

Determinación de la huella de carbono mediante el análisis de ciclo de vida, Caso de Estudio: Edificio Administrativo de una Empresa de Servicios Públicos

Carbon Footprint Determination Through Life Cycle Analysis, Case Study: Administration Building of Public Services Enterprise

Recibido: 18 de febrero de 2023

Aprobado: 22 de junio de 2023

Angie Mariana Verdugo Rojas*



Ingeniera Ambiental, angiemarianaverdugo@hotmail.com, Universidad de Pamplona, Pamplona-Colombia

Hector Uriel Rivera Alarcón



Magister en Ing. Ambiental, heurrial@unipamplona.edu.co, Profesor programa de ing. Ambiental, Universidad de Pamplona, Pamplona-Colombia

Elkin G. Flórez S



Doctor en Ing. Mecánica, Fluidos y Aeronáutica, eflorez@unipamplona.edu.co, profesor titular, Universidad de Pamplona, Pamplona-Colombia

***Autor para correspondencia:**

angiemarianaverdugo@hotmail.com



Determinación de la huella de carbono mediante el análisis de ciclo de vida, Caso de Estudio: Edificio Administrativo de una Empresa de Servicios Públicos

Resumen

En este artículo se describe la realización de un análisis de ciclo de vida (ACV), teniendo en cuenta los consumos y emisiones presentes en el edificio de administración de una empresa de servicios públicos, en una ciudad de menos de un millón de habitantes, con el fin de determinar la respectiva huella de carbono. El ACV es un marco metodológico para estimar y evaluar los impactos medioambientales atribuibles a un producto o servicio durante todas las etapas de su vida. En este sentido, se desarrolló la metodología propuesta por la Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 14040 e ISO 14046 de 2006 donde, inicialmente, se tuvo en cuenta las fases de: definición del objetivo y alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto ambiental y, finalmente, interpretación de resultados, lo cual permite determinar la huella de carbono, que cuantifica la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera, generada por el consumo de los calificadores en las entradas y salidas, definidas en el estudio, tales como: electricidad, agua, agua residual, refrigerantes, entre otros. Los resultados obtenidos demuestran que la edificación generó una huella de carbono de 509,2 Ton de CO₂ equivalente, teniendo en cuenta como año base el 2019, donde los principales aportantes son el consumo de ACPM y electricidad con 272,6 y 96.7 Ton CO₂ equivalente, respectivamente. Además, se evidenció que el consumo de papel y de gas propano son los calificadores de menor huella de carbono, con una generación de solo 92,3 y 24 kg de CO₂ equivalente, respectivamente.

Palabras Clave: Análisis de ciclo de vida, consumos y emisiones, huella de carbono, impacto ambiental.

Carbon Footprint Determination Through Life Cycle Analysis, Case Study: Administration Building of Public Services Enterprise

Abstract

This paper describes carrying out a life cycle analysis (LCA), considering the consumption and emissions present in the administration building of a public service company, in a city of less than one million inhabitants, to quantify its carbon footprint. The LCA is a methodological framework to estimate and evaluate the environmental impacts attributable to a product or service during all stages of its life. In this sense, the methodology proposed by the Colombian Technical Standard NTC- ISO 14040 and ISO 14046 of 2006 was developed, where, initially, the phases of: definition of the objective and scope, inventory analysis, environmental impact assessment and, finally, interpretation of results, to determine the carbon footprint, which quantifies the amount of greenhouse gas (GHG) emissions to the atmosphere, generated by the consumption of the qualifiers in the inputs and outputs, defined in the study, such as: electricity, water, wastewater, refrigerants, among others. The results obtained show that the administration building of public service enterprise generated a carbon footprint of 509.3 tons CO₂ equivalent for the year 2019, where the main contributors are the consumption of electricity and ACPM with 96.7 and 94.9 Ton de CO₂ equivalent, respectively. Also, it was evidence that the consumption of paper and propane gas are the qualifiers for the lowest carbon footprint, with a generation of only 92.3 and 24 kg of CO₂ equivalent, respectively.

Keywords: Life cycle analysis, consumption and emissions, carbon footprint, environment impact.

Introducción

Actualmente, la reducción o eliminación de los residuos industriales es un problema medioambiental que crece exponencialmente, por lo tanto, se ha convertido en una de las principales preocupaciones para los gobiernos del mundo, especialmente para los países industrializados. En tal sentido, el manejo de estos residuos se ha convertido en un problema prioritario para las empresas. Por lo tanto, conocer y gestionar los residuos emitidos en una empresa, permiten a ésta, además de aportar al desarrollo sostenible, minimizar los costos de sus insumos y obtener recursos económicos extras a partir de la gestión de sus residuos [1]–[3]. Durante el ciclo de vida de un producto o servicio, ocurren distintos y constantes intercambios entre el entorno ambiental, los flujos de materia y energía y las emisiones ubicadas dentro de los límites del sistema considerado. Todas estas interacciones son cuantificadas mediante distintos métodos fiables que se complementan unos con otros, como lo son el análisis del ciclo de vida (ACV) y la huella de carbono.

Varios autores [4]–[6] han demostrado la eficacia del uso del ACV para cuantificar los impactos ambientales de sus procesos productivos. Por ejemplo: En [7] se utilizó el ACV para cuantificar el impacto ambiental de una empresa azucarera, mostrando que el mayor impacto lo generaba el uso de los fertilizantes químicos y combustibles. También, [8], utilizando el ACV, mostraron que los residuos sólidos de tipo orgánico y los plásticos son lo que generan mayor impacto ambiental en una ciudad del Ecuador.

Además, las empresas, con el fin de minimizar su impacto ambiental, han entendido la necesidad de gestionar eficientemente los calificadores energéticos, claro está, que sin reducir o afectar su productividad [9][10]. Teniendo en cuenta que, la energía consumida en una empresa proviene en su mayoría, de fuentes no renovables como; el carbón, petróleo, gas, entre otros, las cuales son los principales generadores de gases efecto invernadero (GEI) [11], [12], además, el suministro, distribución y transporte de los productos y servicios de la empresa también dependen del consumo de este calificador [13], por lo tanto, es importante conocer cómo se consume este tipo de calificador y de su relación con los costos de producción de la empresa.

Según la norma NTC-ISO 14040 (2007), “el ACV es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un sistema o producto, compilando un inventario de las entradas y salidas más relevantes; evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio”. Además, la huella de carbono es un indicador que mide el impacto de una acción sobre el calentamiento global [14], [15]. La huella de carbono identifica la cantidad de GEI que son liberadas a la atmósfera, como consecuencia del desarrollo de cualquier actividad, permite identificar todas las fuentes de emisiones de GEI, directas o

indirectas, y establecer, a partir de este conocimiento, identificar medidas de reducción efectivas[16].

El principal objetivo de este estudio es determinar la huella de carbono de una edificación, perteneciente a una empresa de servicios públicos en la ciudad de Cúcuta, mediante el uso del análisis del ciclo de vida (ACV), según la normativa NTC-ISO 14040 [17], para así priorizar la toma de decisiones en cuanto al desarrollo y mejora de su servicio e identificar hacia dónde se deberían enfocar los esfuerzos para reducir o compensar sus emisiones.

Con base en los resultados, se establece que la mayor carga ambiental, contribuyente a la generación de la huella de carbono, con un 47% corresponde al consumo de ACPM, seguido por el consumo de gasolina y consumo de energía eléctrica con una contribución del 19%. Por lo tanto, se hace necesario la aplicación de alternativas para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en las fuentes de mayor emisión identificadas en este estudio. Lo anterior se puede lograr por medio de ideas de optimización de consumo de recursos energéticos. Algunas ideas pueden ser; generar incentivos al personal de la empresa para el uso racional y eficiente de la energía, implementar medidas de compensación, por medio de la selección y siembra de especies de árboles como sumideros de CO², entre otros.

Metodología

Análisis del Ciclo de Vida. El análisis de ciclo de vida se desarrolla siguiendo los requisitos establecidos en el marco metodológico de la norma, para cada una sus fases. Dichas fases han sido aplicadas en el presente estudio y se describen a continuación.

Fase I. Definición del Objetivo y del Alcance.

Generalidades del Objetivo. Dentro de esta fase se debe tener en cuenta la aplicación prevista, las razones para realizar el estudio y el público a quienes se reportarán o comunicarán los resultados.

Generalidades del Alcance. Éste debe ser concreto y específico para asegurar el nivel de referencia del estudio y lograr el objetivo estipulado, se incluye:

- El sistema a estudiar
- Las funciones del sistema
- La unidad funcional
- Los procedimientos de asignación
- Los límites del sistema
- Las categorías de impacto seleccionadas y la metodología de evaluación del impacto
- Los requisitos para los datos

Fase II. Análisis del inventario del Ciclo de Vida

El análisis del inventario involucra el proceso de recopilación y organización, los cuales mediante un procedimiento de cálculo permiten cuantificar las entradas y salidas correspondientes al sistema estudiado. En general contiene:

- Recopilación de datos (entrada de energía, materiales, residuos, emisiones, vertimientos, u otros)
- Asignación de flujos, emisiones y vertidos a cada proceso unitario
- Cálculo de datos (se relacionan los datos con los procesos unitarios, así como la relación de estos con la unidad funcional)

Fase III. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

Implica la asociación de los datos del inventario con la categoría de impacto establecido en el alcance del sistema, y por medio del indicador de la categoría de impacto evalúa cuán significativo es el impacto ambiental. Contiene los siguientes elementos, los cuales agrupados representan el perfil de la evaluación del impacto del ciclo de vida:

- Selección de categoría de impacto e indicador de categoría.
- Clasificación (asignación de resultados).
- Caracterización (cálculo de resultados del indicador de categoría).

Fase IV. Interpretación del Análisis del Ciclo de Vida

En esta fase los resultados del inventario y de la evaluación de impacto se consideran de forma conjunta. La fase de interpretación proporciona resultados afines con el objetivo y alcance del estudio definido, para llegar a conclusiones que suministren recomendaciones. Dichas conclusiones y recomendaciones deben ayudar a quien toma las decisiones.

Huella de Carbono. La metodología empleada para el cálculo de la huella de carbono en este estudio se basa en los lineamientos establecidos en las guías de "Gestión Integral Corporativa de la Huella de Carbono" de la Fundación Natura Colombia y MVC Colombia [18]. En la figura 1, se muestra el procedimiento recomendado para realizar el cálculo de la huella de carbono.

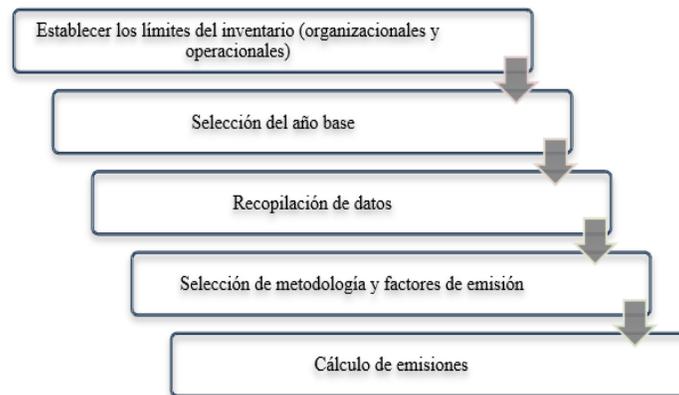


Figura 1. Cálculo de huella de carbono.

Límites del Inventario. Según [19], los límites del inventario generalmente hacen referencia a las instalaciones, las operaciones o las fuentes de emisión que van a ser incluidas en el reporte. Al definir los límites del inventario se facilita la identificación e inclusión de todas las fuentes de emisión relevantes asociadas a la empresa y pueden ser de tipo:

- **Organizacionales:** En estos se define cuáles son las instalaciones de la empresa que se van a incluir en el cálculo. En tal sentido, todas las operaciones o actividades sobre las cuales la empresa ejerce algún tipo de control deben incluirse en el estudio de las emisiones de GEI.
- **Operacionales:** Estos límites permiten identificar cuáles son las actividades, las fuentes de emisión y los GEI de la empresa que serán tomados en cuenta en el inventario. Cada actividad y fuente de emisión debe presentar relación con alguna instalación o actividad que haya sido incluida en los límites organizacionales.

Selección del Año Base. El año base corresponde al tiempo seleccionado para reportar las emisiones de GEI de una organización. Por lo general, coincide con uno de los periodos contables establecidos por la compañía, generando una referencia de las emisiones. Por esta razón, al seleccionar el año base la organización debe asegurar que este, sea el periodo de tiempo que describe el funcionamiento normal de la compañía, es decir, que la información suministrada sea veraz, confiable, trazable y adicionalmente represente la operatividad de la empresa [18], [19]. La determinación de un año base permite hacer un seguimiento de las emisiones, las actividades de la empresa y su impacto a lo largo del tiempo, para de esta forma, establecer iniciativas destinadas a la mitigación [15].

Recopilación de Datos. Generalmente son los datos de consumos o emisiones de la empresa. La recopilación de datos es una parte fundamental para elaborar un inventario de GEI. Para abordar el proceso de recolección de datos es necesario haber identificado las fuentes de emisión de GEI de la organización. Las fuentes de información para recolectar los datos de las actividades usualmente pueden ser las siguientes [16]:

- Facturas de compras
- Registros de ventas
- Fichas técnicas y de seguridad
- Recibos de servicios públicos
- Registros de mantenimientos
- Entrevistas con funcionarios
- Otras

Para el proceso de recolección de datos, es importante llevar registros claros que permitan realizar un seguimiento y control de la calidad de los datos, de tal forma que se garantice que la información utilizada sea la correcta [20].

Selección de Metodología y Factores de Emisión. Para el desarrollo de la investigación, el método seleccionado para la estimación de la huella de carbono es el método de "Factores de Emisión", debido a la habilidad que tiene su aplicación, además del bajo costo que representa realizar estimaciones bajo este método. Aunque existen varias técnicas para cuantificar la huella de carbono [21], el utilizado en el presente trabajo consiste en multiplicar el dato de la actividad o carga ambiental (CA) por el factor de emisión (FE) correspondiente y por el potencial de calentamiento global (PCG), según el respectivo gas de efecto invernadero. La ecuación 1 expresa la forma en que, utilizando los anteriores factores, se puede estimar las respectivas emisiones.

$$Emisiones = CA * FE * PCG \quad (1)$$

Los factores de emisión son valores que ya están establecidos y varían dependiendo del año, el país o la metodología desarrollada en el cálculo de emisiones para cada actividad [22].

Las emisiones de GEI, diferentes al CO₂, deben ser normalizadas a la unidad de reporte del inventario, con el fin de que corresponda al CO₂ equivalente; para ello el el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) ha establecido los potenciales de calentamientos de cada GEI, en su cuarto reporte de cambio climático, los cuales se presentan a continuación en la Tabla I.

Tabla I. Potencial de calentamiento.

Gas de Efecto Invernadero (GEI)	Potencial de Calentamiento Global (PCG)
Dióxido de Carbono CO ₂	1
Metano CH ₄	28
Óxido Nitroso N ₂ O	265

Cálculo de Emisiones. Una vez recopilados los datos de las actividades y la información que corresponde al año del inventario, se utilizan los factores de emisión relacionados con las actividades identificadas. Los cálculos de GEI se contabilizan en términos de CO₂ equivalente, unidad que permite comparar el potencial de calentamiento de un

GEI con respecto al dióxido de carbono. Esto significa que todas las emisiones de GEI diferentes al CO₂ deben transformarse a unidades de CO₂ equivalente. Para ello son necesarios los potenciales de calentamiento global PCG de GEI (ISO 14064, 2006).

Resultados y Discusión

Objetivo y alcance.

El objetivo del estudio fue determinar el aporte al calentamiento global por parte del edificio administrativo de una empresa de servicios de públicos de la ciudad de Cúcuta-Colombia. En lo relacionado con el alcance, se establecen los factores y procesos unitarios que intervienen en el sistema. Seguidamente, se delimitan todos los calificadores que conforman y definen el objeto de estudio.

La figura 2 muestra los calificadores de entrada, los procesos y las respectivas salidas utilizadas en el estudio. La unidad funcional del estudio son la cantidad (Ton o Kg) de CO₂ equivalente, el cual corresponde a una cuantificación asociada al calentamiento global o potencial de calentamiento global. Los procesos unitarios han sido incluidos debido a sus reconocidas emisiones de GEI, tales como el CO₂, CH₄ y N₂O. La categoría de impacto seleccionada para su correspondiente evaluación es; *el potencial de calentamiento global*, ya que es el impacto relacionado directamente con la huella de carbono. El requisito para cada dato es; tener un registro de facturas o consumos cuantificados para cada mes del año base seleccionado.

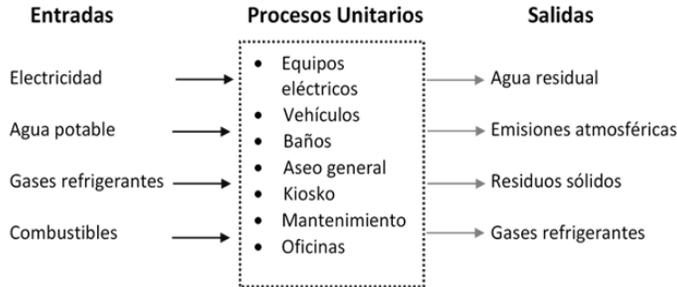


Figura 2. Entradas, procesos y salidas analizadas en el estudio

Selección del año base.

Para el estudio se tomó como año base el 2019, teniendo en cuenta el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre en relación con el año contable de la empresa. La selección de este periodo como año base de la organización se realiza en razón que se considera que el 2019, es un año que describe el funcionamiento normal de la compañía y donde se cuenta con información representativa, confiable y verificable de sus fuentes de emisión.

Análisis del inventario.

Los datos reunidos para el inventario corresponden a los flujos de los procesos unitarios, es decir, las entradas y salidas. En la Tabla II. Se describen las respectivas entradas y

salidas que se tomaron en cuenta en el estudio y que se basaron en la determinación de los calificadores más utilizados en el normal desarrollo de las actividades administrativas que desarrolla la empresa.

Tabla II. Entradas y salidas del sistema.

Entradas	Salidas
Electricidad	Agua residual
Agua potable	Emisiones atmosféricas
Combustibles	Residuos sólidos
Materiales (papel)	Gases refrigerantes
Gases refrigerantes	

Para establecer los valores del inventario, que representa las cargas ambientales de los procesos unitarios evaluados, se procedió de la siguiente forma. Para el consumo de electricidad, se registraron los valores en kw-h/mes cobrados por la empresa comercializadora de energía eléctrica. Para el registro de agua residual, se utilizó un aforo promedio que describe que del 100% del consumo de agua potable, registrado en el mes, un 5% terminaba como agua residual, la cual por medio del parámetro de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) se convierte de m³ a kg de DBO. Para el registro de los residuos sólidos, la empresa ha realizado, con la entidad encargada de disponer estos residuos, un contrato que ha permitido establecer un valor promedio de residuos sólidos con un valor mensual constante en Kg. Para el consumo de combustibles de fuentes móviles, los datos se obtuvieron a partir de las facturas emitidas por las bombas de servicio, con las que la empresa tiene contrato y que suministran dicho combustible a los vehículos de la empresa. Para el consumo de gas, se registraron las compras mensuales de cilindros con un valor estándar en m³. Para los gases refrigerantes se tuvo en cuenta los registros de mantenimiento que representan los kg de recarga a los aires acondicionados. Por último, el consumo de papel se obtuvo a partir de los registros de compras de papelería para la empresa, registrando el peso de las respectivas cantidades de papel adquirido. En la Tabla III, se muestran los respectivos datos obtenidos del inventario realizado durante la investigación, utilizando para ello unidades del sistema internacional, con la excepción del consumo de combustible líquido, el cual ha sido establecido en unidades del sistema inglés.

Tabla III. Inventario de consumo de las variables de entrada

INVENTARIO AÑO 2019										
Mes	Electricidad (kwh)	Agua residual (m3)	Agua residual (kg dbo)	Residuos sólidos (kg)	Gasolina (gal)	ACPM (gal)	Gas propa-no (m3)	Refr. R410 (kg)	Refr. R22 (kg)	Papel (kg)
1	39643,00	455,87	65,42	2260,0	707,34	2299,0	0,36	1	1	0,00
2	48569,00	456,80	65,55	2260,0	507,13	2093,9	0,36	1	0	15,0
3	50226,00	446,80	64,12	2260,0	918,12	2283,5	0,36	3	1	7,50
4	50084,00	553,12	79,37	2260,0	945,68	2011,5	0,36	0	2	15,7
5	49226,75	293,96	42,18	2260,0	970,53	2368,2	0,36	1	3	0,00
6	49609,00	626,53	89,91	2260,0	882,63	2134,0	0,36	1	0	15,0
7	47269,00	506,24	72,65	2260,0	920,12	2189,9	0,36	0	0	12,0

8	42222,00	557,52	80,00	2260,0	934,60	2128,5	0,36	0	0	11,2
9	62791,00	636,58	91,35	2260,0	946,76	2397,4	0,36	0	0	0,00
10	51236,00	771,73	110,74	2260,0	994,49	2381,5	0,36	0	1	19,5
11	49085,00	819,51	117,60	2260,0	876,75	2039,7	0,36	0	2	0,00
12	48274,00	760,98	109,20	2260,0	1150,3	2524,4	0,36	0	0	18
total	588234,75	6885,6	988,09	27120	10754	26851,98	4,31	7,00	10,00	114

Cálculo de datos.

Se procede a determinar el Factor de Emisiones (FE) y a relacionar los datos recopilados con la unidad funcional del caso de estudio, es decir, calcular los datos en valores de Kg o de Ton de CO₂ equivalente. Normalmente, cada gobierno define los respectivos factores de emisión, según sus políticas ambientales, para el presente trabajo se tomaron los valores establecidos por la fundación NATURA [18]. Obtenidos los factores de emisión, se procede a realizar los respectivos calculos mediante el uso de las cantidades consumidas o producidas de cada calificador. Para la electricidad se calculó según los Kw-h consumidos en el año base, para el agua residual se calcula basado en los kilogramos de demanda biológica de oxígeno (DBO) presente en el total de metros cúbicos de agua residual, las emisiones de los residuos sólidos corresponden al total de kilogramos dispuestos por la empresa en el mismo año. En el caso de los combustibles (gasolina, ACPM, gas propano) se evalúa según la cantidad de galones y metros cúbicos consumidos en las actividades correspondientes durante el año base. Para los gases refrigerantes (R410, R22) se evalúa mediante los kilogramos recargados en los aires acondicionados a lo largo del año, teniendo en cuenta un promedio de fuga anual en los equipos. Por último, para las emisiones a partir del papel de resmas, se consideran los kilogramos de consumo en las oficinas para el año establecido. La Tabla IV muestra los resultados obtenidos para cada uno de los calificadores estudiados.

Tabla IV. Factores de emisión aplicados a las variables

Calificador	Gas	Factor Emisión	Unidad
Electricidad	CO ₂	164,38	(gr CO ₂ eq/KWh)
Agua Residual	CO ₂	1,68	(Kg CO ₂ eq/Kg DBO)
	CH ₄	0,06	(Kg CH ₄ /Kg DBO)
Residuos Sólidos	CO ₂	1,49	(Kg CO ₂ eq/Kg RS)
	CH ₄	0,055	(Kg CH ₄ /Kg RS)
Gasolina	CO ₂	8,809	(Kg CO ₂ eq/gal)
	CH ₄	0,293	(gr CH ₄ /gal)
	N ₂ O	0,028	(gr N ₂ O/gal)
	CO ₂	10,149	(Kg CO ₂ eq/gal)
Acpm	CH ₄	0,00001	(Kg CH ₄ /gal)
	N ₂ O	0,0000035	(Kg N ₂ O/gal)
	CO ₂	5,579	(Kg CO ₂ eq/m ³)
Gas Propano	CH ₄	0,086	(gr CH ₄ /m ³)
	N ₂ O	0,009	(gr N ₂ O/m ³)
Gases Refrigerantes Papel	R410	1890	(Kg CO ₂ eq/Kg HCFC)
	R22	1760	(Kg CO ₂ eq/Kg HCFC)
	CO ₂	0,81	(Kg CO ₂ eq/Kg papel)

Obtenida la carga ambiental de cada uno de los procesos unitarios, a partir del inventario, se procede a determinar las respectivas emisiones teniendo en cuenta la ecuación (1). Los valores del potencial de calentamiento global (PCG), seleccionados para este estudio, se basan en la emisión de tres de los principales GEI, los cuales fueron establecidos por el IPCC en 2013 y descritos en la Tabla I. En el caso de los combustibles, los cuales emiten los tres gases descritos en la Tabla I, el PCG se obtiene a partir de la ecuación (2)

$$Emisiones = \sum_{i=1}^3 CA * FE * PCG_i \quad (2)$$

Donde i , describe el PCG del respectivo gas emitido por el combustible.

Los factores de emisión (FE) son valores calculados para el país, respecto al nivel de emisión promedio de un gas por una actividad específica. Para el caso colombiano, estos valores son emitidos por la Unidad de Planeación Minero Energética UPME [23]. Para el presente estudio dichos datos han sido obtenidos de las guías de Inventarios Organizacionales de Emisiones de GEI, publicadas por la fundación Natura. La Tabla V muestra los respectivos valores de cada uno de los calificadores investigados.

Tabla V. Valores de Kg de CO2 equivalente obtenidos según el consumo del año para cada una de las entradas

Datos Inventariados	Kg CO ₂ eq/año
Electricidad	96694,03
Agua Residual	1659,99
Residuos Sólidos	41764,80
Gasolina	94904,25
Acpm	272553,17
Gas Propano	24,04
Gases Refrigerantes	1541,50
Papel	92,34
Total:	509234,12

Como se muestra en la Tabla V, el indicador usado para evaluar el impacto es: “la huella de carbono”, con su medida relativa en Kg de CO2 equivalente, la cual se calcula implementando la metodología de “Factores de emisión”, que implica la cantidad de un elemento, el factor de emisión con respecto al gas evaluado y el potencial de calentamiento global correspondiente a dicho gas.

Conclusiones

El desarrollo del estudio ha permitido identificar la importancia que representan las cargas ambientales de los calificadores de la energía eléctrica y del consumo de combustibles, específicamente, el ACPM y la gasolina, en el desarrollo de las actividades administrativas de una empresa de servicios públicos de una ciudad de mediano tamaño (menor a un millón de habitantes), como lo es Cúcuta-Colombia.

Así mismo, se observa que los calificadores que menos impactan el medio ambiente

para este tipo de empresas son la producción de agua residual, el uso de refrigerantes y el consumo de papel. A pesar de tener medianas cantidades de consumo de estos calificadores, en comparación con los combustibles para fuentes móviles y energía eléctrica, su categoría de impacto es mucho menor.

Respecto a la contribución al impacto evaluado de calentamiento global, el consumo de ACPM representa una influencia relevante (53,5%) y el consumo de gasolina y energía eléctrica se ubican en una contribución que está entre el 18% - 20%, pero al sumar el consumo de combustibles líquidos (ACPM y Gasolina), estos representan una contribución total del 72,2%. Y estos combustibles sumados al consumo de energía conforman el 91,1% del total del calentamiento global. Por lo tanto, los demás calificadores estudiados presenten una contribución menor al 10%.

Al seleccionar un enfoque de control en el límite organizacional del inventario para la huella de carbono, se tiene que las emisiones están directamente relacionadas con el consumo de recursos o insumos, sobre los cuales la empresa tiene total control de adquisición y manejo operativo (combustibles líquidos y energía eléctrica), por lo cual, prácticamente con cualquier mejora operativa que conlleve a una disminución del consumo de estos insumos, por ejemplo la implementación en la empresa de la norma ISO 5001, representará una disminución significativa en la huella de carbono.

Los resultados obtenidos en el estudio permiten definir una huella de carbono generada por la empresa, durante el año 2019, de 509,2 ton CO₂ equivalente. Por lo tanto, una empresa de este tipo requeriría sembrar aproximadamente 5500 árboles para suplir las emisiones de carbono generadas solo por el año 2019. Logrando con ello aportar al desarrollo sostenible del planeta.

Referencias

- [1] A. M. L. de Ortecho, "INCIDENCIA DE LAS POLÍTICAS EMPRESARIALES MEDIOAMBIENTALES EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL SECTOR CONSTRUCCIÓN, LIMA 2018," *Rev. Ind. Data*, vol. 23, no. 2, pp. 83–93, 2020.
- [2] M. M. V. Leme, M. H. Rocha, E. E. S. Lora, O. J. Venturini, B. M. Lopes, and C. H. Ferreira, "Techno-economic analysis and environmental impact assessment of energy recovery from Municipal Solid Waste (MSW) in Brazil," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 87, pp. 8–20, 2014.
- [3] U. T. Orbegozo, M. A. V. Molina, and J. I. Olaizola, "La gestión de residuos en la empresa: motivaciones para su implantación y mejoras asociadas," *Investig. Eur. Dir. y Econ. la Empres.*, vol. 18, no. 3, pp. 216–227, 2012.
- [4] D. C. Cedano-de-León, M. Bastante-Ceca, and R. Viñoles-Cebolla, "Revisión de la

- aplicación de las Técnicas de Análisis de Ciclo de Vida a la industria azucarera," 2020.
- [5] L. M. D. Ramírez and G. A. V. López, "La gestión de activos y la obsolescencia tecnológica en el análisis del ciclo de vida," 2020, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Leidy_Duenas_Ramirez/publication/345950733_La_gestion_de_activos_y_la_obsolescencia_tecnologica_en_el_analisis_del_ciclo_de_vida/links/5fb2c293a6fdcc9ae05af082/La-gestion-de-activos-y-la-obsolescencia-tecnologica-en-el.
- [6] A. S. Kshirsagar, M. A. El-Gafy, and T. S. Abdelhamid, "Suitability of life cycle cost analysis (LCCA) as asset management tools for institutional buildings," *J. Facil. Manag.*, 2010.
- [7] D. M. P. Martínez, A. M. C. Moya, and F. Pérez, "Análisis de Ciclo de Vida en la Empresa Panchito Gómez Toro," *Rev. Cent. Azúcar*, vol. 37, no. 3, 2010.
- [8] M. B. M. Menéndez, R. F. S. Herrero, T. M. C. Ferrer, and A. M. C. Moya, "DIAGNÓSTICO DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN MANTA, ECUADOR," *Rev. Cent. Azúcar*, vol. 46, no. 5, pp. 79–84, 2019.
- [9] R. Acevedo and C. Vásquez, "Análisis relacional de la norma ISO 50.001 (2011): sistemas de gestión energética," *Rev. Cienc. y Technol. AGROLLANÍA*, vol. 11, pp. 312–323, 2014.
- [10] C. L. Vásquez Stanescu, A. G. Carillo Ozal, M. E. Tona Castillo, M. V Galíndez Jimenez, K. A. Macias Camacaro, and C. Esposito de Díaz, "Sistema de gestión energética y ambiental de Productos Alimex CA. Suma de Negocios, 8 (18), 115–121." 2017.
- [11] L. Sánchez, "Evaluación de la eficiencia de las políticas públicas como contribución al control de las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la generación de energía eléctrica," *UNEXPO, Venez.*, 2017.
- [12] A. F. Lopez-Rodriguez, J. C. Serrano-Rico, and E. G. Florez-Serrano, "Statistical methodologies for wind resource analysis, case: Catatumbo region-Norte de Santander, Colombia," 2020.
- [13] A. Vilorio, W. Osal, C. Vásquez, C. González, N. Varela, and M. Gaitán-Angulo, "Performance Energy of the Sector Hydro logical," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 44, pp. 974–5572, 2016.
- [14] B. R. A. N. Palacios, "Huella de Carbono: más allá de un instrumento de medición. Necesidad de conocer su impacto verdadero," 2012, [Online]. Available: http://www.revistalatinacs.org/12SLCS/2012_actas/058_Nunez.pdf.

- [15] H. Schneider and J. Samaniego, "La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios," *Santiago Chile Com. Económica para América Lat. y el Caribe*, pp. 29–34, 2009.
- [16] J. E. Clavijo Gómez, "Determinación de la huella de carbono en la corporación red local del pacto global en Colombia, como piloto para la elaboración de una guía de cálculo de la huella de carbono en empresas de servicios, en el marco de la consecución de los ODS," 2019.
- [17] ICONTEC, *NTC-ISO 14040*. Colombia, 2009.
- [18] F. Natura, "Guía para los inventarios organizacionales de emisiones de GEI por uso de combustibles fósiles en actividades industriales y comerciales," *Recuper.* http://www.mvccolombia.co/images/GEI/Gu%C3%ADa_2_Completa.pdf, 2016.
- [19] J. Hernández, "Guía para elaborar y gestionar inventarios corporativos de gases de efecto invernadero en el sector servicios," 2017. <http://www.natura.org.co/publicaciones/guia-los-inventarios-organizacionales-gei-uso-combustibles-fosiles-actividades-comerciales-e-industriales-2>.
- [20] F. Canellada Barbón, "Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono de una quesería tradicional asturiana," 2017.
- [21] J. P. RODRÍGUEZ, M. A. RUIZ-OCHOA, and A. MENESES, "Revisión de los factores de emisión en las metodologías de huella de carbono en Colombia," 2020.
- [22] J. B. C. Leal, "Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa," *línea*, Dispon. https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/informe_gei/6_anexo_3Factores_Emision_Herramienta_Inventario_GEI_EAB_2014.pdf, 2015.
- [23] M. B. Madriñan, H. H. Florez, and Y. P. Gonzalez, "Factores de emisión del sistema interconectado nacional Colombia-SIN," *Bogota UPME*, 2016.