

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

Estimation of the carbon footprint in the road infrastructure sector: A case study for a 190 km road construction in the operation and maintenance phase, Colombia

Jorge Eduardo Beltran Vila

Universidad Libre, Bogotá D.C., Colombia, jorgee-beltranv@unilibre.edu.co

Liliana Mireya Hernandez Rojas

Universidad Libre, Bogotá D.C., Colombia, lilianam-hernandezr@unilibre.edu.co

Fecha de recepción: 10/05/2023

Fecha de aceptación del artículo: 09/06/2023

Resumen

La generación de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) ha incrementado en los últimos años en el planeta, tal como, reporta la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA) en abril de 2023 se generaron 423,28 ppm de CO₂ a nivel mundial, con un incremento de 3,05 ppm CO₂ en comparación al año anterior; lo que continúa motivando la búsqueda y aplicación de estrategias para la reducción de estas emisiones en los diferentes sectores socioeconómicos. Para el caso del sector de edificaciones y construcción, se registra una generación importante de emisiones con un valor aproximadamente de 10 GtCO₂ (35% a nivel mundial). A nivel de Colombia para el año 2018 se reportó por parte del sector de construcción y transporte una generación de emisiones por 238,93 GgTonCO₂e y 29.601,91 GgTonCO₂e, respectivamente. En razón a lo anterior, se han desarrollado diferentes metodologías para la estimación de la huella de carbono con el fin de identificar operaciones o procesos sensibles que representen una oportunidad de mejora frente a la emisión de GEI en dichos sectores. La presente investigación se centra en la estimación de la huella de carbono para un corredor vial en la fase de operación y mantenimiento, basado en la metodología GHG Protocol, donde se analizan las fuentes de generación (combustibles fósiles y energía eléctrica) bajo una perspectiva y valores de referencia de estándares internacionales y nacionales, que permiten plantear posibles alternativas para reducir la huella de carbono en pro de contribuir al desarrollo sostenible.

Palabras claves: Gases de Efecto Invernadero (GEI), Huella de carbono, Infraestructura vial.

Abstract

The generation of Greenhouse Gases (GHG) has increased in recent years on the planet, as reported by the National Office of Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) in April 2023, 423,28 ppm of CO₂ were generated worldwide, with an increase of 3,05 ppm CO₂ compared to the previous year, which continues to motivate the search and implementation of strategies for the reduction of these emissions in the different socioeconomic sectors. In the case of the building and construction sector, there is a significant generation of emissions with a value of approximately 10 GtCO₂ (35% worldwide). At the Colombian level for 2018, the construction and transportation sector reported emissions generation of 238,93 GgTonCO₂e and 29.601,91 GgTonCO₂e, respectively. Due to the above, different methodologies have been developed to estimate the carbon footprint in order to identify sensitive operations or processes that represent an opportunity to improve GHG emissions in these sectors. This research focuses on the estimation of the carbon footprint for a road construction in the operation and maintenance phase, based on the GHG Protocol methodology, where the generation sources (fossil fuels and electric energy) are analyzed under a perspective and

reference values of international and national standards, which allow proposing possible alternatives to reduce the carbon footprint in order to contribute to sustainable development.

Keywords: Greenhouse Gases (GHG), Carbon Footprint, road infrastructure.

I. Introducción

El aumento de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) al ambiente se relacionan desde los inicios de la industria a finales del siglo XVIII [1], sin embargo, estas han aumentado drásticamente en las últimas décadas, por el crecimiento de un desarrollo de procesos enmarcados en el concepto de mejorar la calidad de vida humana, como por ejemplo, la tecnificación de actividades agrícolas, la elaboración-fabricación de bienes y servicios, el suministro de energía eléctrica, variedad de procesos industriales, la construcción e infraestructura, el usos de medios de transporte (terrestre, marítimo, aéreo), entre otros [2].

Desde el protocolo de Kyoto (firmado en 1997, ratificado en 2005) se comenzaba a describir en la agenda mundial los efectos del cambio climático, lo que conllevó a diferentes países firmantes a un compromiso de reducir y limitar las emisiones de GEI procedentes de los diferentes sectores. Esta situación conllevó a la necesidad de cuantificar las emisiones de GEI contribuyentes al cambio climático, encontrando que una forma de visualizar, procesar y analizar los datos era a través del uso de metodologías que cuantificaban estas concentraciones, y que se empezaron a conocer como cálculo de la huella de carbono o ecológica [3]. Esta es una metodología que permite estimar los requerimientos en términos de consumo de recursos y asimilación de desechos de una determinada población o economía, expresados en KgCO₂e o TonCO₂e [4].

El dióxido de carbono (CO₂) hace parte del conjunto de GEI y ha sido uno de los principales contribuyentes al fenómeno del cambio climático y dentro de este al calentamiento global, como se ha indicado en las cumbres de Naciones Unidas referente a este tema, donde han dejado claro, que si no se mitigan o reducen estas emisiones, las consecuencias pueden ser catastróficas, como es el aumento de la temperatura en un rango de 1,5 a 2°C, por lo cual, se han desarrollado diferentes cumbres a nivel mundial para establecer la hoja de ruta que permita desacelerar este fenómeno climático, dentro de las cuales se destaca el Acuerdo de París (firmado en 2016) y el establecimiento en el año 2015 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

como una alianza para sumar esfuerzos a nivel global y lograr un mayor equilibrio a nivel social, económico y ambiental. Dentro de los ODS, uno de los que propone acciones concretas en materia de cambio climático y por ende de emisiones de GEI es el ODS 13 Acción por el Clima, que busca una adaptabilidad al cambio climático, con el progreso de una economía neutra en emisiones y con acompañamiento a todos los sectores de la sociedad civil; en este orden de ideas, se busca limitar y minimizar las emisiones de GEI con el fin de evitar que suceda dicho aumento de temperatura al año 2030 [5].

En este sentido, el tema de cambio climático ha despertado gran interés en los últimos años para estimar las emisiones de los GEI en los sectores de desarrollo privado, público y de cooperación internacional. Por ejemplo, la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA), registró para abril de 2023 una generación de 423,28 ppm de CO₂ emitidas a nivel mundial, cifra que aumentó en un 3,05 ppm CO₂ con respecto al año 2022 [6].

Entre los sectores de desarrollo, el sector de la construcción es uno de los más relevantes a nivel mundial, así como, uno de los que más aportes de CO₂ realiza a la atmósfera, tal como indica el informe de la ONU donde establece que para el año 2019 alcanzó una cifra cercana a 10GtCO₂ emitidas, en el cual el 35% de estas se relacionan a edificaciones y construcción, y el 28% equivalentes al sector transporte [7]. Este sector cuenta con el potencial de ser uno de los más dinámicos referente al crecimiento de la economía mundial, producto del aumento de las inversiones en infraestructura, construcción, energía y transporte [8].

En ese contexto, la academia ha realizado procesos de investigación para estimar la huella de carbono en el sector de la construcción, como es el caso de Onat y Kucukvar [8] que realizaron la revisión bibliográfica de estudios publicados a nivel mundial, encontrando que existen diferentes métodos para cuantificar la huella de carbono, resaltando, el Análisis de Entradas-Salida (IOA), Análisis de Entra-Salida Multiregional (MRIO) y el Análisis de Ciclo de vida (LCA), concluyendo que estos cuatro métodos representan aproximadamente el 50% de los métodos utilizados para el análisis de la huella de carbono en el sector de la construcción.

En el estudio realizado por Song et al [9], se empleó el método MRIO en el sector de construcción en Hong Kong, donde obtuvieron como resultado que aproximadamente el 95% de las emisiones son indirectas.

Huang et al [10], realizó un análisis de la huella de carbono de las industrias de la construcción del mundo utilizando el método OI concluyendo que el 94% de las emisiones son emisiones indirectas, principalmente producto del uso de la energía.

Igualmente, se han realizado estudios que buscan tener una cuantificación de las emisiones de CO₂ con el uso de asfalto en la vía, como es el caso de investigación de Butt AA [11], que analizó el uso de asfalto convencional y un polímero del asfalto modificado, obteniendo que la mezcla asfáltica convencional estimó la emisión de 55,41 TonCO₂e, y la mezcla modificada 47,23 TonCO₂e. En este mismo escenario se encuentra la investigación realizada por Biswas WK [12] que para el cálculo de huella de carbono considero tanto al empleabilidad de materiales convencionales como de materiales reciclados, arrojando que la estimación en el primero es de 180 TonCO₂e y en el segundo es de 170 TonCO₂e teniendo presente también las actividades de mantenimiento que se deben realizar a la carpeta asfáltica. En esa misma línea, la investigación de Araujo et al [13], tiene en cuenta una modificación al asfalto con polímero obteniendo emisiones de 116 TonCO₂e en este caso y 121 TonCO₂e emisiones para el asfalto convencional. Un caso de estudio particular que realizó Espinosa et al [14], para la vía “La Abundancia” en Costa Rica, en el cual concluyeron que las emisiones de CO₂e en la etapa de producción (materia prima) registraron un aporte de emisiones de GEI del 98%, mientras que, en la etapa de construcción se registró un aporte del 2% GEI. Así mismo, recomiendan aumentar la eficiencia de los equipos de mezcla asfáltica con sus técnicas de construcción y el uso de materias primas con menores emisiones (pavimento asfáltico reciclado).

En Colombia se han realizado procesos de medición de GEI, como el desarrollado por el IDEAM et al., en el año 2016 reportando que el sector de la industria manufacturera y construcción (1A2) emitió 16,6 MTonCO₂e. También reporta para el sector de transporte (1A3) una emisión por 28 MTonCO₂e, es decir el 6,41%

10,81%, respectivamente. Dichos sectores son tenidos en cuenta dentro del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en la sección correspondiente a energía [15].

Un estudio más reciente realizado por el IDEAM et al, que detalla el inventario de GEI entre 1990 a 2018 y de carbono negro entre 2010 al 2018, evidencia que el sector de la construcción (categorizado en el estudio del IDEAM como 1A2K) no tuvo registro de emisiones de CO₂ desde el año 1990 al 2009, contando con un reporte oficial desde el año 2010 con una emisión de 382,43 GgTonCO₂e, siendo superior al año 2018 dato final de referencia con 238,93 GgTonCO₂e (238,15 GgTonCO₂e, 0,27 GgTonCH₄e y 0,50 GgTonN₂Oe), cuyo aporte de emisiones de CO₂e para 2018 en el grupo 1A2 correspondió al 1.81%. En concordancia al caso de estudio de la presente investigación, se cuenta con un reporte de que las emisiones generadas para el año 2018 por el transporte terrestre (1A3b) fue de 29601,91 GgTonCO₂e, aportando el 78.25% en el grupo 1A3 [16].

En Colombia el sector de la construcción, en especial el de infraestructura vial se ha potencializado desde el gobierno nacional en los últimos 9 años con los proyectos concesionados iniciando con los denominados 4G referente a Asociación Pública Privada (APP) y en los últimos tres años las vías 5G referente a Proyectos de Concesiones de Bicentenario.

Por lo anterior, surge el interés de estimar la huella de carbono en la organización encargada operar y mantener el corredor vial que conecta los municipios de Puerto Salgar-Honda-Girardot correspondiente a 190 km de vía.

Para la estimación de dicha huella de carbono se toma como base la metodología GHG Protocol y la ISO 14064, que establecen las bases para la estructuración de la herramienta de cálculo creada por La Corporación Ambiental Empresarial – CAEM [17] de gran importancia para el caso de estudio de la presente investigación.

2. Metodología

En primera instancia se realizó una revisión de información en base de datos para identificar y describir conceptos, datos y metodologías estructuradas para

estimar la huella de carbono en el sector de la construcción, lo que permitió seleccionar la metodología a emplear para la estimación de la huella de carbono para el presente estudio de caso.

En concordancia con lo anterior, se realizó una búsqueda en la base de datos Scopus filtrando con las palabras claves “carbon and footprint, road and construction”, así mismo, los resultados en esa base de datos se filtraron acorde a títulos, resumen y palabras claves, para tener claridad de la visión de los procesos realizados en esta temática. Así mismo, se realizó la búsqueda de la información en ScienceDirect, Google Scholar e Informes nacionales de huella de carbono. Las rutas de búsqueda se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Búsqueda de referencias bibliográficas

Base de Búsqueda	Estrategia de Búsqueda
Scopus	Realizado con el filtro título/resumen/palabra/limitar /subárea Búsqueda: (carbon AND footprint AND road AND construction) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, “ENVIRONMENTAL SCIENCE”))
Google Scholar	Desarrollada con las palabras huella de carbono con palabras de estimación, cuantificación, específicamente en el sector de la construcción.
Science Direct	Empleando como filtro título/ resumen/ palabra (carbón AND footprint AND road AND construction)

Con la búsqueda de la información en especial de Scopus se tomó inicialmente como criterio de selección la fecha de publicación de los artículos la cual fuera inferior a 10 años, evidenciando la publicación de 75 artículos referentes a la estimación de la huella de carbono en el sector de la construcción. También, se encontró, en repositorios de instituciones de educación superior, proyectos de grado modalidad tesis en procesos de pregrado, especialización, maestría y doctorado referente con títulos de estimación de huella de carbono para sectores como construcción y transporte. Una vez relacionada esta base bibliográfica, se realizó la selección de aquellos con mayor afinidad al presente caso de estudio.

En ese proceso de búsqueda se evidenció que existen diferentes metodologías para la estimación de la huella de carbono que pueden emplearse en cualquier organización, donde la selección de está depende de las

variables de entrada y salida del servicio, área o sector que realiza la organización. En razón a esto, se realiza una breve descripción de las metodologías que se han considerado como preseleccionadas para lograr el objetivo de estimar la huella de carbono para un corredor vial de 190 Km en la fase de operación y mantenimiento para la presente investigación.

• **Bilan Carbone TM:** Es el método para el cálculo de emisiones de Gases de Efecto Invernadero desarrollado por el organismo público francés Agence d l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME). Esta metodología se caracteriza por una revisión general completa, en el cual sus distintos módulos, permiten realizar los procesos a nivel de empresas, no obstante, también se puede aplicar para territorios y productos. Esta metodología es desarrollada por un programa de formato de Excel de Microsoft, que comprende la siguiente información:

- Formato: Software MS Excel (con guías en formato PDF).
- Función de contabilización de emisiones de GEI.
- Función de recomendación de reducción.
- Función de recomendación de compensación.
- Gases considerados: todos los gases de efecto invernadero.
- Escala: sitio (empresa, territorio, producto).
- Licencia: Gratuito, pero se entregan las aplicaciones a personas que han seguido un proceso de capacitación, el que tiene un costo entre 1.300 y 2.000euros, según los módulos. [17]

• **PAS 2050:** Este método fue realizado por el British Standard Institution en 2008, la cual, garantiza que el análisis de ciclo de vida de sus productos sea completo. Presenta dos enfoques, como el Business to Business (ciclo de vida producto termina cuando este es recibido por otra organización) y Business Customer (ciclo de vida del producto completo incluye las actividades posteriores a la entrega del producto al cliente/usuario) [18].

• **PAS 2060:** Este método se elaboró en el año 2010 por el British Standard Institution enfocado para el cálculo de emisiones de organizaciones como administración, empresas, sitio de producción, colectividades territoriales y particulares. Está orientada a

organizaciones que buscan ser neutros en carbono con un alto grado reconocimiento, comprende la siguiente información:

- Formato: Guía PDF.
- Función de contabilización de emisiones de GEI.
- Función de recomendación de reducción.
- Función de recomendación de compensación.
- Gases considerados: Todos los gases de efecto invernadero.
- Licencia: Tiene costo.
- Transparencia: En la guía se detallan las fórmulas a emplear. El método no incluye base de datos de factores de emisión (salvo para el cambio de uso de suelo en algunos países): debe justificarse el origen de los factores de emisión utilizados. [17]

• **GHG Protocol:** Este método implementado en el 2001 mediante la publicación del “Corporate Standard” por iniciativa del World Business Council for Sustainable Development (WBCSD32) y el World Resources Institutes (WRI33), planteado como una colaboración multilateral entre empresas, ONG y gobiernos. Existen otros métodos que tomaron de base esta metodología como son Bilan Carbone y PAS 2050, como la norma ISO 1064. Las aplicaciones del GHD Protocol se caracterizan principalmente por contener la siguiente información:

- Formato: Software MS Excel (con guías en formato PDF).
- Función de contabilización de emisiones de GEI.
- Función de recomendación de reducción.
- Gases considerados: 6 principales (Protocolo de Kyoto).
- Escala: Sitio – Territorio – Producto.
- Licencia: Gratis.
- Transparencia: Las guías técnicas explican claramente los procesos y los factores de emisión están disponibles en la página de Internet del GHG Protocol. [17]

• **ISO 14064:** Este método realizado por la (ISO) implementada en el 2006, contando con las siguientes partes, bajo el título general de los Gases de Efecto Invernadero:

- Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el

informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero.

- Parte 2: Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero.
- Parte 3: Especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre gases de efecto invernadero. [19]

Con las metodologías descritas anteriormente, para la presente investigación se toman como base la GHG Protocol y la ISO 14064 que han sido de referencia para la estructuración de herramientas de cálculo de Gases de Efecto Invernadero en el país. En la presente investigación se utiliza la herramienta u hoja de cálculo de la Corporación Ambiental Empresarial-CAEM, esta hoja de cálculo permite estimar la cantidad de gases de efecto invernadero que se generaron en el año 2022 para la organización encargada de la operación y mantenimiento del corredor vial Honda - Puerto Salgar - Girardot correspondiente a 190 Km de vía. A continuación, se hace una descripción general de la información que contiene la herramienta de cálculo del CAEM para la estimación de Gases de Efecto Invernadero [20].

➤ Herramienta de Gestión de la Información

• **Identificación de fuentes de emisión:** En este componente se realiza registro y capture de información a consignar de la organización que se va a hacer el proceso de evaluación de la huella de Carbono, comprendiendo los siguientes ítems a diligenciar:

- **Categoría:** Seleccionar la carga ambiental identificada para que habilite el nuevo proceso por ejemplo combustible líquidos o sólidos, energía eléctrica adquirida, entre otras.
- **Carga ambiental:** Debe seleccionar la carga ambiental de la lista desplegable como por ejemplo consumo de ACPM y gasolina para combustibles líquidos.
- **Alcance:** De acuerdo con el GHG Protocol, la delimitación del alcance permite al proceso la identificación de la fuente, en este caso se tiene el Alcance 1 (emisiones de GEI por fuentes fijas), Alcance 2 (emisiones indirectas debido a la

generación por electricidad consumida y comprada) y el Alcance 3 (otras emisiones indirectas no contempladas en el Alcance 2).

- **Cobertura:** Establecer el porcentaje de inclusión de la información asociadas a las fuentes del 0 al 100%.

• **Proceso de registro de la información:** En este se realiza el debido diligenciamiento de ingreso de información complementaria que solicita la herramienta de cálculo.

- **Origen de la información:** Diligenciar la casilla con el área y los procesos de donde se origina la información para el reporte de huella de carbono.
- **Forma de registro de la información:** Seleccionar la forma como se registra la información, es decir manual o sistematizada.
- **Responsable de registro de la información:** Importante que se identifique nombre y cargo de la persona encargada de registrar los datos.
- **Soportes asociados a la información:** Los soportes que validen los datos registrados.
- **Periodicidad de registro:** Hace referencia al periodo de tiempo que se ingresa la información.
- **Unidad registrada:** Hace referencia a la unidad original asociada a la carga ambiental.

• **Proceso de consolidación y reporte de la información para huella de carbono:** Se consigna el registro de los siguientes datos:

- **Periodicidad de reporte:** Hace referencia a la frecuencia con la que se realiza el registro de la huella de carbono.
- **Encargado de consolidación:** Persona encarga de consolidar la información en las condiciones que se requiere el inventario y el reporte de huella de carbono.
- **Unidad reportada:** Hace referencia a la unidad final en la que se consigna la información en el reporte de huella de carbono.

• **Proceso de revisión y seguimiento:** Se debe de incorporar de validación de la siguiente información:

- **Verificación de los datos reportados:** Frecuencia con la que se realizan verificaciones de la información original, identificando posibles errores y causas de

esos errores para la formulación de acciones preventivas y correctivas.

- **Encargado de la revisión de la información y de las acciones correctivas:** Se refiere a la persona encargada de la revisión, formulación y ejecución de acciones correctivas tendientes a garantizar la calidad del inventario de GEI.
- **Acciones correctivas:** Corresponde a las últimas acciones correctivas que se hayan ejecutado para garantizar la calidad del inventario de GEI y/o reporte de huella de carbono

➤ **Herramienta para la Estimación de la Incertidumbre**

• **Datos generales:** Se ingresa la información de la organización.

• **Fuente de emisión:** Identifica lo referente a las fuentes de emisión de la organización ingresando los siguientes datos:

- **Fuente de emisión:** Emisiones asociadas a los consumos organizacionales.
- **Carga ambiental:** Identificar la carga ambiental asociada a la fuente de emisión que corresponda.

• **Consumo:** Se recopila información acerca de los consumos que tiene la organización con el registro de la siguiente información:

- **Fuente de emisión:** Revisar los datos en la unidad que debe ser consignada la información.
- **Dato 1 al 12:** Deben ser incluidos todos los valores cuantitativos asociados al número de datos con los que cuente la organización en el año base (entre 1 y 12) para estimar las emisiones de cada carga ambiental.
- **Total:** La herramienta hace la suma de todos los datos consignados en las celdas anteriores, para conocer el total anual de la variable asociada a la carga ambiental.
- **No. Datos:** La herramienta muestra el número de datos que han sido usados para el cálculo de las emisiones de GEI y de la incertidumbre asociada.
- **Promedio:** La herramienta determina el promedio de los datos incluidos, para usarlo en el cálculo de la incertidumbre asociada.

- **Desviación estándar:** La herramienta determina la desviación estándar de los datos incluidos, para usarlo en el cálculo de la incertidumbre asociada.
- **Factor T:** La herramienta determina el factor T de los datos incluidos, para usarlo en el cálculo de la incertidumbre asociada.
- **Incertidumbre:** La herramienta determina el porcentaje de incertidumbre asociada a los datos usados.

• **Factor de emisión:** En este ítem general se deben consignar los siguientes datos:

- **Cantidad:** Indica el valor del factor de emisión asociado a la carga ambiental seleccionada.
- **Unidad:** Indica la unidad del factor de emisión asociado a la carga ambiental seleccionada.
- **Incertidumbre:** La herramienta determina el porcentaje de incertidumbre asociada al factor de emisión usado.

• **Huella de carbono corporativa:** La herramienta indica el valor de las emisiones asociadas a cada una de las cargas ambientales, los valores totales agregados para cada tipo de fuente y alcance, y el valor total de las emisiones de gases de efecto invernadero de la organización.

• **Incertidumbre de la Fuente:** Esta estructura realiza el desglose y capture de los siguientes datos.

- **Huella de carbono:** La herramienta indica el valor de la incertidumbre asociada a cada una de las cargas ambientales, los valores totales de incertidumbre agregados para cada tipo de fuente y alcance, y el valor total de la incertidumbre del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de la organización.

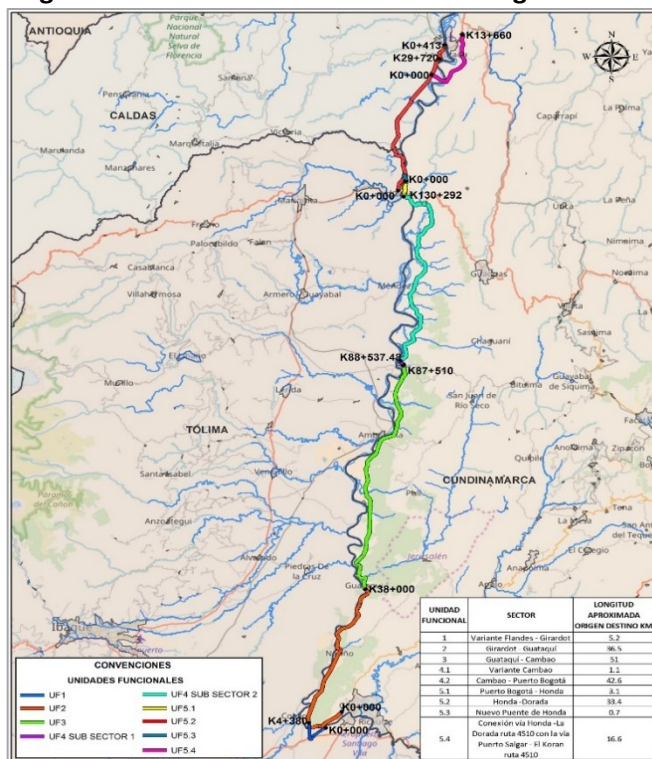
Teniendo en cuenta los parámetros definidos anteriormente, se procede a la selección de base de datos de la organización, que corresponde a la información registrada para el año 2022, referente al Alcance 1 y Alcance 2 para estimar la cantidad de gases de efecto invernadero generados en las etapas de operación y mantenimiento de un corredor vial de 190 km.

3. Resultados

La estimación de la huella de carbono se realizó en la Concesión Alto Magdalena S.A.S., para la construcción, operación y mantenimiento del corredor vial Honda – Puerto Salgar - Girardot, con una longitud de 190 Km aproximadamente, atravesando los departamentos de Tolima, Caldas y Cundinamarca por 11 municipios.

Esta concesión hace parte de las concesiones 4G o vías de cuarta generación, siendo, los proyectos más ambiciosos de la infraestructura vial en la historia de Colombia. En la Figura 1 se muestra el trazado del corredor vial Honda - Puerto Salgar - Girardot.

Figura 1. Corredor Vial Honda-Puerto Salgar-Girardot



Fuente: Concesión Alto Magdalena S.A.S. 2023.

El alcance de la concesión comprende la financiación, construcción, rehabilitación, mejoramiento, operación y mantenimiento del corredor vial.

Desde septiembre del año 2022 la Concesión inicio la etapa de operación y mantenimiento del corredor vial, donde se establecieron unas áreas de carácter contractual destinadas para garantizar la operación de la infraestructura vial, prestación de servicios y atención a

los usuarios viales. En la Tabla 2 se relacionan las áreas contractuales del proyecto su localización por Unidad Funcional (UF - caracterización interna del proyecto), abscisa - Kilometro (Punto de Referencia - PR) y el municipio de jurisdicción que corresponde esa área contractual.

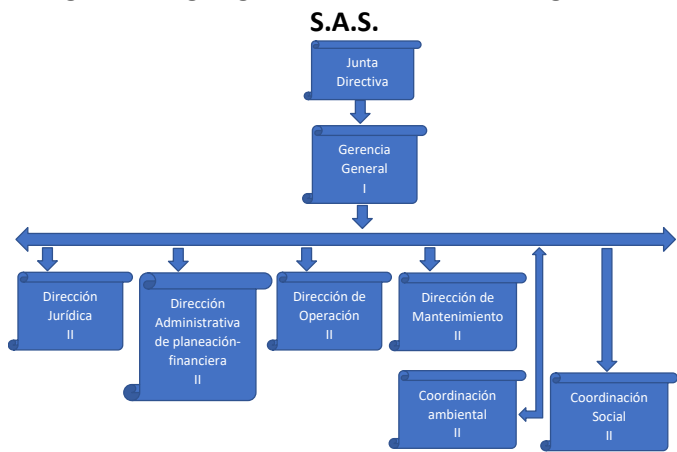
Tabla 2. Áreas Contractuales Concesión Alto Magdalena S.A.S.

Área Contractual	UF	Abscisa	Municipio
Área de Pesaje San Lorenzo	2	PR09+200	Girardot
Peaje Guataquí	3	PR45+560	Guataquí
Área de Servicio 81	3	PR80+500	San Juan de Rioseco
Centro de Control y Operaciones	3	PR86+340	
Peaje Cambao	4.2	PR06+032	La Dorada
Área de Servicio 18	5.2	K18+050	
Peaje Brisas	5.4	K10+200	Puerto Salgar
Área de Pesaje Brisas	5.4	K10+380	

Fuente: Concesión Alto Magdalena S.A.S. 2023.

La organización comprende un orden jerárquico u organigrama como se observa en la Figura 2.

Figura 2. Organigrama Concesión Alto Magdalena S.A.S.



Fuente: Concesión Alto Magdalena S.A.S. 2023.

Ahora bien, como se mencionó anteriormente las etapas que se encuentra desarrollando actualmente la Concesión comprenden:

Etapas de Operación: está concentrada en garantizar los principios de continuidad, atención al usuario, seguridad e inspección vial, cumpliendo con los protocolos de acción establecidos por el concesionario, tanto para las operaciones rutinarias como la información constante a los usuarios de la vía, la operación de las estaciones del

pesaje, el recaudo de peaje, el mantenimiento vial así como la atención a cualquier emergencia, incidente o accidente presentado en el corredor vial de la Concesión Alto Magdalena S.A.S.

En esta etapa se llevan a cabo las actividades que proceden de las áreas contractuales de pesajes, áreas de peajes, centro de control y operaciones, áreas de servicios y la atención de los reportes realizados por los usuarios de la vía como son seguridad vial, inspección vial, servicios de carro taller, grúa gancho, grúa plataforma y servicio de ambulancia.

Etapas de Mantenimiento: Las actividades de mantenimiento rutinario realizadas permanentemente en el corredor vial tienen como finalidad principal la conservación de todos los elementos de la vía para ofrecer condiciones de seguridad, limpieza y comodidad a los usuarios, asegurando el cumplimiento de las especificaciones técnica de la infraestructura en cuanto a su funcionamiento.

En esta etapa se llevan a cabo las actividades de mantenimiento rutinario como son ahuellamientos, fisuras, baches, hundimientos, estado de márgenes, separador central, mantenimiento drenajes superficiales, longitudinal y transversal, señalización vertical, señalización horizontal, barrera y elementos de contención, iluminación, bacheo y parcheo, entre otras.

La estimación de la huella de carbono para la Concesión Alto Magdalena S.A.S. se realizó a partir de la información reportada para consumos de combustible y energía que realiza la organización, por el uso de maquinaria y equipo, operación de áreas contractuales y demás actividades que requieren el consumo de estos recursos. Igualmente, es preciso aclarar que no se contempló hacer medición o seguimiento a la estimación de GEI que generan los usuarios particulares (vehículos, camiones, tractocamiones, motos, etc.) que transitan en el corredor vial Honda - Puerto Salgar - Girardot.

En concordancia con lo anterior, se presenta el contexto y delimitación del entorno al que se enfoca la estimación de la huella de carbono a nivel de la organización:

✓ **Infraestructura o Áreas Contractuales:** Se contemplan todas las áreas contractuales descritas en la Tabla 2, en

estas instalaciones se tiene un consumo de energía a través de terceros prestadores de servicio público generado a través de centrales hidroeléctricas. Las áreas contractuales tienen plantas eléctricas en contingencia al momento que se presenten cortes de energía por el prestador del servicio público. Igualmente, estas infraestructuras cuentan con energía alternativa (paneles solares) para el sistema de iluminarias de los postes asociados en cada área contractual.

✓ **Maquinaria y Equipo:** La maquinaria y equipo de la organización tiene como fuente de combustible la Gasolina E10 (mezcla comercial) y el Diésel B10 (mezcla comercial). Igualmente, por contrato de concesión se hace el abastecimiento de combustible a la flota vehicular de la policía de carreteras de cada uno de los municipios que se encuentra en cobertura de los 190 Km del corredor vial, por lo cual, se incluye los registros también del suministro realizado a esta Entidad.

✓ **Intercesiones y Glorietas del Corredor Vial:** Estas cuentan con energía a partir de paneles solares para los postes y para los tableros electrónicos, sin embargo, estos últimos, cuentan con doble suministro panel solar y suministro de energía eléctrica, utilizando esta última en especial.

Teniendo presente la delimitación realizada anteriormente, se establecen los alcances para aplicar la metodología del GHG Protocol e ISO 14064 esquematizadas con la herramienta del CAEM de la siguiente manera:

✓ **Alcance 1 Emisiones Directas de Gases de Efecto Invernadero:** El levantamiento de la información de este apartado hace referencia al consumo de combustibles (sólidos, líquidos y gaseoso). En el caso práctico de la organización el combustible líquido corresponde al consumo de Gasolina E10 y Diesel B10 para la operación de la flota vehicular, maquinaria y equipo, así como procesos del desarrollo de algunas actividades administrativas, actividades de campo del área ambiental, áreas de operación y mantenimiento del corredor vial.

✓ **Alcance 2 Emisiones Indirectas Asociada a Energía:** Hace referencia a las emisiones indirectas procedentes de la energía consumida en las infraestructuras o áreas contractuales que se encuentra dotada de equipos de oficinas, sistemas radio operadores, entre otros equipos. De igual manera, se contempla el consumo de energía que realizan los tableros electrónicos localizados en diferentes sectores del corredor vial.

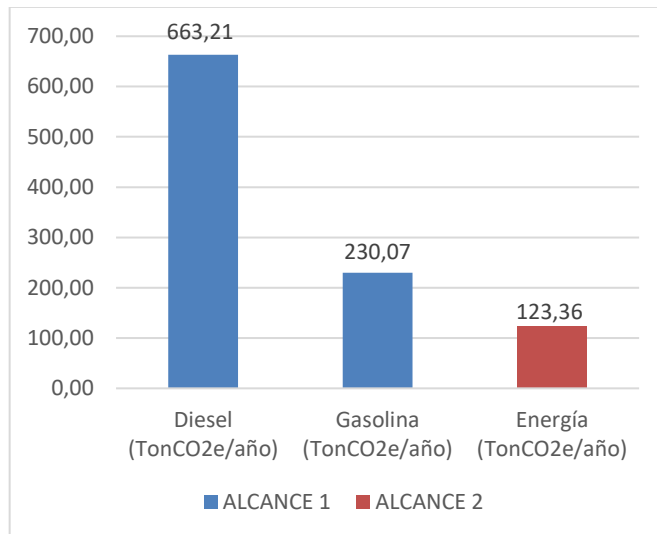
Una vez definidos los alcances a tener en cuenta para la aplicación de la metodología, se ingresó la información correspondiente al año 2022 en la herramienta de cálculo del CAEM:

Alcance 1: El consumo de Gasolina E10 fue de 30.144 Gal y de Diesel B10 fue de 64.467,92 Gal, donde el factor de emisión establecido por la herramienta del CAEM para la Gasolina E10 es 10,277 KgCO₂/Gal y Diesel B10 es 7,618 KgCO₂/Gal.

Alcance 2: El consumo de energía fue de 616.800 KWh con un factor de emisión para la herramienta del CAEM de 0,200 KgCO₂/KWh.

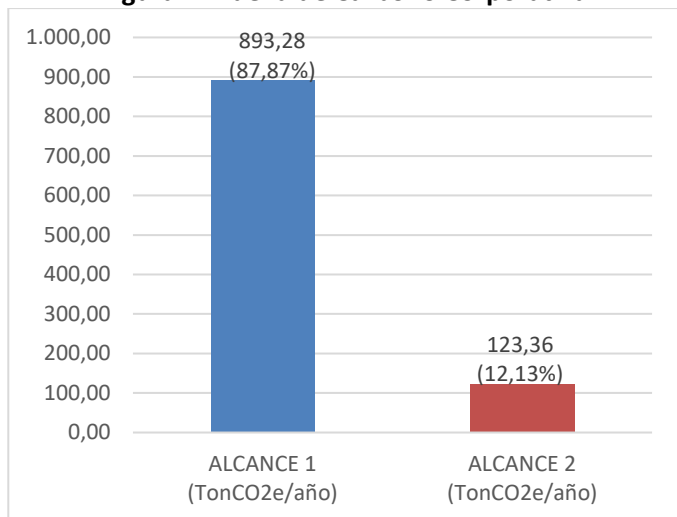
En las Figuras 3 y 4, se muestra los resultados obtenidos para Huella de Carbono mediante el procesamiento de la información con herramienta del CAEM.

Figura 3. Huella de Carbono Corporativa por Fuente de Emisión de GEI



Fuente: Autores con base en la información suministrada por la Organización.

Figura 4. Huella de Carbono Corporativa



Fuente: Autores con base en la información suministrada por la Organización.

De los resultados evidenciados en las Figuras 3 y 4, se identifica que el mayor aporte de emisiones de GEI en la organización se asocian con el Alcance 1 con el 87,87% con las fuentes móviles y fijas por el consumo de combustible Gasolina E10 y Diesel B10, a su vez, que el Alcance 2 tiene menores aportes con un 12,13% asociado al consumo de energía.

Ahora bien, con la herramienta del CAEM se obtuvo la estimación de la huella de carbono para la organización, no obstante, es preciso tener en cuenta que allí no se consideran los porcentajes de humedad y de cenizas. En este sentido, se recomienda el análisis de la herramienta del FECOC 2016 que ha incorporado una corrección con el % de humedad y cenizas, donde indica que al no tener en cuenta dichos porcentajes, se puede tener una sobreestimación de las emisiones de CO₂ hasta un 30% [21].

Luego, en la Tabla 3 se reporta la cantidad de emisiones de TonCO₂e/año de los GEI que se generaron para el año 2022 en la organización, donde, el Dióxido de Carbono-CO₂ realizó más aporte con un 99,89% (1.015,50 TonCO₂e/año), seguido del Óxido de Nitroso-N₂O con 0,08% (0,84TonCO₂e/año) y por último el Metano-CH₄ con 0,03 % (0,29 TonCO₂e/año); estos gases son derivados por el consumo de combustible fósiles (Diésel B10 y Gasolina E10) que en el proceso de combustión reaccionan con el oxígeno e igualmente en el proceso de

consumo de energía (por ciclo de vida) se generan aportes en GEI.

Tabla 3. Emisiones Totales Discriminadas por tipo de GEI.

GAS EFECTO INVERNADERO (GEI)	EMISIONES TOTALES (TonCO ₂ e/año)	% DEL TOTAL
CO ₂	1.015,50	99,89%
N ₂ O	0,84	0,08%
CH ₄	0,29	0,03%
TOTAL ALCANCES 1 Y 2	1.016,64	100,00%

Fuente: Autores con base en la información suministrada por la Organización.

Teniendo en cuenta lo anterior, y precisando que el proyecto de concesión tiene cofinanciamiento de bancos internacionales o nacionales que se rigen bajo los mandatos de la Corporación Financiera Internacional (IFC) que a su vez es miembro del Banco Mundial; se debe tener en cuenta la Política sobre Sostenibilidad Ambiental y Social establecida por la IFC, en la cual establece unas categorías para actividades empresariales, siendo coherentes, con lo establecido en Los Principios del Ecuador, para el caso de la organización, corresponde a la categoría B en el cual los impactos ambientales y sociales son mayormente reversibles y fácilmente abordables a través de medidas de mitigación [22].

Igualmente, la estimación de la huella de carbono en la organización fue de 1.016,64 TonCO₂e/año equivalente al 0,04% bajo la referencia de las Normas de Desempeño del IFC en este caso la Norma No. 3 y el Numeral No. 2 de los Principios de Ecuador que define para actividades empresariales de categoría B sus emisiones son equivalente o superiores a 25.000 TonCO₂e/año [23].

En el marco nacional no se han establecido valores de referencia para seguimiento y control de la huella de carbono que genere cada organización del sector que corresponda; toda vez, que las únicas organizaciones bajo seguimiento de emisiones de GEI, son aquellas que cuentan con un permiso de emisiones atmosféricas por la naturaleza de su actividad de acuerdo con el Decreto 1076 de 2015, Título 5, Secciones 3 (de las emisiones contaminantes), 7 (permisos de emisión para fuente fija) y 8 (mecanismo de evaluación y certificación para fuentes móviles) [24], así como la Resolución 2257 del 1

de noviembre de 2017 [25] , entre otros marcos legales, que están bajo amparo de las Corporaciones Autónomas Regionales, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, bajo las ordenanzas administrativas emitidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Por otro lado, en el proceso de llevar acciones frente al cambio climático y las emisiones de GEI el Gobierno Nacional emitió la Resolución 1447 del 1 de agosto de 2018 [26] por cual se reglamenta el sistema de monitoreo, reporte y verificación de las acciones de mitigación a nivel nacional del artículo 175 (Registro Nacional de Reducción de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero) de la Ley 1753 de 2015 [27]. En el marco de la Resolución 1447 de 2018 se establece el Sistema de Monitoreo, Reporte y Verificación de acciones de Mitigación a nivel nacional-Sistema MRV que es administrado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM [26]. En el marco del acto administrativo citado, se establecen algunas iniciativas de mitigación de GEI que se pueden inscribir en el Registro Nacional de Reducción de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero - RENARE como son:

- ✓ Programas y proyectos de acciones para la reducción de las emisiones debidas a la deforestación y la degradación forestal de Colombia -(REDD+).
- ✓ Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación (NAMAs).
- ✓ Programas de Desarrollo Bajo en Carbono (PDBC).
- ✓ Proyectos y Programas de actividades del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

En el marco de estos lineamientos la organización puede incursionar de manera voluntaria en cualquier de estos procesos para compensar sus emisiones de GEI, adicionalmente, puede seguir fortaleciendo el uso de energía alternativas principalmente con paneles solares como lo ha venido incorporando en el corredor vial para la alimentación eléctrica de las iluminarias de las áreas contractuales y los tableros electrónicos, asociado, bajo la Resolución 1447 de 2018 con el Mecanismo de Desarrollo Limpio [26].

Igualmente, en el marco del proyecto de concesión con los trámites, permisos, autorizaciones y licencias ambientales otorgados por las Autoridades Ambientales se ha establecido una serie de compensaciones ambientales que consiste principalmente en procesos de restauración, reforestación, rehabilitación ecológica, conservación de predios de gran interés ecológico en el área de influencia del proyecto, con el objeto de recuperar y restaurar suelos afectados por la exposición de este a la ganadería, donde esta región es una de las principales actividades que se realizan.

En el marco de la Resolución 1447 de 2018 [26] se está abordando y trabajando lo relacionado con la REDD+ teniendo presente que la zona del Magdalena Medio donde se localiza el proyecto se ha visto afectada por las extensiones de terreno que se emplean para el sector pecuario localizándose en el municipio de La Dorada-Caldas la organización FRIOGAN uno de los grandes aportantes de producto bovino a nivel nacional y en el extranjero.

4. Conclusiones y Recomendaciones

El balance de generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el corredor vial en su etapa de operación y mantenimiento para el año 2022 dio un resultado positivo, toda vez que la huella de carbono estimada se reportó por debajo de los valores establecidos por estándares internacionales como son la IFC y Los Principios del Ecuador que tiene de referencia el proyecto.

Ahora bien, los resultados obtenidos para la huella de carbono para este año fueron Dióxido de Carbono-CO₂ con el mayor aporte de un 99,89% (1.015,50 TonCO₂e/año), seguido del Óxido de Nitroso-N₂O con 0,08% (0,84TonCO₂e/año) y por último el Metano-CH₄ con 0,03 % (0,29 TonCO₂e/año); los cuales son producto del consumo de combustibles fósiles (consumo de Gasolina E10 y Diésel B10) y del consumo de energía eléctrica; requeridos para la operación y mantenimiento del corredor vial los 365 días del año.

Por otro lado, referente al marco legal nacional, no se cuenta con una reglamentación de valores permisibles

de huella de carbono para el sector de infraestructura vial. Sin embargo, la organización ha estado en pro de hacer control y seguimiento de forma voluntaria para reducir su huella de carbono empresarial.

Con la estimación de la huella de carbono la organización puede fortalecer su incursión en buenas prácticas de un uso responsable de los recursos naturales, cambio de productos, equipos e insumos que generen menor huella de carbono en el ambiente y que puedan ingresar a procesos de economía circular, en pro de minimizar las emisiones de GEI en la etapa de operación y mantenimiento del corredor vial.

5. Referencias

- [1] D. J. Jackson, *Addressing the challenges of reducing greenhouse gas emissions in the construction industry: a multi-perspective approach*, Edimburgo: The University of Edinburgh, 2020.
- [2] S. Gallego Álvarez, A. Sánchez Rubio, A. Olalla Rodríguez, C. Palacios Avilés y M. Quero López, *Conceptos básicos de la huella de carbono*, España: AENOR ediciones, 2015.
- [3] N. Lesca, *Environmental Scanning and Sustainable Development*, Londres: Wiley-ISTE, 2013.
- [4] W. Mathis y R. Wiliam, *Nuestra huella ecológica: reduciendo el impacto humano sobre la tierra*, Santiago de Chile: Lom Ediciones, 2001.
- [5] Naciones Unidas, «Naciones Unidas», Naciones Unidas, [En línea]. Available: <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>. [Último acceso: 7 03 2023].
- [6] Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica, «Global Monitoring Laboratory», Earth System Research Laboratories, 1 12 2022. [En línea]. Available: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>. [Último acceso: 13 05 2023].
- [7] Global Alliance for Buildings and Construction, UNO Environment Programme, «2020 Global Status Report for Buildings and Construction», United Nations Environment Programme, 2020.
- [8] N. Cihat Onat y M. Kucukvar, «Carbon footprint of construction industry: A global review and supply chain analysis», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 124, nº 109783, 2020.
- [9] X. Song, Y. Lu y X. Shi, «Will China's building sector participate in emission trading system? Insights from modelling an owner's optimal carbon reduction strategies», *Energy Policy*, vol. 118, pp. 232-24, 2018.
- [10] L. Huang, G. Krigsvoll, Y. Liu y X. Zhang, «Carbon emission of global construction sector», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1906-1916, 2018.
- [11] A. Butt Azhar, *Life Cycle Assessment of Asphalt Pavements including the Feedstock Energy and Asphalt Additives*, Estocolmo: Royal Institute of Technology, 2012.
- [12] W. Biswas, «Carbon footprint and embodied energy assessment of a civil works program in a residential estate of Western Australia», vol. 19, pp. 732-744, 2014.
- [13] J. P. Araujo, J. Oliveira y H. Silva, «The importance of the use phase on the LCA of environmentally friendly solutions for asphalt road pavements», *ScienceDirect*, vol. 32, pp. 97-110, Octubre 2014.
- [14] M. Espinosa, N. Campos, H. Ozer, J. Moya, A. Baldi, L. Salazar y I. Al-Qadi, «Carbon Footprint Estimation in Road Construction: La Abundancia-Florencia Case Study», *Sustainability*, vol. 11, p. 2276, 16 Abril 2019.
- [15] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), PNUD, «Inventario Nacional y Departamental de Gases de Efecto Invernadero Colombia», Puntoaparte book vertising, Bogotá D.C., 2016.
- [16] Biocarbono Orinoquía, Gef, IDEAM, Fundación Natura, PNUD, «Informe del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2018 y Carbono Negro 2010-2018 de Colombia», Bogotá D.C., 2022.
- [17] A. M. López Castañeda, *Cálculo de la huella de carbono en el municipio de Ubatem en los sectores de transporte, residuos, industrial, agropecuario, institucional, silvicultura y uso del suelo e implementación de estrategias de mitigación de GEI*, Bogotá D.C.: Universidad Escuela Colombiana de Carreras Industriales, 2016.

- [18] Asociación Española para la Calidad (AEC), «AEC,» Asociación Española para la Calidad (AEC), [En línea]. Available: <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/norma-pas-2050>. [Último acceso: 3 12 2022].
- [19] Organización Internacional de Normalización (ISO), «ISO,» ISO, 2006. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14064:-1:ed-1:v1:es>. [Último acceso: 4 12 2022].
- [20] Corporación Ambiente Empresarial, *Herramienta de Gestión de la Información y el Cálculo del Inventario de Gases de Efecto Invernadero*, Bogotá D.C.: CAEM, 2004.
- [21] Incombustion Unión Temporal, «Consultoría Técnica para el Fortalecimiento y Mejora de la Base de Datos de Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos - FECOC,» Medellín, 2016.
- [22] Corporación Financiera Internacional, «Política sobre Sostenibilidad Ambiental y Social,» 2012.
- [23] Corporación Financiera Internacional, «Normas de Desempeño sobre Sostenibilidad Ambiental y Social,» 2012.
- [24] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible República de Colombia, *Decreto 1076 de 2015*, Bogotá D.C., 2015.
- [25] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible República de Colombia, *Resolución 2257 del 1 de noviembre de 2017*, Bogotá D.C., 2017.
- [26] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible República de Colombia, *Resolución 1447 de 2018*, Bogotá D.C., 2018.
- [27] Congreso de la República de Colombia, *Ley 1753 de 2015*, Bogotá D.C., 2015.