos o perjudiciales	-1

Fuente: Elaboración propia.

- **Extensión:** Determina que tanto espacio físico se puede ver impactado por dicho aspecto

Tabla 6 *Extensión de los aspectos ambientales*

Extensión (E)		
Extensión (E)	Definición	Calificación
Puntual	Muy localizado (no supera la instalación) y/o El efecto o impacto queda confinado dentro del área donde se genera.	1
Local	Afecta una gran parte del medio y/o trasciende los límites del área de influencia directa.	3
Regional	El impacto se manifiesta fuera de los límites del área de influencia directa y genera una afectación a nivel regional.	5

Fuente: Elaboración propia.

- **Frecuencia:** Representa la cantidad de veces que puede llegar a ocurrir impacto

Tabla 7 Frecuencia de los aspectos ambientales

FRECUENCIA (F)		
Criterio	Definición	Calificación
FRECUENCIA (F)	BAJA: El aspecto se presenta o puede presentarse con una periodicidad entre el 1% y el 25% respecto a la operación.	1
	MEDIA: El aspecto se presenta o puede presentarse con una periodicidad entre el 26% y el 75% respecto a la operación.	3
	ALTA: El aspecto se presenta o puede presentarse con una periodicidad entre el 76% y el 100% respecto a la operación.	5

Fuente: Elaboración propia.

- Importancia: Asociada al efecto que puede llegar a producir en el entorno

Tabla 8 Importancia de los aspectos ambientales

IMPORTANCIA DEL IMPACTO (I)		
Criterio	Definición	Calificación
IMPORTANCIA DEL IMPACTO (I)	MENOR IMPORTANCIA: Relevancia baja. El impacto genera cambios mínimos en los recursos naturales, trabajadores y comunidad que se pueden prevenir y controlar fácilmente con el control operacional normal de la actividad.	1
	MODERADA IMPORTANCIA: Relevancia media. El impacto genera cambios en los recursos naturales, trabajadores y comunidad que se pueden manejar con el control operacional en situación normal o anormal de la actividad y aplicación de contingencias.	3
	IMPORTANTE: Relevancia alta. El impacto ocasiona cambios notorios en los recursos naturales, trabajadores y comunidad los cuales deben ser reparados por medidas de emergencia no contempladas en el control operacional.	5

Fuente: Elaboración propia.

- Calificación: Sumatoria de los valores numéricos asociados al impacto negativo

Tabla 9 *Calificación de los impactos negativos*

Calificación total Impactos Negativos			
Calificación total	Significancia	Acciones requeridas	Color de identificación
- 3 a -5	BAJA (B)	Acciones a más de 12 meses	Verde
- 6 a -8	MEDIA (M)	Acciones de 3 a 12 meses	Amarillo
- 9 a -15	ALTA (A)	Acciones antes de 3 meses	Rojo

Fuente: Elaboración propia.

- Significancia: Sumatoria de los valores numéricos asociados al impacto positivo

Tabla 10 *Calificación de los impactos positivos*

Calificación total Impactos Positivos		
Calificación total	Significancia	Color de identificación
3 a 5	BAJA (B)	Rojo
6 a 8	MEDIA (M)	Amarillo
9 a 15	ALTA (A)	Verde

Fuente: Elaboración propia.

Al desarrollar esta metodología en cumplimiento con el objetivo definido, se construye la matriz de aspectos e impactos en donde se relacionan los aspectos más relevantes, el nivel de significancia de su impacto para el entorno y acciones relacionadas con el seguimiento, control o mitigación, dicha matriz se presenta a continuación:

Tabla 11 Matriz de aspectos e impactos ambientales

MATRIZ DE ASPECTOS E IMPACTOS														
Actividad	Grupos de Interés	Temas Interés		Elementos ambientales afectados	Condición	Aspecto		Impacto	de la Significancia del Impacto					Acciones
		Grupos	Empresas			Tipo	Descripción		G	E	E	I	S	
Movilización de equipos, maquinaria y personas	Proveedores y subcontratistas Propiedad Personal Medio ambiente	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación	Aire	Normal	Generación de emisiones atmosféricas por fuentes móviles	Movilización del producto y personas de almacén a obra y de obra a almacén.	Contaminación al recurso aire.	-1	3	3	1	-7	Verificación de documentación y certificados de revisión técnica/mecánica.
				Aire	Normal	Generación de ruido por fuentes de combustión externa	Movilización del producto y personas de almacén a obra y de obra a almacén.	Contaminación atmosférica.	-1	1	5	1	-7	Realización de actividades en los horarios establecidos para no exceder los Decibels permitidos según la Verificación de documentación y certificados de revisión técnica/mecánica, además de inspección visual.
				Suelo, Flora, Fauna	Normal	Otros aspectos	Uso de Diesel para el funcionamiento del vehículo.	Agotamiento de los recursos naturales/ Contaminación del recurso aire.	-1	1	5	1	-7	Capacitación al personal y Activación del plan de contingencia ambiental.
				Suelo y Agua	Emergencia	Generación de residuos peligrosos	Derriame de aceite, combustible y otras sustancias del vehículo.	Afectación al recurso suelo, agua, flora y fauna.	-1	1	3	3	-7	Capacitación al personal y Activación del plan de contingencia ambiental.
				Suelo, Flora y Agua	Normal	Generación de residuos peligrosos	Mantenimiento de los vehículos (Filtros, llantas, repuestos usados, baterías, mangueras, aceite).	Sobrepresión del relleno de seguridad/ Contaminación del recurso suelo.	-1	3	1	3	-7	Verificación de documentación y certificados de revisión técnica/mecánica, además de inspección visual.
				Aire, Suelo y Agua	Emergencia	Otros aspectos	Uso de los extintores que contengan compuestos químicos que puedan afectar el medio ambiente.	Contaminación al recurso aire/ Contaminación al recurso suelo.	-1	1	1	1	-3	Seguimiento y control en el manejo de los equipos.
				Aire, agua, suelo	Emergencia	Generación de emisiones atmosféricas por fuentes de combustión externa (fuentes fijas)	Combustión de materiales combustibles, papel, madera, cartón, vidrio.	Contaminación al recurso aire.	-1	3	1	3	-7	Activación del plan de contingencia ambiental.
				Suelo	Normal	Generación de residuos peligrosos.	Elementos empleados para los mantenimientos (EPP, envases, Brochas, otros).	Contaminación del recurso suelo	-1	3	3	1	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
Mantenimiento de maquinaria, equipos, herramientas, vehículos.	Proveedores y subcontratistas Propiedad Personal Medio ambiente	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación	Suelo	Normal	Otros aspectos.	Mantenimiento a equipos y herramientas de potencia, inspección y de medición.	Contaminación del recurso suelo	-1	3	3	1	-7	Seguimiento y control en el manejo de los equipos.
				Aire, agua, suelo, flora	Emergencia	Generación de residuos peligrosos/ Vertimientos no domésticos con descarga al alcantarillado o al suelo.	Derriame de componentes químicos que pueden ser tóxicos para el medio ambiente.	Afectación al recurso suelo, agua, flora y fauna.	-1	3	1	1	-5	Activación del plan de contingencia ambiental.
				Suelo, Flora y agua	Anormal	Generación de residuos peligrosos.	Generación de Filtros, repuestos usados, baterías, mangueras, aceite).	Sobrepresión del relleno de seguridad/ Contaminación del recurso suelo.	-1	3	1	1	-5	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Suelo, Flora y agua	Normal	Consumo de Energía eléctrica.	Utilización de equipos eléctricos, electrónicos, computadores, impresoras, iluminación.	Contaminación atmosférica por plantas eléctricas.	-1	1	3	5	-9	Capacitación al personal.
				Aire, agua, suelo, flora	Normal	Generación de residuos aprovechables	Uso de papel, plástico y cartón.	Agotamiento de los recursos naturales/ Reducción de afectación al medio ambiente.	-1	1	3	1	-5	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Aire, agua, suelo, flora	Normal	Generación de residuos no aprovechables	Generación de residuos orgánicos.	Sobrepresión del relleno sanitario/ Contaminación del recurso suelo.	-1	1	3	1	-5	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Suelo	Normal	Otros aspectos	Elementos vendidos del botiquín.	Contaminación al recurso suelo	-1	3	3	1	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Aire, Suelo y Agua	Normal	Generación de residuos no aprovechables	Envolturas de alimentos, residuos orgánicos.	Sobrepresión del relleno sanitario/ Contaminación del recurso suelo.	-1	1	3	1	-5	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
Recepción de materiales	Proveedores y subcontratistas Propiedad Personal Medio ambiente	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación	Aire, Suelo y Agua	Emergencia	Otros aspectos	Recarga de los extintores.	Contaminación al recurso aire/ Contaminación al recurso suelo.	-1	1	1	1	-3	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Aire, Suelo y Agua	Emergencia	Otros aspectos	Uso de los extintores que contengan compuestos químicos que puedan afectar el medio ambiente.	Contaminación al recurso aire/ Contaminación al recurso suelo.	-1	1	1	1	-3	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Aire, agua, suelo, flora	Emergencia	Generación de emisiones atmosféricas por fuentes de combustión externa (fuentes fijas)	Combustión de materiales combustibles, papel, madera, cartón, vidrio.	Contaminación al recurso aire.	-1	3	1	3	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Aire, agua y suelo	Emergencia	Generación de residuos peligrosos	Uso del Kit de campo para la atención de emergencias.	Sobrepresión del relleno de seguridad/ Contaminación del recurso suelo.	-1	3	1	3	-7	Activación del plan de contingencia ambiental.
				Aire, agua, suelo, flora	Emergencia	Generación de residuos no aprovechables.	Uso de papel higiénico, toallas higiénicas.	Sobrepresión del relleno sanitario/ Contaminación del recurso suelo.	-1	1	3	3	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Aire, agua y suelo	Emergencia	Vertimientos domésticos con descargas en el alcantarillado.	Agua usada en baños y limpieza de instalaciones.	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	1	5	1	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Flora - Fauna	Normal	Consumo de recursos naturales.	Uso de estacas y estaciones.	Agotamiento de los recursos naturales.	-1	1	3	1	-5	Reincorporación del material orgánico a zonas de bosque.
				Flora - Fauna - Suelo - Agua	Normal	Remoción del suelo	Remoción de la cobertura vegetal y modifican estratos del suelo.	Modificación de las características geomorfológicas del suelo y al entorno.	-1	1	3	3	-7	Reincorporación del material orgánico a zonas de bosque.
Excavaciones mecánicas Manuales y Rellenos	Proveedores y subcontratistas Propiedad Personal Medio ambiente	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación	Aire	Normal	Generación de emisiones atmosféricas por combustión externa.	Uso de maquinaria pesada.	Contaminación al recurso aire.	-1	1	3	3	-7	Verificación de documentación y certificados de revisión técnica/mecánica, además de inspección visual.
				Aire	Normal	Uso de maquinaria pesada.	Uso de maquinaria pesada.	Contaminación al recurso aire.	-1	3	3	1	-7	Verificación de documentación y certificados de revisión técnica/mecánica, además de inspección visual.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos aprovechables.	Uso (papel, cartón, plástico, metal, vidrio, orgánicos).	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	1	3	1	-5	Seguimiento y control preoperacional.
				Agua - Suelo - Flora - Fauna	Normal	Consumo de combustibles.	Uso de Diesel para el funcionamiento de equipos y maquinaria.	Contaminación agua y suelo.	-1	1	5	5	-11	Seguimiento y control preoperacional.
				Agua - Suelo	Normal	Reutilización del material de excavación	Uso (papel, cartón, plástico, metal, vidrio, orgánicos, chatarra).	Contaminación del recurso suelo y agua.	1	1	3	3	-7	Reincorporación del material a las zonas definidas para su aprovechamiento.
				Suelo	Normal	Consumo de recursos naturales.	Consumo de material pétreo, cementos, productos forestales, fibras naturales.	Agotamiento de los recursos naturales.	-1	3	3	3	-11	Reincorporación del material orgánico a zonas de bosque.
				Agua - Suelo	Normal	Consumo de agua.	Consumo de agua en bloque para mezcla y riego.	Agotamiento de los recursos naturales.	-1	3	1	3	-7	Adquisición de productos con empresas certificadas para la actividad.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos aprovechables.	Uso (papel, cartón, plástico, metal, vidrio, orgánicos).	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	3	3	1	-7	Reciclaje y disposición con empresas certificadas para la actividad.
Obras de Geotecnia, empalizadas, Reconformación de taludes, Cimentación, Concreto.	Trabajadores, Accionistas, Clientes, Proveedores y Contratistas, aliados, Comunidades, Entidades Gubernamentales.	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación Complicaciones con la comunidad al momento de realizar la labor.	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación Complicaciones con la comunidad al momento de realizar la labor.	Aire	Normal	Generación de emisiones atmosféricas por fuentes móviles.	Uso de equipos para la mezcla de concretos.	Contaminación al recurso aire.	-1	3	3	1	-7	Minimizar la generación de material particulado mediante polisorbras.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos peligrosos.	Generación de recipientes por uso de acelerantes.	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	3	3	1	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Agua - Suelo - Flora - Fauna	Normal	Consumo de combustibles.	Uso de Diesel para el funcionamiento del vehículo y maquinaria.	Agotamiento de los recursos naturales Contaminación agua y suelo.	-1	1	1	3	-5	Seguimiento y control preoperacional.
				Agua - Suelo - Flora - Fauna	Normal	Generación de emisiones atmosféricas por material particulado.	Generación de material particulado por demoliciones.	Contaminación al recurso aire.	-1	1	3	3	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Aire	Normal	Generación de ruido por fuentes de combustión externa.	Uso de taladro para demoliciones.	Contaminación al recurso aire.	-1	1	3	1	-5	Seguimiento y control preoperacional.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos de manejo especial (escombros).	Actividades de demolición de concretos.	Contaminación del recurso suelo.	-1	1	1	1	-3	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Agua - Suelo - Flora - Fauna	Normal	Consumo de combustibles.	Uso de Diesel para el funcionamiento de equipos.	Agotamiento de los recursos naturales Contaminación agua y suelo.	-1	1	3	3	-7	Seguimiento y control preoperacional.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos aprovechables.	Uso (papel, cartón, plástico, metal, vidrio, orgánicos).	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	1	5	1	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
Demoliciones	Trabajadores, Accionistas, Clientes, Proveedores y Contratistas, aliados, Comunidades, Entidades Gubernamentales.	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación Complicaciones con la comunidad al momento de realizar la labor.	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación Complicaciones con la comunidad al momento de realizar la labor.	Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos peligrosos.	Generación de recipientes y residuos de productos químicos (pinturas, disolventes, elementos contaminados, epp contaminados).	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	3	3	1	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Aire	Normal	Generación de emisiones atmosféricas por fuentes móviles.	Uso de equipos para la mezcla de concretos.	Contaminación al recurso aire.	-1	3	3	1	-7	Minimizar la generación de material particulado mediante polisorbras.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos peligrosos.	Generación de recipientes por uso de acelerantes.	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	3	3	1	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Agua - Suelo - Flora - Fauna	Normal	Consumo de combustibles.	Uso de Diesel para el funcionamiento del vehículo y maquinaria.	Agotamiento de los recursos naturales Contaminación agua y suelo.	-1	1	1	3	-5	Seguimiento y control preoperacional.
				Agua - Suelo - Flora - Fauna	Normal	Generación de emisiones atmosféricas por material particulado.	Generación de material particulado por demoliciones.	Contaminación al recurso aire.	-1	1	3	3	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Aire	Normal	Generación de ruido por fuentes de combustión externa.	Uso de taladro para demoliciones.	Contaminación al recurso aire.	-1	1	3	1	-5	Seguimiento y control preoperacional.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos de manejo especial (escombros).	Actividades de demolición de concretos.	Contaminación del recurso suelo.	-1	1	1	1	-3	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Agua - Suelo - Flora - Fauna	Normal	Consumo de combustibles.	Uso de Diesel para el funcionamiento de equipos.	Agotamiento de los recursos naturales Contaminación agua y suelo.	-1	1	3	3	-7	Seguimiento y control preoperacional.
Pintura	Trabajadores, Accionistas, Clientes, Proveedores y Contratistas, aliados, Comunidades, Entidades Gubernamentales.	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación Complicaciones con la comunidad al momento de realizar la labor.	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación Complicaciones con la comunidad al momento de realizar la labor.	Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos peligrosos.	Generación de recipientes y residuos de productos químicos (pinturas, disolventes, elementos contaminados, epp contaminados).	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	3	3	1	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Aire, agua, suelo, flora	Emergencia	Generación de residuos peligrosos/ Vertimientos no domésticos con descarga al alcantarillado o al suelo.	Derriame de componentes químicos que pueden ser tóxicos para el medio ambiente (Resinas, solventes, pinturas, etc.).	Afectación al recurso suelo, agua, flora y fauna.	-1	3	1	3	-7	Activación del plan de contingencia ambiental.
				Suelo y agua	Normal	Generación de residuos aprovechables	Uso de plástico, papel y cartón.	Agotamiento de los recursos naturales	-1	1	3	3	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Suelo	Normal	Consumo de recursos naturales.	Consumo de material pétreo.	Agotamiento de los recursos naturales	-1	5	1	1	-7	Seguimiento y solicitud de la documentación ambiental correspondiente a los proveedores.
				Agua	Normal	Consumo de Agua.	Consumo de agua en bloque para mezcla, cobres).	Agotamiento de los recursos naturales	-1	5	1	1	-7	Seguimiento y solicitud de la documentación ambiental correspondiente a los proveedores.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos aprovechables.	Uso (papel, cartón, plástico, vidrio, orgánicos, cable cobre).	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	1	3	1	-5	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos peligrosos.	Generación de recipientes por uso de acelerantes.	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	1	3	3	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Aire	Normal	Generación de emisiones atmosféricas por material particulado.	Generación de materiales particulado por perforaciones	Contaminación al recurso aire.	-1	1	5	1	-7	Minimizar la generación de material particulado mediante polisorbras.
Instalación de tubería conduit (MTC, Banco de Ductos, Instalación de tableros, variadores, Arrancadores, motores, ups, rectificadores, cableados, tubería	Trabajadores, Accionistas, Clientes, Proveedores y Contratistas, aliados, Comunidades, Entidades Gubernamentales.	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación Complicaciones con la comunidad al momento de realizar la labor.	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación Complicaciones con la comunidad al momento de realizar la labor.	Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos peligrosos.	Generación de recipientes y residuos de productos químicos (anticorrosivos, pintura).	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	3	1	3	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos aprovechables.	Uso (papel, cartón, plástico, vidrio, orgánicos, cable cobre, rebaba de metal).	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	1	3	1	-5	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Aire	Normal	Generación de emisiones atmosféricas por material particulado.	Generación de materiales particulado por perforaciones	Contaminación al recurso aire.	-1	1	3	3	-7	Minimizar la generación de material particulado mediante polisorbras.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de emisiones atmosféricas por material particulado.	Generación de materiales particulado por perforaciones	Contaminación al recurso aire.	-1	1	3	3	-7	Minimizar la generación de material particulado mediante polisorbras.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos peligrosos (RAEE).	Derriame de aceites y/o sustancias Químicas.	Contaminación del recurso agua y suelo.	-1	1	5	1	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos peligrosos (RAEE).	Desmantelamiento (Arrancadores, UPS, variadores, Rectificadores).	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	3	1	3	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos de manejo especial (escombros).	Desmantelamiento estructuras de empotrado partes eléctricas.	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	1	1	3	-5	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos aprovechables.	Uso (papel, cartón, plástico, vidrio, orgánicos, cable cobre, rebaba de metal, bandejas, cajas).	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	1	3	1	-5	Reciclaje y disposición con empresas certificadas para la actividad.
Desmantelamiento de obras eléctricas	Trabajadores, Accionistas, Clientes, Proveedores y Contratistas, aliados, Comunidades, Entidades Gubernamentales.	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación Complicaciones con la comunidad al momento de realizar la labor.	Multas ambientales Sanciones Ambientales Pérdida de clientes y de credibilidad en la industria Gastos adicionales Retraso de la operación Complicaciones con la comunidad al momento de realizar la labor.	Aire	Normal	Generación de emisiones atmosféricas por material particulado.	Generación de material particulado, por fuentes de combustión externa, gases industriales (aceite, Oxígeno, gases electrolitos).	Contaminación al recurso aire.	-1	3	3	1	-7	Minimizar la generación de material particulado mediante polisorbras.
				Aire	Normal	Generación de emisiones atmosféricas por material particulado.	Generación de material particulado, por fuentes de combustión externa, gases industriales (aceite, Oxígeno, gases electrolitos).	Contaminación al recurso aire.	-1	3	3	1	-7	Minimizar la generación de material particulado mediante polisorbras.
				Aire, agua, suelo, flora	Emergencia	Generación de residuos peligrosos/ Vertimientos no domésticos con descarga al alcantarillado o al suelo.	Derriame de componentes químicos que pueden ser tóxicos para el medio ambiente (combustibles y lubricantes). Proceso de maquinaria y equipos.	Afectación al recurso suelo, agua, flora y fauna.	-1	1	3	3	-7	Activación del plan de contingencia ambiental.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos aprovechables.	Uso (papel, cartón, plástico, metal, vidrio, orgánicos, chatarra).	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	1	3	1	-5	Reciclaje y disposición con empresas certificadas para la actividad.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos peligrosos.	Generación de recipientes y residuos de productos químicos (Collas de soldadura, discos de pulidora, grúas, Aceites usados, filtros).	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	3	1	3	-7	Capacitación al personal y disposición de residuos con empresas certificadas para la actividad.
				Agua - Suelo	Normal	Generación de residuos peligrosos.	Generación de recipientes y residuos de productos químicos (Collas de soldadura, discos de pulidora, grúas, Aceites usados, filtros).	Contaminación del recurso suelo y agua.	-1	3				

2. Análisis de las metodologías de evaluación de huella de carbono y casos de aplicación a partir de referentes internacionales

Para el desarrollo se parte del establecimiento de los parámetros de análisis de los límites operativos como se presenta a continuación:

2.1 Parámetros de análisis de límites operativos:

Implica identificar las emisiones asociadas a las operaciones de la empresa, clasificándolas como emisiones directas o indirectas

Alcance 1: Emisiones directas de GEI

Ocurren de fuentes que son propiedad o están controladas por la empresa.

Alcance 2: Emisiones indirectas de GEI asociadas a la electricidad

Incluye las emisiones de la generación de electricidad adquirida y consumida por la empresa.

Tabla 12 Emisiones por *alcance*

Tipo de empresa	Alcance 1	Alcance 2
Constructores y desarrolladores	Operación de la empresa	Operación de la empresa
	- Emisiones fugitivas por refrigerantes, extintores - Combustión por vehículos propios	Consumo de energía: Electricidad, frío, calor, adquiridos (oficinas, salas de ventas, etc.)
	Procesos de obra	Procesos de obra
	- Combustión por vehículos y maquinaria propios - Emisiones fugitivas por refrigerantes, extintores - Construcción de estructuras en concreto reforzado	Consumo de energía: Electricidad, frío, calor, adquiridos (procesos de obra)

Fuente: Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. Guía de descarbonización para las empresas del sector de la construcción. (2023) https://www.cccs.org.co/wp/wp-content/uploads/2023/12/Guía_Descarbonizacion.pdf.

Tabla 13 Fuentes de gases

Fuentes	Ejemplos	Principales gases	
Fuentes de combustión fijas	Quema de combustibles fósiles en hornos, calderas, motores (carbón, gas natural, GLP)	CO ₂	N ₂ O CH ₄
Fuentes de combustión móviles	Quema de combustibles fósiles en vehículos como camiones, maquinaria	CO ₂	N ₂ O CH ₄
Emisiones de procesos productivos	Producción de hierro, acero y aluminio Transferencia compuestos carbonatados (vidrio, cemento, cal)	CO ₂	
Emisiones fugitivas	Transporte gas natural Refrigerantes Aislantes Gases para el control de incendios Uso de solventes	CH ₄ SF ₆ HFCs	
Electricidad, vapor, frío/calor	Energía, vapor, frío/calor adquiridos	CO ₂	N ₂ O CH ₄

Gestión de residuos	Descomposición de materia orgánica en rellenos sanitarios Incineración de residuos	CH4 CO2	
Otras: cambios en el uso del suelo	Deforestación	CO2	
Otras: materiales	Carbono embebido en materiales	CO2	

Fuente: Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. Guía de descarbonización para las empresas del sector de la construcción. (2023)

https://www.cccs.org.co/wp/wp-content/uploads/2023/12/Guía_Descarbonizacion.pdf.

Tabla 14 Límites operativos para emisiones directas – Alcance 1

		LÍMITES OPERATIVOS			
		EMISIONES DIRECTAS (ALCANCE 1)			
Compañía	Ubicación	GEIs : CO2 - CH4 - N2O - SF6 - PFCs - HFCs			
		ID	Proceso/Actividad	GEIs generados	Instalación
Empresa 1	Armenia - Quindío	D.1.1	Combustión ACPM	CO2, CH4, N2O	Obra
		D.1.2	Combustión gasolina	CO2, CH4, N2O	Obra
		D.1.3	Construcción de infraestructura	CO2, CH4, N2O	Obra
Empresa 2	Pereira - Risaralda	D.2.1	Combustión ACPM	CO2, CH4, N2O	Obra
		D.2.2	Combustión gasolina	CO2, CH4, N2O	Obra
		D.2.3	Construcción de infraestructura	CO2, CH4, N2O	Obra
Empresa 3	Manizales - Caldas	D.3.1	Combustión ACPM	CO2, CH4, N2O	Obra

		D.3.2	Combustión gasolina	CO2, CH4, N2O	Obra
		D.3.3	Construcción de infraestructura	CO2, CH4, N2O	Obra

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15 Límites operativos para emisiones indirectas – Alcance 2

LÍMITES OPERATIVOS					
EMISIONES INDIRECTAS (ALCANCE 2)					
GEIs : CO2 - CH4 - N2O - SF6 - PFCs - HFCs					
Compañía	Ubicación	ID	Proceso/Actividad	GEIs generados	Instalación
Empresa 1	Armenia - Quindío	I.1.1	Consumo de electricidad	CO2, CH4, N2O	Obra
Empresa 2	Pereira - Risaralda	I.2.1	Consumo de electricidad	CO2, CH4, N2O	Obra
Empresa 3	Manizales - Caldas	I.3.1	Consumo de electricidad	CO2, CH4, N2O	Obra

Fuente: Elaboración propia.

2.2 Definición de la metodología de cálculo de emisiones

2.2.1 Factor de emisión

Para el cálculo o cuantificación de emisiones es necesario emplear los factores de emisión correspondientes a las diferentes fuentes de emisión. El factor de emisión es el coeficiente que relaciona la cantidad de un contaminante que se emite por una unidad de consumo de un insumo, por unidad de actividad o producto. Los factores de emisión deben provenir de normas o estándares nacionales o internacionales.

$$\text{Emisiones GEI} = \text{Datos de actividades} * \text{Factor de emisión}$$

Basados en la Guía de descarbonización para las empresas del sector de la construcción, elaborada por Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, en donde se recomienda utilizar estándares con priorización de la información nacional, para los factores de emisión, así:

Estándares Energéticos

- UPME – FECOC.
- IDEAM – Inventario nacional
- IPCC
 - Emisiones factor database
 - 2006 IPCC Guideline for National Greenhouse Gas Inventories

Estándares Actividad/Producto

- GHG Protocol – Herramientas sectoriales
- EPA – Supply Chain GHG EF for US industries and commodities

- EPA – AP42
- Agencia Ambiental Europea – base de datos

Tabla 16 Factores de emisión (emisiones directas) combustión

Compañía	Ubicación	ID	Proceso/Actividad	Factor de Conversión (FE: KgCO₂ e/gal)
Empresa 1	Armenia	- D.1.1	Combustión ACPM	10,18
	Quindío	D.1.2	Combustión gasolina	7,62
Empresa 2	Pereira	- D.2.1	Combustión ACPM	10,18
	Risaralda	D.2.2	Combustión gasolina	7,62
Empresa 3	Manizales	- D.3.1	Combustión ACPM	10,18
	Caldas	D.3.2	Combustión gasolina	7,62

Fuente: UPME – FECOC (Unidad de Planeación Minero Energética. 2016)

Tabla 17 Factores de emisión (emisiones directas) construcción

Compañía	Ubicación	ID	Proceso/Actividad	Factor de Conversión (FE: KgCO₂ e/m²)
Empresa 1	Armenia - Quindío	D.1.3	Construcción de infraestructura	800
Empresa 2	Pereira - Risaralda	D.2.3	Construcción de infraestructura	
Empresa 3	Manizales - Caldas	D.3.3	Construcción de infraestructura	

Fuente: World Green Building Council

Tabla 18 Factores de emisión (emisiones indirectas)

Compañía	Ubicación	ID	Proceso/Actividad	Factor de emisión (tonCO2 e/MWh)
Empresa 1	Armenia - Quindío	I.1.1	Consumo de electricidad	0,112
Empresa 2	Pereira - Risaralda	I.2.1	Consumo de electricidad	0,112
Empresa 3	Manizales - Caldas	I. 3.1	Consumo de electricidad	0,112

Fuente: Resolución No 000705 de 30-08-2024, Unidad de Planeación Minero

Energética UPME

A la fecha de la elaboración del presente documento octubre de 2024, no se había publicado por parte de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), el factor de emisión de CO2 para el Sistema Interconectado Nacional (SIN) para el año 2023, por lo cual se trabaja con el factor de emisión para inventarios de GEI del año 2022.

2.3 Recolección de la información

2.3.1 Establecer el año base del inventario de emisiones

Tabla 19 *Año base inventario de emisiones*

Compañía	Ubicación	Año base
Empresa 1	Armenia - Quindío	2023
Empresa 2	Pereira - Risaralda	2023
Empresa 3	Manizales - Caldas	2023

Fuente: Elaboración propia

2.4 Cálculo de las emisiones GEI – Huella de carbono

2.4.1 Emisión = Actividad * Factor de emisión

Tabla 20 *Cálculo huella de carbono emisiones directas*

Compañía	Ubicación	IID	Proceso/Actividad	Consumo en galones (año 2023)	Factor de emisión (FE: KgCO ₂ e/gal)	Metros cuadrados construidos (año 2023)	Factor de emisión (FE: KgCO ₂ e/m ²)	Huella de carbono (tCO ₂ e) (2023)	Sumatoria huella de carbono emisiones directas
Empresa 1	Armenia - Quindío	D.1.1	Combustión ACPM	1.800,00	10,18			18,32	887,16
		D.1.2	Combustión gasolina	110,00	7,62			0,84	
		D.1.3	Construcción de infraestructura			1.085,00	800	868,00	
Empresa 2	Pereira - Risaralda	D.2.1	Combustión ACPM	4.230,00	10,18			43,06	629,20
		D.2.2	Combustión gasolina	280,00	7,62			2,13	
		D.2.3	Construcción de infraestructura			730,00	800	584,00	
Empresa 3	Manizales - Caldas	D.3.1	Combustión ACPM	3.600,00	10,18			36,65	1.806,48

		D.3.2	Combustión gasolina	240,00	7,62			1,83	
		D.3.3	Construcción de infraestructura			2.210,00	800	1.768,00	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21 Cálculo huella de carbono emisiones *indirectas*

Compañía	Ubicación	ID	Proceso/Actividad	Consumo en MWh (año 2023)	Factor de emisión (tonCO ₂ e/MWh)	Huella de carbono emisiones indirectas (tCO ₂ e) (2023)
Empresa 1	Armenia - Quindío	I.1.1	Consumo de electricidad	12,25	0,112	1,37
Empresa 2	Pereira - Risaralda	I.2.1	Consumo de electricidad	3,74	0,112	0,42
Empresa 3	Manizales - Caldas	I.3.1	Consumo de electricidad	28,83	0,112	3,23

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22 Cálculo huella de carbono *total*

Compañía	Ubicación	Huella de carbono emisiones directas (tCO ₂ e)	Huella de carbono emisiones indirectas (tCO ₂ e)	Subtotal Huella de carbono (tCO ₂ e)	Límites organización	Total Huella de carbono (tCO ₂ e)
Empresa 1	Armenia - Quindío	887,16	1,37	888,53	100%	888,53
Empresa 2	Pereira - Risaralda	629,20	0,42	629,62	49%	308,51
Empresa 3	Manizales - Caldas	1.806,48	3,23	1809,71	50%	904,85

Fuente: Elaboración propia

2.5 Elaboración del reporte de emisiones GEI

Tabla 23 Informe GEI-001

Informe No.	001				Límites Operativos				Límites Operativos			
Organización	Ubicación	Límites de la organización			Emisiones Directas (Alcance 1)				Emisiones Indirectas (Alcance 2)			
		Enfoque de control		Cuota de participación Operacional (% emisiones GEI)	GEIs : CO2 - CH4 - N2O - SF6 - PFCs - HFCs				GEIs : CO2 - CH4 - N2O - SF6 - PFCs - HFCs			
		Operacional (% emisiones GEI)	Financiero (% emisiones GEI)		ID	Proceso /Actividad	GEIs generados	Instalación	ID	Proceso/Actividad	GEIs generados	Instalación
Empresa 1	Armenia - Quindío	100%	100%	100%	D.1.1	Combustión ACPM	CO2, CH4, N2O	Obra	I.1.1	Consumo de electricidad	CO2, CH4, N2O	Obra
					D.1.2	Combustión gasolina	CO2, CH4, N2O	Obra				
					D.1.3	Construcción de infraestructura	CO2, CH4, N2O	Obra				
		ID	Proceso/Actividad	Consumo en galones (año 2023)	Factor de emisión (FE: KgCO2 e/gal)		Metros cuadrados construidos (año 2023)	Factor de emisión (FE: KgCO2 e/m2)		Huella de carbono (tCO2e) (2023)	Sumatoria huella de carbono emisiones directas	
		D.1.1	Combustión ACPM	1.800,00	10,18					18,32	887,16	
		D.1.2	Combustión gasolina	110,00	7,62					0,84		
		D.1.3	Construcción estructuras concreto reforzado				1.085,00	800		868,00		
		ID	Proceso/Actividad	Consumo en MWh (año 2023)	Factor de emisión (tonCO2 e/MWh)		Huella de carbono (tCO2e) (2023)	Subtotal Huella de carbono (tCO2e)		Límites organización	Total Huella de carbono (tCO2e)	% dentro de la muestra
		I.1.1	Consumo de electricidad	12,25	0,112		1,37	888,53		100%	888,53	42,27

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24 Informe GEI-002

Informe No.	002				Límites Operativos				Límites Operativos				
Organización	Ubicación	Límites de la organización			Emisiones Directas (Alcance 1)				Emisiones Indirectas (Alcance 2)				
		Enfoque de control		Cuota de participación Operacional (% emisiones GEI)	GEIs : CO2 - CH4 - N2O - SF6 - PFCs - HFCs			GEIs : CO2 - CH4 - N2O - SF6 - PFCs - HFCs					
		Operacional (% emisiones GEI)	Financiero (% emisiones GEI)		ID	Proceso /Actividad	GEIs generados	Instalación	ID	Proceso/Actividad	GEIs generados	Instalación	
Empresa 2	Pereira - Risaralda	49%	0%	49%	D.2.1	Combustión ACPM	CO2, CH4, N2O	Obra	I.2.1	Consumo de electricidad	CO2, CH4, N2O	Obra	
					D.2.2	Combustión gasolina	CO2, CH4, N2O	Obra					
					D.2.3	Construcción de infraestructura	CO2, CH4, N2O	Obra					
		ID	Proceso/Actividad	Consumo en galones (año 2023)	Factor de emisión (FE: KgCO2 e/gal)	Metros cuadrados construidos (año 2023)		Factor de emisión (FE: KgCO2 e/m2)		Huella de carbono (tCO2e) (2023)		Sumatoria huella de carbono emisiones directas	
		D.2.1	Combustión ACPM	4.230,00	10,18					43,06		629,20	
		D.2.2	Combustión gasolina	280,00	7,62					2,13			
		D.2.3	Construcción estructuras concreto reforzado			730,00		800		584,00			
		ID	Proceso/Actividad	Consumo en MWh (año 2023)	Factor de emisión (tonCO2 e/MWh)	Huella de carbono (tCO2e) (2023)	Subtotal Huella de carbono (tCO2e)		Límites organización	Total Huella de carbono (tCO2e)		% dentro de la muestra	
		I.1.1	Consumo de electricidad	3,74	0,112	0,42	629,62		49%	308,51		14,68	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25 Informe GEI-003

Informe No.	003				Límites Operativos				Límites Operativos			
Organización	Ubicación	Límites de la organización			Emisiones Directas (Alcance 1)				Emisiones Indirectas (Alcance 2)			
		Enfoque de control		Cuota de participación Operacional (% emisiones GEI)	GEIs : CO2 - CH4 - N2O - SF6 - PFCs - HFCs			GEIs : CO2 - CH4 - N2O - SF6 - PFCs - HFCs				
		Operacional (% emisiones GEI)	Financiero (% emisiones GEI)		ID	Proceso /Actividad	GEIs generados	Instalación	ID	Proceso/Actividad	GEIs generados	Instalación
Empresa 3	Manizales - Caldas	50%	50%	50%	D.3.1	Combustión ACPM	CO2, CH4, N2O	Obra	I.3.1	Consumo de electricidad	CO2, CH4, N2O	Obra
					D.3.2	Combustión gasolina	CO2, CH4, N2O	Obra				
					D.3.3	Construcción de infraestructura	CO2, CH4, N2O	Obra				
		ID	Proceso/Actividad	Consumo en galones (año 2023)	Factor de emisión (FE: KgCO2 e/gal)	Metros cuadrados construidos (año 2023)		Factor de emisión (FE: KgCO2 e/m2)	Huella de carbono (tCO2e) (2023)		Sumatoria huella de emisiones directas	
		D.3.1	Combustión ACPM	3.600,00	10,18				36,65		1.806,48	
		D.3.2	Combustión gasolina	240,00	7,62				1,83			
		D.3.3	Construcción estructuras concreto reforzado			2.210,00		800	1.768,00			
		ID	Proceso/Actividad	Consumo en MWh (año 2023)	Factor de emisión (tonCO2 e/MWh)	Huella de carbono (tCO2e) (2023)	Subtotal Huella de carbono (tCO2e)	Límites organización	Total Huella de carbono (tCO2e)	% dentro de la muestra		
		I.3.1	Consumo de electricidad	28,83	0,112	3,23	1809,71	50%	904.85	43.05		

Fuente: Elaboración propia

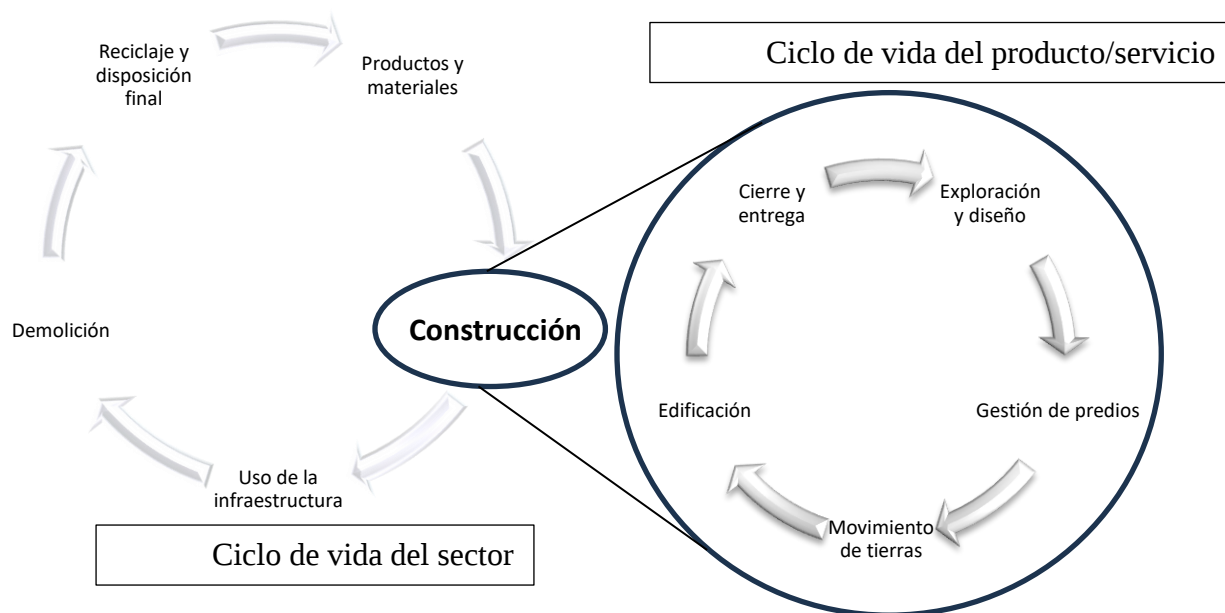
3. Contraste de casos a partir del análisis de ciclo de vida

3.1 Parámetros para proceso de ACV

3.1.1 Definiciones y premisas

Para el desarrollo del análisis de ciclo de vida del producto / servicio se tuvieron en cuenta los procesos mediante los cuales se encuentran inmersas las compañías seleccionadas, estas se encuentran enmarcadas en una de las etapas del ciclo de vida del sector de la construcción que se ilustra a continuación:

Ilustración 1 *Ciclo de vida sector construcción / ciclo de vida del producto – servicio a analizar*



Fuente: Elaboración propia

Como premisa relevante para el desarrollo específico aplicable a las empresas analizadas se debe tener en cuenta que algunos de los procesos del ciclo de vida del sector se encuentran fuera del alcance de la compañía, trasladando la emisión de GEIs a los procesos externos y convirtiendo el ejercicio de análisis en un ciclo de vida del producto/servicio que hace parte objeto social organizativo.

Tabla 26 *Procesos del ciclo de vida del sector construcción*

Etapa	Denominación	Proceso	Alcance
Productos y materiales	A1	Materias primas	Externo
Productos y materiales	A2	Transporte a plantas	Externo
Productos y materiales	A3	Manufactura	Externo
Fase de construcción	A4	Transporte	Externo
Fase de construcción	A5	Construcción / instalación	Propio
Etapa de uso	B1	USO*	Externo
Etapa de uso	B2	Mantenimiento*	Externo
Etapa de uso	B3	Reparación*	Externo
Etapa de uso	B4	Reemplazo*	Externo
Etapa de uso	B5	Remodelación*	Externo
Fin de vida	C1	Demolición	Externo
Fin de vida	C2	Transporte	Externo
Fin de vida	C3	Tratamiento de residuos	Externo
Fin de vida	C4	Disposición final	Externo
Más allá del ciclo de vida	D	Reutilización, recuperación, reciclaje	Externo
* Procesos en los cuales las empresas analizadas no tienen participación directa, sin embargo, pese a que pueden llegar a tener influencia respecto a los diseños y materiales que implementen en el marco de la fase de construcción			

Fuente: Elaboración propia

Así las cosas, para el contraste de la información y análisis correspondiente se establece el alcance de ciclo de vida del producto/servicio propio del objeto social de las compañías analizadas:

Tabla 27 *Procesos del ciclo de vida a analizar*

Etapa	Denominación	Proceso	Alcance
Fase de construcción	A5-1	Exploración y diseño	Propio
Fase de construcción	A5-2	Gestión de predios	Propio
Fase de construcción	A5-3	Movimiento de tierras	Propio
Fase de construcción	A5-4	Edificación	Propio
Fase de construcción	A5-5	Cierre y entrega	Propio

Fuente: Elaboración propia

3.2 Implementación metodología ACV

Como datos de entrada se establecen los aspectos más relevantes destacados en la matriz de aspectos e impactos que se presentan a continuación:

Tabla 28 *Aspectos e impactos de mayor relevancia*

Aspecto		Impacto	Valoración de la Significancia del Impacto Ambiental					
Tipo	Descripción		Carácter	Extensión	Frecuencia	Importancia	Calificación	Significancia
Consumo de Energía eléctrica	Utilización de equipos eléctricos, electrónicos computadores, impresoras, iluminación	Contaminación electromagnética/ Generación de emisiones atmosféricas por plantas eléctricas (fuentes fijas)	-1	1	3	5	-9	-9
Consumo de combustibles.	Uso de Diesel para el funcionamiento de equipos y maquinaria.	Agotamiento de los recursos naturales Contaminación agua y suelo.	-1	1	5	5	-11	-11

Consumo de recursos naturales	Consumo de material pétreo, cementos, productos forestales, fibras naturales.	Agotamiento de los recursos naturales	-1	3	5	3	-11	-11
-------------------------------	---	---------------------------------------	----	---	---	---	-----	-----

Fuente: Elaboración propia

Los aspectos más relevantes relacionan actividades asociadas al consumo de combustibles, energía y materiales de construcción, lo cual coincide con el análisis realizado desde la evaluación de la huella de carbono para el caso de estudio.

Si bien las compañías hacen parte de la misma región y se encuentran enmarcadas en las mismas actividades comerciales, es relevante destacar que durante el periodo evaluado en el marco de la información compilada no se encontraban ejecutando exactamente las mismas actividades, agregando una variación relevante para el estudio del ciclo de vida del producto / servicio.

Tabla 29 *Cálculo huella de carbono total, etapa proceso ciclo de vida*

Compañía	Total, Huella de carbono (tCO ₂ e)	Etapas
Empresa 1	888,53	A5-4 Edificación, A5-5 cierre
Empresa 2	308,51	A5-3 Movimiento de tierras
Empresa 3	904,85	A5-4 Edificación

Fuente: Elaboración propia

Con esta información, se desarrolla la metodología de análisis de ciclo de vida aplicado al objeto de estudio de la presente investigación:

Definición de alcance:

Medición de huella de carbono de compañías dedicadas a la construcción de obras civiles

Producto o servicio evaluado: Procesos de construcción de obras civiles

Limites: Emisiones directas e indirectas relevantes relacionadas con el objeto social de la compañía.

Impacto ambiental evaluado: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), expresados en equivalentes de CO₂ (CO₂e).

PROCESO A5-1: Exploración y diseño

Este proceso comprende las actividades previas a la construcción, como la exploración del terreno, estudios de viabilidad, diseño y desarrollo de ingeniería de la obra

POSIBLES EMISIONES:

Emisiones directas: Uso de energía en oficina para el desarrollo de los diseños, desplazamiento para actividades relacionadas con estudios.

Emisiones indirectas: Emisiones por desplazamiento, inspección del terreno, actividades topográficas.

ACCIONES PROPUESTAS:

Uso de tecnologías que permitan optimizar los procesos de diseño, técnicas ágiles y esquemas de comunicación eficientes que minimicen la necesidad de horas hombre en desarrollo de actividades que puedan implicar reprocesos, uso de energías renovables.

Minimización de viajes, uso de vehículos eléctricos

APLICABLE A:

Ninguna de las empresas de la muestra se encontró en este proceso durante el año base de estudio.

PROCESO A5-2: Gestión de predios

Este proceso involucra la adquisición, gestión de permisos, comunidades, grupos de interés y terrenos en donde se desarrollará la obra

POSIBLES EMISIONES:

Emisiones directas: Uso de energía en espacios de reunión o gestiones administrativas,.

Emisiones indirectas: Emisiones por desplazamiento, inspección del terreno, actividades topográficas.

ACCIONES PROPUESTAS:

Selección estratégica de terrenos en zonas que cuenten con los permisos, zonas de expansión urbana, sin restricciones ambientales o sociales.

Selección de predios en donde se pueda viabilizar la conservación de ecosistemas en áreas que se mantendrán sin obra

APLICABLE A:

Ninguna de las empresas de la muestra se encontró en este proceso durante el año base de estudio.

PROCESO A5-3: Movimiento de tierras

Proceso en el cual se realizan las excavaciones, demoliciones y adecuaciones del terreno para la construcción

POSIBLES EMISIONES:

Emisiones directas: Uso maquinaria pesada que consume combustible fósil.

Emisiones indirectas: Emisiones por mantenimiento y reparaciones de maquinaria y vehículos

ACCIONES PROPUESTAS:

Uso planificado de maquinaria que permita minimizar el consumo de combustibles.

Minimización de viajes, uso de vehículos eléctricos

APLICABLE A:

La empresa 2 se encontraba en el desarrollo de este proceso en el periodo evaluado.

PROCESO A5-4: Edificación

Proceso principal en el cual se desarrolla la construcción de la infraestructura

POSIBLES EMISIONES:

Emisiones directas: Consumo de combustibles, construcción de infraestructura.

Emisiones indirectas: Consumo de energía eléctrica en oficinas

ACCIONES PROPUESTAS:

Utilizar materiales con baja huella de carbono, implementar materiales de segundo uso.

Optimizar los procesos de construcción para reducir el uso de energía y materiales

Aplicar técnicas de construcción sostenible

APLICABLE A:

La empresa 1 y la empresa 3 se encontraban en ejecución de este proceso en el periodo base del análisis desarrollado.

PROCESO A5-5: Cierre y entrega

Es el proceso final, en donde se completa la construcción, se realizan pruebas y se entrega el proyecto al cliente final

POSIBLES EMISIONES:

Emisiones directas: Actividades de acabados de construcción y consumo de electricidad en oficinas

Emisiones indirectas: Procesos asociados a logística y desmovilización

ACCIONES PROPUESTAS:

Profundizar la planeación minimizando los sobrantes de materiales en el completamiento de la obra, fomento de reciclaje de materiales sobrantes.

Minimización de viajes, uso de vehículos eléctricos

APLICABLE A:

La empresa 1 se encontraba en el desarrollo de este proceso en el periodo base de análisis.

3.3 Informe

El análisis aplicado mostró resultados altamente positivos en términos de identificación de escenarios para la reducción de la huella de carbono.

Tabla 30 *Informe contraste LCA*

Organización	Empresa 1
Limite organizacional	100%
Limite operacional	100%
Año base de inventario	2023
Aspectos relevantes LCA	Proceso activo: Edificación, cierre y entrega. Consumo de energía y materiales, se recomienda el uso de materiales de baja huella de carbono y optimizar los procesos constructivos
Correlación Empresa / Muestra	42,27%
Conclusiones	Cuenta con un impacto significativo en la muestra, es esencial adoptar materiales sostenibles, optimizar los procesos de planeación y ejecución de la construcción.
Organización	Empresa 2
Limite organizacional	49%
Limite operacional	49%
Año base de inventario	2023
Aspectos relevantes LCA	Proceso activo: Movimiento de tierras. Consumo de combustibles, se recomienda optimización en la planificación del uso de maquinaria.
Correlación Empresa / Muestra	14.68%
Conclusiones	Destaca correlación del movimiento de tierras con respecto al proceso de edificación, siendo el primero de menor impacto entre los procesos de mayor emisión del ciclo de vida.
Organización	Empresa 3
Limite organizacional	50%
Limite operacional	50%
Año base de inventario	2023
Aspectos relevantes LCA	Proceso activo: Edificación.

	Consumo de energía y materiales, se recomienda el uso de materiales de baja huella de carbono y optimizar los procesos constructivos
Correlación Empresa / Muestra	43.05%
Conclusiones	Cuenta con la mayor participación en la muestra, destaca la relevancia del proceso de edificación y la necesidad de optimizar procesos y evaluar el uso de recursos de menor impacto

Fuente: elaboración propia

DISCUSIÓN

El proceso de construcción y más específicamente el uso de materiales requiere alternativas tales como la implementación del uso de materiales reciclados dentro de las mezclas de concreto tales como el vidrio reciclado, cenizas volantes y escorias de alto horno pueden reemplazar parcialmente los agregados tradicionales sin comprometer las propiedades mecánicas del concreto, con lo cual, no solo disminuye la extracción de materias primas, sino que también da una segunda vida a residuos industriales que de otro modo terminarían en vertederos, contribuyendo así a la economía circular.

Reducción Significativa de Emisiones de Carbono

El análisis aplicado mostró resultados altamente positivos en términos de identificación de escenarios para la reducción de la huella de carbono. La implementación del método de cálculo y seguimiento detallado de las emisiones permitió identificar áreas críticas para la optimización. En particular, las emisiones asociadas a la producción de cemento y el consumo energético determinaron una opción para contar con cifras significativamente reducidas mediante el uso de materiales alternativos y la mejora en la eficiencia energética. El uso de cenizas volantes y escoria en lugar de cemento Portland, por ejemplo, sugiere en una disminución promedio de las emisiones de CO₂, demostrando que el cambio hacia materiales con menor impacto ambiental puede contribuir significativamente a la reducción de la huella de carbono.

Optimización en el Uso de Materiales

Los resultados evidencian una mejora relevante en la posible optimización del uso de materiales. Se identifica que las empresas que lleguen a adoptar prácticas como la reutilización de materiales y la selección de materias de bajo impacto lograrían una reducción teórica de hasta un 30% en comparación con los procesos que utilizan materiales tradicionales. De esta forma se puede resaltar que la elección y gestión de materiales tiene un papel fundamental en la reducción de emisiones demostrando que las practicas sostenibles en esta materia pueden ser foco de esfuerzo para las compañías en su camino a la sostenibilidad.

Eficiencia en los Procesos Constructivos

Un análisis detallado de los procesos constructivos mostró que la eficiencia en la gestión de residuos y la adopción de técnicas avanzadas de construcción contribuyeron a una reducción de las emisiones. La implementación de técnicas de demolición selectiva y la mejora en la gestión de residuos resultaron en una reducción adicional en las emisiones asociadas a la fase de construcción y demolición. Estos hallazgos confirman que la optimización de procesos, junto con la correcta gestión de residuos, es fundamental para reducir la huella de carbono del ciclo de vida de las construcciones civiles.

CONCLUSIONES

La investigación ha revelado que la implementación de metodologías sistemáticas para la evaluación y gestión de la huella de carbono en la construcción puede tener un impacto significativo en la sostenibilidad del sector. Los resultados obtenidos, que sugieren la reducción media de las emisiones de carbono mediante la optimización de materiales y procesos, formulando que es posible mejorar sustancialmente el desempeño ambiental de los proyectos de construcción al adoptar prácticas más sostenibles. Este hallazgo destaca la importancia de la investigación y la contribución que hace a la innovación en materia de construcción sostenible, al aportar datos concretos sobre la relevancia de la huella de carbono que aporta el proceso de edificación de infraestructura.

Los resultados evidencian la variabilidad de las emisiones de huella de carbono con relación al proceso específico del ciclo de vida del producto / servicio en el cual se encuentre la compañía, destacando las emisiones generadas por el proceso de edificación y el consumo de combustibles como los mayores emisores de CO₂e.

Los resultados indican que el análisis de ciclo de vida de producto / servicio permite aportar a la identificación de áreas de mejora y la propuesta de soluciones que permitan reducir la huella de carbono de los procesos constructivos y su consecuente reducción en emisiones, así como una mejor gestión del tiempo y recursos contribuyendo así a la eficacia total del proyecto.

Durante el desarrollo de la investigación, se identificaron escenarios que, desde una perspectiva epistemológica, se evidenció una creciente conciencia sobre la necesidad de integrar elementos del cuidado al medio ambiente en el diseño y construcción de obras civiles, encaminados a una visión general y completa sobre la sostenibilidad. Metodológicamente, se encontraron desafíos en la estandarización y precisión de los modelos de cálculo y en los procesos que viabilizarían la implementación de las estrategias propuestas incluyendo la necesidad de adaptar las herramientas de evaluación a las condiciones particulares de los proyectos en sus distintas dimensiones o sus particularidades en costo, tiempo y alcance, así como la calidad de los datos disponibles.

RECOMENDACIONES

Para estudios futuros, se recomienda explorar la aplicación del análisis de ciclo de vida en un rango más amplio de contextos relacionados con los proyectos de construcción. La investigación puede reflejar más resultados de valor al analizar como las prácticas ágiles que pueden integrarse en la generación de estrategias sostenibles y el uso de tecnologías emergentes para generar mayor impacto positivo en la reducción de emisiones y huella de carbono, así como implementarse a nivel organizacional para el fomento de cultura de sostenibilidad

Para futuras investigaciones, se recomienda profundizar en los análisis de factores económicos y sociales que pueden afectar la adopción de prácticas sostenibles, la disponibilidad de recursos alternativos, el mercado, la competencia, las normas y costumbres locales del territorio de incidencia. Así mismo explorar la integración de tecnologías emergentes, el uso de tecnologías informáticas en la gestión de emisiones, mejorar la precisión y eficiencia de las evaluaciones, realizar estudios longitudinales que analicen el impacto a largo plazo en las practicas sostenibles de otros contextos geográficos y a lo largo de los distintos tipos de objetos de los proyectos de construcción.

REFERENCIAS

Al-Obaidy, M., Courard, L., & Attia, S. (2022). A parametric approach to optimizing building construction systems and carbon footprint: A case study inspired by circularity principles. *Sustainability*, 14(6), 3370. <https://doi.org/10.3390/su14063370>

Ali, K., Ahmad, M. I., & Yusup, Y. (2020). Issues, impacts, and mitigations of carbon dioxide emissions in the building sector. *Sustainability*, 12(18), 7427. <https://doi.org/10.3390/su12187427>

Bautista Roa, J., Sánchez Villamizar, D., & Vega Vallejo, R. (2015). *Guía para el cálculo de huella de carbono y sus implicaciones en la industria colombiana*. Universidad Sergio Arboleda. <https://repository.usergioarboleda.edu.co/bitstream/handle/11232/1285/Gu%C3%ADa%20para%20el%20c%C3%A1lculo%20de%20la%20huella%20de%20carbono.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Beltrán Vila, J. E., & Hernández Rojas, L. M. (2023). Estimación de la huella de carbono en el sector de infraestructura vial: Caso de estudio para un corredor vial de 190 km en la fase de operación y mantenimiento, Colombia. *Universidad Libre*. https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/25596/Trabajo%20de%20Grado_Articulo%20Calculo%20Huella%20de%20Carbono_Jorge%20B_Liliana%20H.pdf?sequence=2

Bhorkar, M. P., Choudhary, P., Chawhan, A., Bijwe, A., & Devgade, K. (2021). Carbon footprint of a multi-storied residential building during the construction process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1197, 012022. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1197/1/012022>

Castrillón Mendoza, R. D. P., González Hinestroza, A. J., & Quispe, E. C. (2013). Mejoramiento de la eficiencia energética en la industria del cemento por proceso húmedo a través de la implementación del sistema de gestión integral de la energía. *DYNA*, 80(177), 115-123. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/30656>

García Morales, C., & Torre Enciso, Y. (2022). Eficiencia energética en la construcción de edificaciones: Estudio de casos en Colombia. *Revista DYNA*, 89(719), 110-116. <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n719.91899>

González-Vallejo, P., Muntean, R., Solís-Guzmán, J., & Marrero, M. (2020). Carbon footprint of dwelling construction in Romania and Spain: A comparative analysis with the OERCO2 tool. *Sustainability*, 12(17), 6745. <https://doi.org/10.3390/su12176745>

Kuittinen, M., & Häkkinen, T. (2020). Reduced carbon footprints of buildings: New Finnish standards and assessments. *Buildings and Cities*, 1(1), 243-256.

<https://doi.org/10.5334/bc.30>

Labaran, Y. H., Mathur, V. S., Muhammad, S. U., & Musa, A. A. (2022). Carbon footprint management: A review of construction industry. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 3, 100531. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100531>

Lu, X., Wang, C., Kassem, M. A., Wu, S.-Y., & Wei, T.-B. (2022). Case study on carbon footprint life-cycle assessment for construction delivery stage in China. *Sustainability*, 14(9), 5180. <https://doi.org/10.3390/su14095180>

Nadeeshani, M., Ramachandra, T., Gunatilake, S., & Zainudeen, N. (2021). Carbon footprint of green roofing: A case study from Sri Lankan construction industry. *Sustainability*, 13(12), 6745. <https://doi.org/10.3390/su13126745>

Secretaría Distrital de Ambiente. (2022, Julio 12). Unidos por un nuevo aire: Un pacto por Bogotá. *Secretaría Distrital de Ambiente*.

[https://www.ambientebogota.gov.co/noticias-de-ambiente1/-](https://www.ambientebogota.gov.co/noticias-de-ambiente1/-/asset_publisher/CWsNLtoGa4f6/content/unidos-por-un-nuevo-aire-un-pacto-por-bogota)

[/asset_publisher/CWsNLtoGa4f6/content/unidos-por-un-nuevo-aire-un-pacto-por-bogota](https://www.ambientebogota.gov.co/noticias-de-ambiente1/-/asset_publisher/CWsNLtoGa4f6/content/unidos-por-un-nuevo-aire-un-pacto-por-bogota)

Sizirici, B., Fseha, Y., Cho, C.-S., Yildiz, I., & Byon, Y.-J. (2021). A review of carbon footprint reduction in the construction industry from design to operation. *Materials*, 14(20), 6094. <https://doi.org/10.3390/ma14206094>

Suvorova, M., Avilova, I., & Naumov, A. (2021). Reducing the carbon footprint of buildings to improve sustainable development mechanisms of the construction complex. *E3S Web of Conferences*, 258, 03005. <https://doi.org/10.22337/2073-8412-2021-3-56-60>