



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**PROPUESTAS DE INGENIERIA PARA REDUCCIÓN DE LA HUELLA DE
CARBONO DE LA COMPAÑÍA FARMACÉUTICA ABC.**

Programa de Maestría en Ingeniería Industrial

Presentado por:

Christian Eduardo Higuera Jojoa

Director:

Dr. Jorge Francisco Estela Uribe

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Facultad de Ingeniería y Ciencias

INDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	14
2.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	16
2.1.	Planteamiento del problema.....	16
2.2.	Pregunta de investigación	17
2.3.	Alcance del trabajo de grado.....	18
3.	OBJETIVOS DEL PROYECTO	19
3.1.	Objetivo general.....	19
3.2.	Objetivos específicos	19
3.3.	Resultados esperados	19
4.	JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO	21
5.	MARCO DE REFERENCIA	23
5.1.	Estado del arte.....	23
5.2.	Antecedentes	23
5.3.	Marco teórico y conceptual.....	26
6.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	32
6.1.	Descripción de cómo abordar el objetivo específico 1	32
6.2.	Descripción de cómo abordar el objetivo específico 2	48
6.2.1.	Estudio comparativo de metodologías para el calculo de la huella de carbono....	49
6.3.	Definición de los alcances	51
6.4.	Cálculo de emisiones.	52
6.5.	Definición de factores de emisión.....	58
6.5.1.	Gas natural.	58
6.5.2.	ACPM.	59

6.5.3.	Vehículos de Transporte.	60
6.5.4.	Energía Eléctrica.	61
6.6.	Reporte de resultados.	62
6.7.	Descripción de cómo abordar el objetivo específico 3	65
7.	CONCLUSIONES	87
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
9.	GLOSARIO DE TERMINOS ESPECIALES	94

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de potencial de calentamiento global GWP y potencial de cambio de temperatura global GTP.....	29
Tabla 2. Consumo eléctrico de proceso productivos de la compañía ABC.....	43
Tabla 3. Consumo de gas natural de la compañía farmacéutica ABC.....	45
Tabla 4. Consumo de agua de la compañía farmacéutica ABC.....	45
Tabla 5. Distancia de recorridos de transportes de personal de la compañía ABC.	47
Tabla 6. Matriz de selección de metodologías para el cálculo de la huella de carbono.	50
Tabla 7. Consumo eléctrico de proceso productivos de la compañía ABC.....	53
Tabla 8. Factores de emisión para vehículos pesados de carga y pasajeros.	60
Tabla 9. Resumen factores de emisión de las fuentes de emisión de la compañía ABC.....	61
Tabla 10. CO ₂ -eq generado por la operación de la compañía ABC.....	62
Tabla 11. Consumo de energía eléctrica en las áreas de la compañía ABC.	66
Tabla 12. Consumo de energía eléctrica en las áreas de la compañía ABC.	73
Tabla 13. Seguimiento a variable de temperatura en los sistemas HVAC y PW.	75
Tabla 14. Consumo de energía eléctrica en las áreas de la compañía ABC.	77
Tabla 15. Validación de cambios de aire por hora UMA 9, 10 y 11.	79
Tabla 16. Caudal de suministro de aire para garantizar 15 C.A.H.	80
Tabla 17. Disminución de consumo eléctrico, 15 C.A.H.	83
Tabla 18. Conteo de partículas en las áreas luego de modificar operación de unidades manejadoras de aire.....	84
Tabla 18. Ahorro energía eléctrica consumida por mes con 15 C.A.H.	86
Tabla 19. Disminución huella de carbono de la compañía farmacéutica ABC.	88

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1 Cantidad de Mton CO2 equivalente.	26
Figura 2. Cantidad de Mton CO2 equivalente.	27
Figura 3. Cantidad de emisión de GEI en la atmosfera.	28
Figura 4. Organigrama de la compañía ABC.	33
Figura 5. Mapa de proceso de la compañía ABC.	34
Figura 6. Diagrama de flujo de producción de la compañía ABC.....	36
Figura 7. Diagrama de flujo de producción de la compañía ABC.....	37
Figura 8. Etapa inicial y final del proceso de fabricación de cremas.	38
Figura 9. Diagrama de proceso de fabricación de talco medicado.	39
Figura 10. Consumo de gas natural.	44
Figura 11. Consumo de agua.	46
Figura 12. km recorridos por vehículos para transportar materia prima y producto terminado.	48
Figura 13. Red de distribución de gas natural en Colombia.....	59
Figura 14. Esquemático del sistema de generación de aire comprimido.....	67
Figura 15. Demanda de aire comprimido en cfm de la compañía ABC.....	68
Figura 16. Comportamiento de la presión de la red de la compañía ABC, unidades psi.	68
Figura 17. Flujo de aire en cfm generado por los compresores de la compañía ABC.	69
Figura 18. Flujo de aire en cfm generado por los compresores de la compañía ABC.	70
Figura 19. Demanda de aire comprimido en cfm de la compañía ABC con nueva propuesta.	71
Figura 20. Demanda de aire comprimido en cfm de la compañía ABC con nueva propuesta.	72

Figura 21. Temperatura del loop de agua PW.	76
Figura 22. Temperatura de suministro de aire del HVAC.	76
Figura 23. Consumo de corriente eléctrica (A) UMA 9.	82
Figura 24. Consumo de corriente eléctrica (A) UMA 10.	82
Figura 25. Consumo de corriente eléctrica (A) UMA 11.	83

INDICE DE FORMULAS.

Fórmula 1 Cálculo para estimar la potencia eléctrica consumida.	42
Fórmula 2. Cálculo de emisión de CO2 por consumo de energía eléctrica.	74
Fórmula 3. Disminución de emisiones de CO2 por operación de compresores de aire.	74
Fórmula 4. Disminución de emisiones de CO2 por operación de Chillers.....	78
Fórmula 5. Cálculo de Cambios de Aire por Hora para sala limpia.	79
Fórmula 6. Cálculo de Caudal requerido para determinado C.A.H.....	80
Fórmula 7. Disminución de emisiones de CO2 por operación de UMA pasillos y empaque.	84
Fórmula 8. Disminución de emisiones de CO2 por operación de UMA manufactura y envase.	86

INDICE DE ABREVIATURAS, ACRONIMOS Y SIGLAS.

ANDI	Asociación Nacional de Industriales.
CENDI	Centro de Distribución.
CH4	Metano.
CIU	Clasificación Industrial Internacional Uniforme.
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.
CO2	Dióxido de carbono.
COP	Conferencia de las partes.
FECOC	Factores de Emisión de Combustibles Colombianos.
GEI	Gases de Efecto Invernadero.
GHG	Greenhouse Gas.
GTP	Global Temperature Potential.
GWP	Global Warming Potential.
HEPA	High Efficiency Particulate Air.
HP	Horse Power.
HVAC	Heating Ventilation Air Conditioning.
INVIMA	Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamento y Alimentos.
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change.
ISO	International Organization for Standarization.
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration.
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible.
ONG	Organización No Gubernamental.
ONU	Organización de Naciones Unidas.
PW	Pure Water.
UMA	Unidad Manejadora de Aire.
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética.

ABSTRACT

With the growing population growth, there is an increase in the demand for goods and services that guarantee the quality of life of the population. It's this increasing demand that has driven technological development to ensure that the industries producing these goods remain at the forefront and can supply the market demand that is increasing day by day.

One of the industries that has become a pillar to help achieve SDG 3, health and well-being, is the pharmaceutical industry. In addition to experiencing constant growth in recent years, due to population growth and aging, government policies that guarantee greater access to basic medicines for the population and the increase in new diseases, the pharmaceutical industry has also begun a transition towards clean production, this being one of the main factors for the pharmaceutical industry to allocate a large part of its capital to research and development of new production processes that are more friendly to the environment.

Although the increase in the production of the pharmaceutical industry drives economic growth, it should be noted that this increase has had a negative impact on the environment, especially in the generation of greenhouse gases. Greenhouse gases are the main cause of global warming, as they trap radiation reflected by the earth in the atmosphere.

The carbon footprint is a measure of the total amount of greenhouse gases that are emitted directly or indirectly into the atmosphere by an individual or a company. The carbon footprint has become so important that the Colombian government has developed legislation, such as Law 2169 of 2021, that seeks to promote low-carbon development.

This project is developed in order to calculate the carbon footprint of the pharmaceutical company ABC, identify the sources that contribute the most to it, and present proposals to reduce the carbon footprint of the ABC company. The calculation of the carbon footprint was carried out theoretically from equations and emission factors recommended by the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). As a result, the largest GHG emission of the pharmaceutical company ABC is due to electricity consumption, especially in critical support equipment and the HVAC system, without leaving out that the supply chain also generates a large contribution to the carbon footprint.

After estimating the carbon footprint, 3 scenarios are proposed in which 3 alternatives are presented in the operation of the systems that contribute the most to the carbon footprint of the company. With the proposed alternatives, a 3% reduction in the carbon footprint is achieved.

This research focuses on the carbon footprint assessment of a pharmaceutical company, ABC, located in Colombia, for the year 2023. The study quantified greenhouse gas emissions according to the Scope 1 (direct emissions) and Scope 2 (indirect emissions from purchased electricity) of the Greenhouse Gas Protocol. The calculated carbon footprint for the company was 569 t CO₂-eq, with an emission intensity of 37 kg CO₂-eq per ton of product (including both cosmetics and pharmaceuticals), given a total production of approximately 14,156 tons. The analysis revealed that Scope 2 emissions, primarily from electricity consumption, constitute the largest portion of the carbon footprint (71%), while Scope 1 emissions account for 29%. Within Scope 2, three main energy-consuming systems were identified: HVAC (32%), chillers (21%), and air compressors (10%). Based on these findings, three improvement scenarios were proposed to reduce electricity consumption in these critical systems. The estimated potential reduction in the company's carbon footprint through the implementation of these scenarios is approximately 35 t CO₂-eq per year, representing a 6% decrease in the total carbon footprint. This reduction is associated with an estimated annual electricity savings of 264,745 kWh and a potential economic benefit of \$153,022,691 COP. Although not included within the standard GHG Protocol inventory, the study also estimated the carbon emissions associated with the company's water consumption, amounting to 1.2 t CO₂-eq in 2023. The results of this study provide a baseline for Compañía Farmacéutica ABC to understand its carbon emissions and identify key areas for implementing mitigation strategies, particularly focusing on optimizing electricity consumption in high-impact systems. Future research should consider the inclusion of Scope 3 emissions for a more comprehensive assessment of the company's environmental impact.

RESUMEN

Con el creciente incremento de la población se tiene como consecuencia el incremento en la demanda de bienes y servicios que garanticen la calidad de vida de la población. Es esta demanda en aumento la que ha impulsado el desarrollo tecnológico para lograr que las industrias productoras de estos bienes se mantengan a la vanguardia y puedan abastecer la demanda del mercado que día a día va en aumento.

Una de las industrias que se ha convertido en pilar para ayudar al cumplimiento del ODS 3, salud y bienestar, es la industria farmacéutica. Además de experimentar un crecimiento constante en los últimos años, debido al crecimiento de la población y el envejecimiento de esta, a políticas gubernamentales que garantizan mayor acceso de los medicamentos básicos a la población y el incremento de nuevas enfermedades, la industria farmacéutica también ha iniciado una transición hacia una producción limpia, siendo esto uno de los factores principales para que la industria farmacéutica destine gran parte de su capital para investigación y desarrollo de nuevos procesos productivos más amigables con el medio ambiente.

Pese a que el incremento en la producción de la industria farmacéutica impulsa el crecimiento económico, se debe resaltar que este incremento ha tenido un impacto negativo en el medio ambiente, especialmente en la generación de gases de efecto invernadero. Los gases de efecto invernadero son los principales causantes del calentamiento global, ya que atrapan en la atmósfera la radiación reflejada por la tierra.

La huella de carbono es una medida de la cantidad total de gases de efecto invernadero que son emitidos de manera directa o indirecta a la atmósfera por un individuo o una compañía. La huella de carbono ha tomado tanta importancia que el gobierno colombiano ha desarrollado legislaciones, como la ley 2169 de 2021, que buscan impulsar un desarrollo bajo en carbono.

Este proyecto se desarrolla con el fin de calcular la huella de carbono de la compañía farmacéutica ABC, identificar las fuentes que más contribuyen a esta y presentar propuestas para disminuir la huella de carbono de la compañía ABC. El cálculo de la huella de carbono se realizó de forma teórica a partir de ecuaciones y factores de emisión que recomienda el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Teniendo como resultado que la mayor emisión de

GEI de la de la compañía farmacéutica ABC se presenta por consumo de electricidad, en especial en los equipos de apoyo crítico y el sistema HVAC, sin dejar por fuera que la cadena de suministro también genera un gran aporte a la huella de carbono.

Luego de estimar la huella de carbono, se proponen 3 escenarios en los cuales se presentan 3 alternativas en la operación de los sistemas que más aportan a la huella de carbono de la compañía. Con las alternativas propuestas se logra una reducción del 6% en la huella de carbono de la compañía farmacéutica ABC.

Esta investigación se centra en la evaluación de la huella de carbono de una compañía farmacéutica, ABC, ubicada en Colombia, para el año 2023. El estudio cuantificó las emisiones de gases de efecto invernadero según el Alcance 1 (emisiones directas) y el Alcance 2 (emisiones indirectas de la electricidad comprada) del Protocolo de Gases de Efecto Invernadero. La huella de carbono calculada para la compañía fue de 569 t CO₂-eq, con una intensidad de emisión de 37 kg CO₂-eq por tonelada de producto (incluyendo tanto cosméticos como farmacéuticos), dada una producción total de aproximadamente 14.156 toneladas. El análisis reveló que las emisiones de Alcance 2, principalmente del consumo de electricidad, constituyen la mayor parte de la huella de carbono (71%), mientras que las emisiones de Alcance 1 representan el 29%. Dentro del Alcance 2, se identificaron tres sistemas principales de consumo de energía: HVAC (32%), enfriadores (21%) y compresores de aire (10%). Con base en estos hallazgos, se propusieron tres escenarios de mejora para reducir el consumo de electricidad en estos sistemas críticos.

La reducción potencial estimada en la huella de carbono de la compañía a través de la implementación de estos escenarios es de aproximadamente 35 t CO₂-eq por año, lo que representa una disminución del 6% en la huella de carbono total. Esta reducción está asociada con un ahorro anual estimado de electricidad de 264,745 kWh y un beneficio económico potencial de \$153,022,691 COP. Aunque no se incluye dentro del inventario estándar del Protocolo de GEI, el estudio también estimó las emisiones de carbono asociadas con el consumo de agua de la compañía, que ascienden a 1.2 t CO₂-eq en 2023. Los resultados de este estudio proporcionan una línea de base para que Compañía Farmacéutica ABC comprenda sus emisiones de carbono e identifique áreas clave para implementar estrategias de mitigación, enfocándose particularmente en optimizar el consumo de electricidad en sistemas de alto impacto. Las investigaciones futuras

deben considerar la inclusión de las emisiones de Alcance 3 para una evaluación más completa del impacto ambiental de la compañía.

1. INTRODUCCIÓN

El siglo XXI ha marcado el comienzo de una era de avances tecnológicos y conectividad global, que ha garantizado un mayor acceso a bienes y servicios, sin precedentes. Sin embargo, junto con estos notables logros viene un desafío importante que se ha identificado como el cambio climático, el cual es uno de los principales desafíos que debe enfrentar la humanidad. El incremento de la temperatura del planeta, el aumento en el nivel de los océanos, la disminución de fuentes hídricas para consumo humano, la escasez de recursos naturales, pérdida de biodiversidad, son consecuencia de las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la agricultura industrial, y a su vez están provocando un aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, lo que está provocando un calentamiento global. Podemos entender como cambio climático, como el cambio en los patrones climáticos de determinada región, estos cambios pueden ser naturales o causados por el hombre, este último tipo de cambio se conocen como cambio climático antropogénico.

El cambio climático antropogénico es causado por la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, estos gases lo que hacen es atrapar en la atmósfera el calor del sol reflejado por la superficie terrestre, lo que ocasiona un incremento en la temperatura global. La solución inmediata, y tal vez única, para mitigar el cambio climático, es reducir la emisión de gases de efecto invernadero para lo cual existen medidas como, por ejemplo, la reducción del uso de combustibles fósiles, uso de energías renovables, mejorar la eficiencia energética de los sistemas actuales.

Un concepto que va muy de la mano con el cambio climático y que ha ganado amplio reconocimiento en los últimos años es la huella de carbono, la cual es una métrica de la cantidad de gases de efecto invernadero que se producen como resultado de las actividades de una persona, organización o nación, específicamente, es una medida de la cantidad total de gases de efecto invernadero, expresada en términos de dióxido de carbono equivalentes (CO₂-eq), que se emiten directa o indirectamente como resultado de las actividades humanas. Como su nombre lo indica, la reducción de la huella de carbono es la reducción de la cantidad de gases de efecto invernadero que se emiten.

Según el panel intergubernamental sobre el cambio climático, también conocido como IPCC, en el sexto informe de evaluación (AR6), publicado en 2023, afirma que las actividades humanas, principalmente la emisión de gases de efecto invernadero, han causado el calentamiento global, obteniendo una temperatura superficial superior en 1,1 °C con respecto a la temperatura en la era

preindustrial (1850-1900). Este incremento en la temperatura del planeta provoca el derretimiento de los glaciares, provocando que el nivel del mar aumente. Este incremento del nivel del mar tendría un gran impacto en las comunidades costeras, ya que corren riesgo de inundaciones, con consecuencias para las poblaciones humanas y ecosistemas.

Según lo expuesto por el IPCC en su informe especial, Calentamiento global de 1,5 °C, donde presenta el escenario de incrementar la temperatura en 1,5 °C y las consecuencias de este, se establece que si el aumento de la temperatura del planeta continua al ritmo actual es probable que este aumento de 1,5 °C se presente entre el año 2030 y 2052. Por tal motivo la reducción de la huella de carbono es crucial para limitar este incremento de la temperatura del planeta, la cual debería reducirse a la mitad de las emisiones de CO₂ para el año 2030 y a cero para el año 2050.

Debido al cambio climático y sus impactos, los líderes mundiales asistentes a la conferencia de las naciones unidas sobre el cambio climático (COP 21) esta búsqueda de cómo abordar. Uno de los principales avances que se ha tenido para evaluar el cambio climático y cómo afecta de manera negativa el desarrollo, es el Acuerdo de Paris, el cual establece una serie de objetivos a largo plazo para todos los países en búsqueda de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para limitar el incremento de la temperatura global.

Otro avance importante en la búsqueda de la protección del medio ambiente son los objetivos de desarrollo sostenible, estos son en total 17 objetivos los cuales buscan afrontar los retos sociales, ambientales y económicos que enfrentan las sociedades actuales. Uno de los retos principales, debido a la creciente demanda de bienes y servicios, es asegurar que las empresas actúen en sinergia con el medio ambiente, para esto el objetivo de desarrollo sostenible número 13 “acción por el clima” busca mitigar estos impactos negativos ocasionados por la industrialización.

Este trabajo de grado busca formular propuestas para lograr la reducción de la huella de carbono en una organización del sector farmacéutico. Se debe mencionar que debido al creciente número de enfermedades y luego de la pandemia del COVID-19, el sector farmacéutico ha presentado un incremento notable en la economía del país. Aunque este sector encargado del cuidado de la salud es uno de los que más aportan a la huella de carbono, el sector farmacéutico en el año 2015 emite 52 millones de toneladas de CO₂ frente a los 46,4 millones de toneladas que emiten el sector automotriz (Jackson and Belkhir, 2018).

2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A continuación, se presenta la definición del problema de investigación, seguido por la pregunta y finalmente el alcance.

2.1. Planteamiento del problema

De acuerdo con los estudios de mercado del sector farmacéutico, publicados en el año 2020 por la Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia, se puede observar un crecimiento aproximado de 7,3% en las ventas de medicamentos durante los últimos 5 años del sector farmacéutico ha presentado un incremento considerable, por consiguiente, en el uso de recursos naturales necesarios para garantizar su operación y en los residuos generados por estas compañías.

No está de más recalcar que, aunque la industria farmacéutica no haya sido foco de ser causante en parte de la contaminación del medio ambiente, fue en 2018 cuando los investigadores de la universidad McMaster de Ontario (Jackson and Belkhir, 2018) obtienen como resultado de sus estudios que las farmacéuticas contribuyen significativamente al calentamiento global y emite 13% más de toneladas de CO₂ que el sector automotriz.

Otro resultado importante del estudio de McMaster revelaba que el sector farmacéutico debe reducir la emisión de GEI en un 59% para el año 2025, para lograr esto se deben tomar serias medidas al afrontar esta problemática, ya que se debe garantizar el cumplimiento de los acuerdos fijados en el acuerdo de París por parte de todos los países del mundo.

De acuerdo con el plan de negocios del sector farmacéutico colombiano, el cual fue elaborado en el año 2019 y es la hoja de ruta de esta industria de estudio hasta el año 2032, se tienen presupuestado un incremento tanto en ventas como en producción de productos farmacéuticos y con una tendencia creciente. El incremento registrado por la industria farmacéutica hasta el año 2020 alcanzó valores aproximado al 7%. Posterior a la pandemia del covid-19, el sector presentó un incremento en ventas del 10,1%, como consecuencia del crecimiento de la demanda de medicamentos genéricos empleados para combatir el virus del Covid-19. Por otra parte, el sector farmacéutico ha proyectado sus metas de ventas para el 2032 equivalente a 64 de billones de pesos, equivalente a un incremento del 11% en relación con el año 2018.

Las cifras de crecimiento mencionadas anteriormente y teniendo en cuenta que, según los resultados de la encuesta de opinión industrial conjunta (EOIC) de agosto del 2021 realizada por

la ANDI, solo el 27% de todas las organizaciones de Colombia miden su huella de carbono. Es importante el desarrollo de este trabajo de investigación, ya que se tomará como foco de estudio una compañía del sector farmacéutico colombiano, con lo cual se busca generar una ventaja competitiva referente a la lucha contra el cambio climático. Las empresas son un factor importante en la contribución de emisiones de gases de efecto invernadero. La huella de carbono de una empresa es el conjunto de emisiones de gases de efecto invernadero producidas, directa o indirectamente. Las emisiones directas incluyen las que provienen de la quema de combustibles fósiles para generar energía, el transporte de mercancías y la producción de bienes y servicios. Las emisiones indirectas incluyen las que provienen de la electricidad adquirida, los residuos y el uso de productos.

La reducción de la huella de carbono de las empresas es un componente esencial para la lucha contra el cambio climático. Las compañías pueden reducir sus emisiones adoptando medidas como:

- Mejorar la eficiencia energética
- Utilizar energías renovables
- Reducir el uso de combustibles fósiles
- Reducir los residuos
- Adoptar prácticas sostenibles en la cadena de suministro y todos los procesos de la organización.

2.2. Pregunta de investigación

Con base en lo anterior, en este proyecto se pretende dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la cantidad de gases de efecto invernadero generados por una compañía del sector farmacéutico, su equivalente en CO₂ y cómo disminuir estas emisiones que afectan el medio ambiente?

2.3. Alcance del trabajo de grado

Con este trabajo se busca identificar las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero de la compañía farmacéutica ABC. Una vez se identifican las fuentes de emisión se procede a categorizarlas en Alcance 1 o 2 dependiendo de su fuente de origen para posteriormente hacer uso de las herramientas o estándares definidos para realizar la medición de la huella de carbono de una compañía.

Luego de calcular la huella de carbono de la compañía en estudio, se enfocará la última parte de la investigación a diseñar y proponer estrategias de mitigación para disminuir la huella de carbono de la compañía farmacéutica ABC. En esta etapa final se recolectarán datos para garantizar que las propuestas realizadas no afecten la calidad de los productos que produce la compañía.

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

A continuación, se describen los objetivos que se pretenden desarrollar con la presente propuesta.

3.1. Objetivo general

Determinar la huella de carbono de la compañía farmacéutica ABC, para proponer estrategias de ingeniería para mitigar la huella de carbono generada por la compañía farmacéutica ABC.

3.2. Objetivos específicos

El objetivo general se pretende alcanzar cuando se desarrollen los siguientes objetivos específicos:

- Identificar las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero que aportan a la huella de carbono de la organización.
- Llevar a cabo un estudio comparativo entre los diferentes métodos existentes para la medición de la huella de carbono. Medir la huella de carbono generada por la compañía Farmacéutica ABC.
- Desarrollar una estrategia para reducir la huella de carbono generada por los procesos productivos y administrativos de la compañía farmacéutica ABC.

3.3. Resultados esperados

Este trabajo tiene como finalidad proponer alternativas de ingeniería, para una compañía farmacéutica, buscando la reducción de la huella de carbono. Para este fin en primer lugar se debe calcular la huella de carbono que generan los procesos productivos y administrativos de la compañía, esto nos dará un valor estimado de toneladas de CO₂ generadas anualmente por la compañía.

Una vez calculada la cantidad de toneladas de CO₂ emitidas por la compañía se discriminará cuáles son los procesos que generan mayor impacto para poder así indagar y proponer alternativas para reducir estas emisiones.

Por último, se calcula nuevamente la emisión de GEI, (ton CO₂) si se llegaran a implementar las soluciones de ingeniería propuestas, y se realiza una comparación de cuanto porcentaje se puede lograr disminuir con la implementación de la estrategia propuesta.

Con este trabajo se busca identificar las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero y posteriormente cuantificar el aporte anual de CO₂ generado por la operación de la planta de producción de la compañía farmacéutica ABC. De forma análoga se pretende obtener:

- Procesos o equipos que aportan a la huella de carbono de la compañía.
- Huella de carbono de la compañía farmacéutica ABC, esta cantidad se expresa en *Toneladas métricas de dióxido de carbono equivalente* (MtonCO₂-eq). generada por la compañía.
- Una vez se diseñe la estrategia de mitigación y se evalué su impacto, se recalculará la huella de carbono de la compañía nuevamente teniendo en cuenta la disminución en las emisiones generadas por las nuevas propuestas.

4. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

El creciente mercado farmacéutico ubica a Colombia como el quinto mercado más grande de América Latina, gracias a su privilegiada biodiversidad la cual permite desarrollar nuevos medicamentos a partir de productos naturales. De acuerdo a datos de la CIIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme) el cual está clasificado según su rama de actividad en la sección C de industrias manufactureras, división 21, grupo 210, clase 2100. En el año 2019 había establecidas 45 empresas farmacéuticas, este número presentó un incremento aproximado de 22% a finales del año 2021, es decir, para el año 2021 se establecieron 55 industrias farmacéuticas, de las cuales algunas exportan, principalmente a países como Estados Unidos, México, Perú y Ecuador. Entre el periodo de 2009 a 2019 la producción de productos farmacéuticos presentó un incremento de 82%, pasando de \$4 billones a \$7.2 billones. Se debe recalcar que este crecimiento no solo se ha visto en la capacidad instalada de las compañías farmacéuticas, sino que también para estar al nivel competitivo del mercado las grandes compañías farmacéuticas colombianas han iniciado una campaña para la transformación tecnológica, realizando grandes inversiones económicas para tal fin.

Otro factor que se debe tener en cuenta y que ha ayudado al crecimiento de la demanda de productos de fabricación nacional es la crisis de la cadena de suministros, además impulsa a las empresas farmacéuticas nacionales a incursionar en mercados internacionales.

Lo mencionado anteriormente repercute directamente en el medio ambiente, ya que abastecer la creciente demanda de medicamentos implica incrementar los volúmenes de producción, lo que conlleva a incrementar el uso de recurso para los procesos productivos y a su vez el incremento de emisión de gases de efecto invernadero GEI que aportan a la huella de carbono generada por el sector farmacéutico. Se debe mencionar que el sector farmacéutico ha estado fuera de la lupa de los entes reguladores para el control de emisión de GEI, debido en parte a que dichas compañías trabajan en pro del cuidado de la salud de los ciudadanos, sin embargo, los efectos a largo plazo de sus actividades productivas pueden llegar a ser irreversibles.

Aunque el gobierno colombiano no se encuentra ajeno a la lucha contra el cambio climático ha establecido en el plan de desarrollo nacional 2022-2026 el numeral 4 *Transformación productiva, internacionalización y acción climática*, en el cual se reconoce la importancia de establecer un balance entre el desarrollo económico y la sostenibilidad ambiental y social. Se puede

decir que el gobierno colombiano busca estar alineado con los objetivos de desarrollo sostenible, en este caso particular relacionado con el ODS 13 el cual establece la implementación de medidas para combatir el cambio climático. Sin embargo, el sector farmacéutico colombiano se encuentra rezagado en cuanto a las medidas que se deben tomar para combatir el cambio climático, es por eso por lo que este trabajo de investigación toma importancia ya que busca calcular el impacto que genera al medio ambiente una de las compañías farmacéuticas de mayor crecimiento en el país.

Según el plan de negocios del sector farmacéutico colombiano tiene proyectado un crecimiento en ventas de \$14 billones a \$64 billones para el año 2032, siendo este uno de los sectores con mayor oportunidad de crecimiento a largo plazo, este crecimiento también trae consigo un incremento de puestos de trabajo, los cuales pasaran de 48.300 a 98.000 puesto de trabajo para el mismo año 2032. Adicional a esto este sector tiene como objetivo lograr exportaciones por un valor de US \$1.719 millones lo cual es aproximadamente 5 veces más que las exportaciones del año 2020.

Para las compañías del sector farmacéutico colombiano, el cálculo de la huella de carbono asociado con su operación representa un factor diferenciador en la creciente tendencia de producción limpia, ya que, conociendo la huella de carbono, las compañías pueden implementar estrategias para mejorar la eficiencia energética o implementar fuentes de energía limpia.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1. Estado del arte

Como se ha mencionado, actualmente existe una creciente lucha contra el cambio climático, además de entender los impactos que este genera y cómo lograr mitigarlos. Aunque en la literatura se puede encontrar diferentes artículos o estudios relacionados con el cálculo de la huella de carbono y se presentan alternativas amigables con el medio ambiente para garantizar una producción sostenible, son muy pocos los casos de estudio relacionados con el ámbito colombiano.

Para recalcar, uno de los avances más importantes que se ha tenido en el ámbito colombiano, es la implementación de la ley 2169 del 2021, con la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono. Mientras que, a nivel mundial, se establecen principalmente 2 normas ISO con las cuales se evalúa el impacto ocasionado al medio ambiente por la compañía y el impacto ocasionado por los productos, estas normas son la ISO 14064 y la 14067 respectivamente.

Adicional, el Ministerio de Medioambiente y Desarrollo Sostenible colombiano oficializa la resolución 0849 el 5 de agosto del 2022, *“por medio de la cual establece la formulación e implementación de los Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático Territoriales PIGCCT”*.

5.2. Antecedentes

De acuerdo con la literatura relacionada con el cambio climático se encuentra que en el año 2016 se registraron niveles de concentración de CO₂ en la atmósfera equivalente a 400 ppm, siendo esta una concentración no registrada desde la época prehistórica, (Pagani et al., 2009). Son estos niveles altos de CO₂ en el medio ambiente y el uso indiscriminado de recursos naturales, lo que ha llevado a las sociedades actuales a la situación que se enfrentan hoy en día con relación al cambio climático.

Se entiende por cambio climático a cambios en las temperaturas y patrones climáticos, en ocasiones estos cambios están asociados a actividades naturales como erupciones volcánicas o cambio en los ciclos solares, pero es a partir del siglo XIX donde la actividad humana empieza a ser el factor principal de estos cambios, principalmente por la quema de combustibles fósiles que generan gases de efecto invernadero. Se debe recalcar que estos gases no son contaminantes, son los que propician el equilibrio energético de la tierra, ya que estos actúan como barrera y absorben

la radiación emitida por el sol, pero también atrapan la radiación emitida por la superficie terrestre. Para tener una idea de la importancia de los GEI, sin estos la temperatura del planeta se encontraría cerca a los -19°C .

Los gases de efecto invernadero más comunes en la atmósfera terrestre, según se planteó en el protocolo de Kioto en 1997, son dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), ozono (O_3), vapor de agua (H_2O) y gases fluorados. Siendo el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso los principales responsables del cambio climático, debido a su constante incremento en los niveles de concentración. Según el *Boletín de la Organización Meteorológica Mundial sobre los gases de efecto invernadero*, en el año 2021 se alcanzaron nuevos valores máximos en la concentración de dichos gases de efecto invernadero y causantes del cambio climático. De acuerdo con el boletín, las concentraciones de CO_2 , metano y óxido nitroso en el año 2021 alcanzaron valores de 415, 1908 y 334 ppm respectivamente. Lo cual representa un incremento del 149% de CO_2 , 262% de CH_4 y 124% de N_2O en comparación con la época preindustrial.

Se debe mencionar que desde finales del siglo anterior algunos reconocen el cambio climático al que se está enfrentando el mundo y deciden tomar acciones políticas para mitigar los impactos de estos cambios, buscar la restauración y garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. El primer encuentro político en torno al cambio climático sucedió en el año de 1992 en la cumbre para la tierra celebrada en la ciudad de Rio de Janeiro, también conocida como convención de Rio, en esta se definen acciones para regular la concentración de GEI en la atmósfera. Posterior a la convención de Rio, en septiembre de 2015, El Acuerdo de París firmado en 2016 por los países miembros de la ONU establece objetivos a largo plazo para todos los países. Límites de emisión de gases para garantizar que el incremento de la temperatura global no supere los 1.5°C a la temperatura que tenía el planeta previo al inicio de la era industrial. A pesar de estos esfuerzos en búsqueda del buen uso que deben darle las industrias al medio ambiente, estos no han sido éxitos debido a que la concentración de CO_2 en vez de disminuir ha incrementado, según datos de la Agencia de Estados Unidos para la Observación Oceánica (NOAA) la concentración de CO_2 para el año 2022 se estimó en 441 ppm.

Como se mencionó anteriormente, Colombia se ubica en el puesto 43 de los países que más aportan a la huella de carbono, llegando a un valor de 92 Mton CO_2 -eq para el año 2021, mientras que las emisiones globales para el mismo año alcanzaron un valor de 37000 Mton CO_2 -eq. En la cumbre del clima COP 26 realizada en Glasgow, la cual se llevó a cabo a finales del año 2022, el

gobierno colombiano se comprometió a reducir en 51% la emisión de GEI para el año 2030 y para el año 2050 lograr emisiones neutras de CO₂.

Para lograr los niveles de emisiones de CO₂ pactados para los años 2030 y 2050, el gobierno colombiano está tomando medidas en la lucha contra el cambio climático y ha iniciado un seguimiento más riguroso a la huella de carbono generada por los sectores productivos del país e implementación de la ley 2169 del 2021, con la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono. Una de las medidas tomadas fue el diseño del plan nacional de adaptación al cambio climático, plan con el cual el gobierno colombiano busca reducir la vulnerabilidad frente a los impactos del cambio climático además de establecer acciones para lograr los compromisos pactados en el acuerdo de París.

Al plan mencionado, se le debe sumar la *Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono o ECDBC*, con la cual el Ministerio de Medioambiente y Desarrollo Sostenible busca mitigar los efectos del cambio climático y alcanzar la emisión neutra de carbono en el año 2050. Básicamente la ECDBC se fundamenta en la implementación de 2 proyectos de colaboración internacional para promover la producción baja en carbono. El primero de estos proyectos es “Construcción de capacidad para la contribución nacional” y es ejecutado por el *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD*. Por último, el segundo proyecto es “Moviendo la estrategia colombiana de desarrollo bajo en carbono hacia la acción” y hace parte de la iniciativa internacional del clima *IKI*.

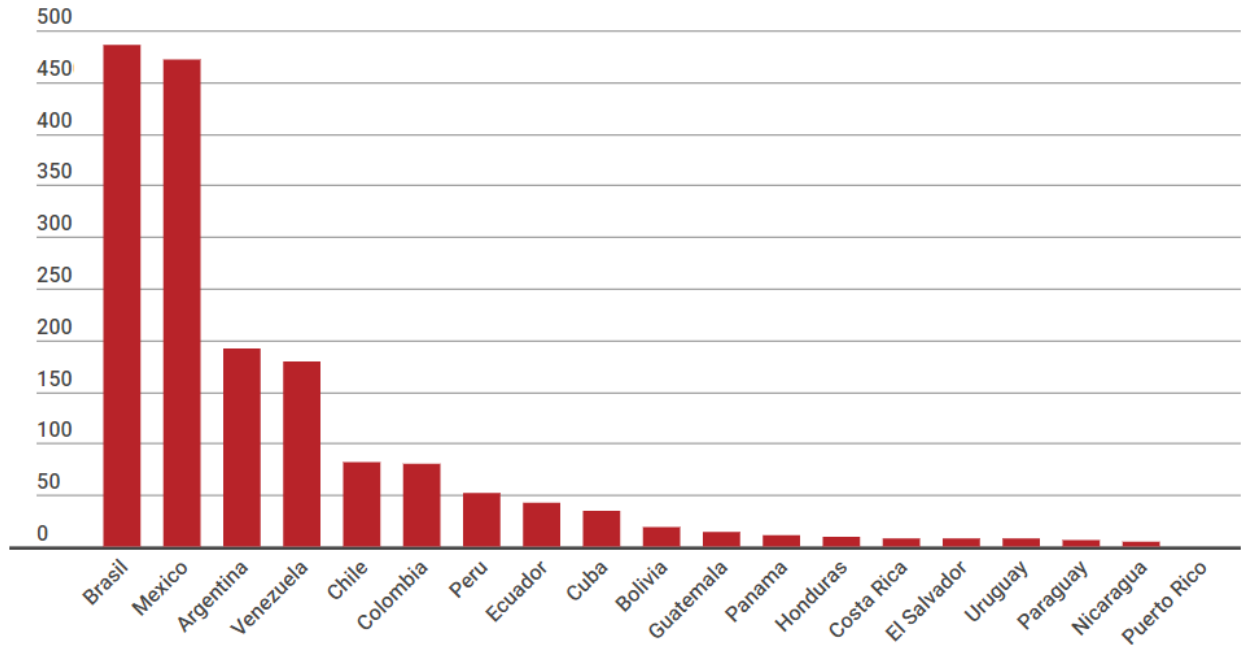
Se debe recalcar que el avance en general de Colombia con la implementación de los objetivos de desarrollo sostenible ha ido en aumento es necesario fortalecer las acciones para lograr su cumplimiento, teniendo en cuenta que ya han transcurrido 8 de los 15 años pactados para su implementación. Con relación a los ODS fijados para el año 2030, los que mayor avance presentan en su implementación son el ODS 12, 14 y 17, mientras que en los que menos se ha logrado avanzar son los ODS 1,2 y 7.

Según reporte de la *Asociación Nacional de Empresarios de Colombia ANDI*, solo el 27% de las empresas colombianas miden la huella de carbono que generan, siendo las metodologías más empleadas para el cálculo la ISO 1464-1, el protocolo GHG y el IPCC.

China, Estados Unidos, India, Rusia y Japón son los 5 primeros países que más aportan a la huella de carbono a nivel mundial. Mientras que, en América latina, Brasil se ubica en el primer lugar seguido de México y Argentina, mientras que Colombia ocupa el 6 lugar y puesto 43 a nivel

mundial en aporte a la huella de carbono. En la Figura 1 se presentan algunos índices reportados en la literatura.

Figura 1 Cantidad de Mton CO2 equivalente.



Fuente: Fundación ProYungas, 2017, Países de América Latina que más CO2 emiten.

5.3. Marco teórico y conceptual.

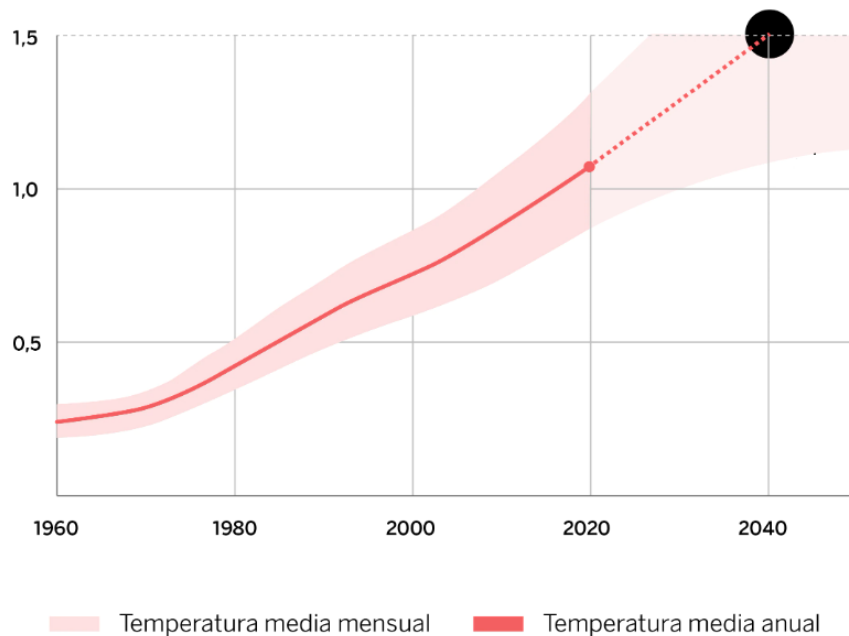
Antes de hablar de la huella de carbono, se debe tomar como punto de partida el concepto de huella ecológica, el cual fue introducido en la década de los 90 en el trabajo doctoral del profesor William E. Rees y el Dr. Mathias Wackernagel, donde definen este concepto como “*la cantidad de naturaleza o recursos para producir los bienes y servicios necesarios para mantener el estilo de vida actual*”. La huella de carbono se puede definir como un indicador ambiental con el cual se cuantifica la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero generados por la actividad humana, ya sea de producción o consumo de bienes y servicios. Esta cantidad de GEI emitidos se expresan, por lo general, en toneladas métricas equivalentes MtonCO₂-eq.

Otro concepto importante que se debe tener en cuenta es el de gases de efecto invernadero, que son los componentes gaseosos de la atmósfera, encargados de atrapar el calor. Los GEI atrapan el

calor liberado, en forma de radiación de onda larga o luz infrarroja, por la superficie de la tierra y la irradian nuevamente a la superficie terrestre, creando así el fenómeno conocido efecto invernadero.

El efecto invernadero es un proceso natural, ya que la mayoría de GEI se producen de manera natural, son estos gases los que mantienen una temperatura promedio del planeta de 15 °C, sin el efecto invernadero la temperatura promedio sería aproximadamente -19 °C. Está claro que los GEI son indispensables para la proliferación de los seres vivos del planeta, pero el aumento de la concentración de estos gases en la atmósfera debido a actividades humanas es lo que impacta negativamente o crea un desbalance entre la energía absorbida y reflejada por la tierra (planeta tierra) lo que conlleva a un forzamiento radiativo positivo (+ E in / -E out) o calentamiento del planeta, también denominado como calentamiento global que lleva consigo el derretimiento de las zonas polares y el aumento del nivel de los océanos. En la figura 2 se puede observar el incremento de la temperatura, en caso de mantenerse la tasa de calentamiento actual, en el año 2040 se alcanzará el valor máximo de 1.5 °C de incremento en la temperatura global.

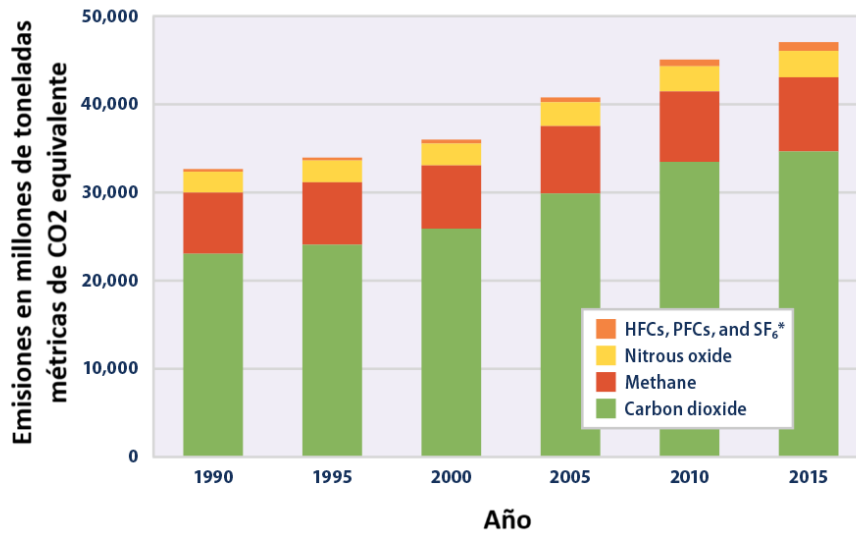
Figura 2. Cantidad de Mton CO2 equivalente.



Fuente: IPCC, 2023, AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023.

El protocolo de Kioto establece límites de emisión para 6 GEI, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆), aunque el vapor de agua es el gas con mayor efecto invernadero, son muy pocas las emisiones humanas que afectan su concentración, por tal motivo no está considerado en el inventario del protocolo de Kioto. En la figura 3 se presenta el incremento de estos GEI en el transcurso del tiempo.

Figura 3. Cantidad de emisión de GEI en la atmosfera.



Fuente: D. Prakash, 2023, A review of problem variants and approaches for electric vehicle charging and location identification.

Los GEI cuentan con diferentes capacidades de absorber la radiación emitida por la tierra, por lo que su impacto en la atmosfera es diferente para cada uno de estos, esta capacidad se denomina potencial de calentamiento global (Global Warming Potential). El GWP es una medida que cuantifica cómo influye un GEI en el calentamiento global en la cual se tienen en cuenta el tiempo que permanece en la atmosfera y su eficiencia para absorber la radiación infrarroja emitida por la Tierra. En la tabla 1 se presentan los factores GWP y GTP en comparación con una cantidad equivalente de CO₂ en un periodo de tiempo determinado estimados por el IPCC.

Tabla 1. Factores de potencial de calentamiento global GWP y potencial de cambio de temperatura global GTP.

Species	Lifetime (Years)	Radiative Efficiency ($W m^{-2} ppb^{-1}$)	GWP-20	GWP-100	GWP-500	GTP-50	GTP-100	CGTP-50 (years)	CGTP-100 (years)
CO ₂	Multiple	$1.33 \pm 0.16 \times 10^{-5}$	1.	1.000	1.000	1.000	1.000		
CH ₄ -fossil	11.8 ± 1.8	$5.7 \pm 1.4 \times 10^{-4}$	82.5 ± 25.8	29.8 ± 11	10.0 ± 3.8	13.2 ± 6.1	7.5 ± 2.9	2823 ± 1060	3531 ± 1385
CH ₄ -non fossil	11.8 ± 1.8	$5.7 \pm 1.4 \times 10^{-4}$	79.7 ± 25.8	27.0 ± 11	7.2 ± 3.8	10.4 ± 6.1	4.7 ± 2.9	2675 ± 1057	3228 ± 1364
N ₂ O	109 ± 10	$2.8 \pm 1.1 \times 10^{-3}$	273 ± 118	273 ± 130	130 ± 64	290 ± 140	233 ± 110		
HFC-32	5.4 ± 1.1	$1.1 \pm 0.2 \times 10^{-1}$	2693 ± 842	771 ± 292	220 ± 87	181 ± 83	142 ± 51	$78,175 \pm 29,402$	$92,888 \pm 36,534$
HFC-134a	14.0 ± 2.8	$1.67 \pm 0.32 \times 10^{-1}$	4144 ± 1160	1526 ± 577	436 ± 173	733 ± 410	306 ± 119	$146,670 \pm 53,318$	$181,408 \pm 71,365$
CFC-11	52.0 ± 10.4	$2.91 \pm 0.65 \times 10^{-1}$	8321 ± 2419	6226 ± 2297	2093 ± 865	6351 ± 2342	3536 ± 1511		
PFC-14	50,000	$9.89 \pm 0.19 \times 10^{-2}$	5301 ± 1395	7380 ± 2430	$10,587 \pm 3692$	7660 ± 2464	9055 ± 3128		

Fuente: IPCC, 2013, AR5 The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

En el año de 1990 el IPCC utilizó el potencial de calentamiento global para comparar el efecto invernadero de los gases en el calentamiento global, mide cuanta energía atrapa cada gas en comparación con el CO₂.

A medida que las sociedades modernas se van haciendo más conscientes del cambio climático y sus efectos, algunas empresas líderes empezaron a calcular su huella de carbono y dar a conocer el impacto ambiental asociado a sus actividades. La huella de carbono corporativa agrupa la emisión de GEI en 3 alcances que son, emisiones directas, emisiones indirectas por consumo de energía y otras emisiones indirectas.

En este proyecto de investigación, la compañía de estudio se encuentra en la Clasificación Industria Internacional Uniforme (CIIU) 2100, la cual corresponde a la fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico. En Colombia se cuenta con la cámara de la industria farmacéutica de la ANDI creada en 1993, la cual representa a los laboratorios farmacéuticos nacionales y multinacionales y a los productores de suplementos dietarios.

Otra temática importante que se debe abordar en el desarrollo de este trabajo son las metodologías que existen actualmente para la medición de la huella de carbono, entre las 3 más empleadas se encuentran: Protocolo GHG, es un estándar internacional que proporciona normas,

guía de buenas prácticas y lineamientos para el cálculo de la huella de carbono. Es el método más utilizado por las compañías para el cálculo de la huella de carbono.

La otra metodología es la norma ISO 14064, es un estándar internacional que proporciona un marco riguroso y confiable para cuantificar, monitorear y verificar las emisiones de GEI a nivel organizacional. Se divide en tres partes principales, ISO 14064-1 se enfoca en los inventarios de gases de efecto invernadero a nivel organizacional y establece directrices para gestionar y reportar inventarios de GEI, ISO 14064-2 se centra en la cuantificación y reporte de las reducciones de emisiones de GEI en proyectos y por último la ISO 14064-3 proporciona un marco riguroso para asegurar calidad y la integridad de los reportes.

Por último, se encuentra la metodología PAS 2060:2014, la cual es una norma elaborada por la institución de estandarización británica, siendo una herramienta para cuantificar la emisión de gases de efecto invernadero y establece las bases para que una organización realice el cálculo de las emisiones y pueda conseguir la neutralidad a través de la cuantificación, reducción y compensación de emisiones.

Un concepto que se debe tener muy claro es el de cambio climático que, según la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático (CMNUCC), lo define como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana. Por otra parte, los gases de efecto invernadero (GEI) son los componentes gaseosos de la atmósfera que absorben la radiación terrestre emitida por la superficie de la tierra y la atrapan en la atmósfera (Barlasina et al., 2021). La cantidad de estos gases de efecto invernadero emitidos a la atmósfera pueden ser cuantificados por el indicador ambiental de huella de carbono, la cual representa la totalidad de los gases de efecto invernadero emitidos por el ser humano y expresado en toneladas equivalentes de CO₂. A nivel organizacional se puede identificar dos tipos de huella de carbono, una es la corporativa y la otra la del producto. La huella de carbono corporativa mide las emisiones de GEI de todas las actividades que lleva a cabo una organización. Por otra parte, la huella de carbono del producto mide los gases de efecto invernadero emitidos durante el ciclo de vida del producto o servicio.

Se crea en el año de 1988 el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, el cual reconoce científicamente la problemática del calentamiento global y establece una serie de acuerdos internacionales para exponer la problemática y comprometer a los países desarrollados y subdesarrollados a disminuir sus emisiones de gases de efecto invernadero.

En 1992 la Convención de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMNC) se dio a conocer la preocupación de que las actividades humanas han ido aumentando sustancialmente las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Plantea como objetivo la estabilización de los GEI, para lo cual todas las partes deberán elaborar inventarios de las emisiones de y publicarlos periódicamente.

Protocolo de Kioto (1997). Tiene como objetivo la limitación de emisiones netas de gases de efecto invernadero para los principales países desarrollados y con economías en transición. Compromete a los países desarrollados a que reduzcan las emisiones de GEI en no menos de 5%.

6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se describe la metodología de investigación a utilizar durante el desarrollo del proyecto.

6.1. Descripción de cómo abordar el objetivo específico 1

Para dar cumplimiento al primer objetivo específico se debe conocer el mapa de proceso de la compañía de estudio para posteriormente realizar levantamiento de los sistemas involucrados en los procesos productivos de la compañía. Luego se genera listado con los procesos que más aportan a la huella de carbono.

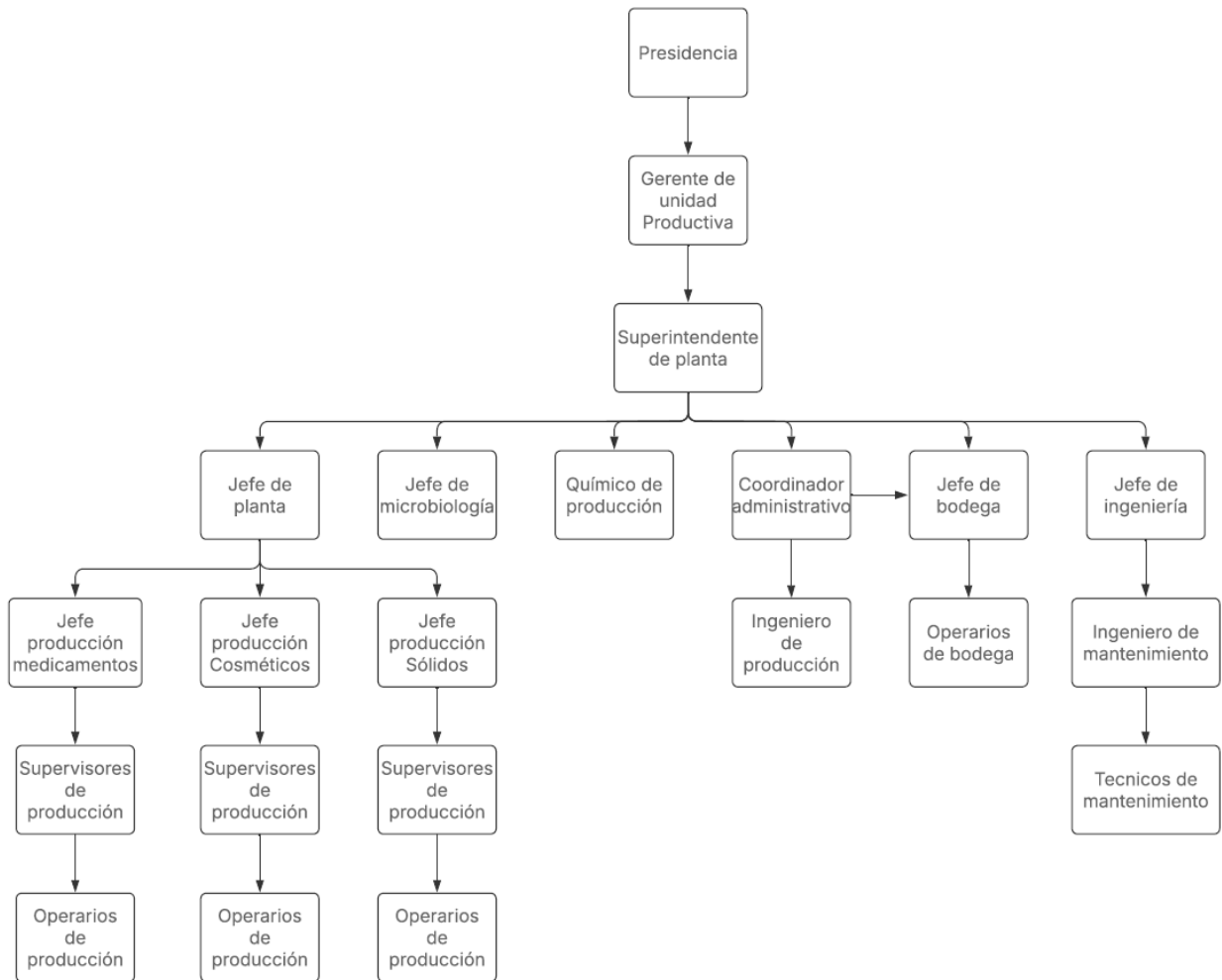
Para lograr clasificar las fuentes de emisión operacional de la compañía ABC que aportan a la huella de carbono, se debe identificar inicialmente cómo está constituida es la cadena productiva de la compañía en estudio para posteriormente realizar el inventario de equipos y actores que influyen en la huella de carbono.

La compañía se encuentra clasificada bajo el criterio de la Clasificación de Industria Internacional Uniforme como CIU 2100, que corresponde a las industrias encargadas de la fabricación de productos farmacéuticos, sustancias químicas medicinales y productos botánicos de uso farmacéutico. La industria farmacéutica colombiana se encuentra en un proceso constante de crecimiento e innovación siendo un actor importante en el desarrollo económico y social.

La compañía ABC realiza sus procesos productivos por baches, es decir, la cantidad total de materia prima se introduce al sistema al comienzo del proceso, teniendo como resultado la cantidad total de producto luego de transcurrir un tiempo determinado y a condiciones establecidas. Para el proceso productivo la compañía cuenta con instalaciones construidas en el año 2021 y certificada por el INVIMA, en las instalaciones de planta se encuentran instalados los diferentes equipos que se involucran en la fabricación de productos y los equipos que se emplean para garantizar las condiciones ambientales de las áreas de producción.

A continuación, se dará una descripción más detallada de la compañía. La compañía farmacéutica ABC cuenta con aproximadamente 170 empleados, entre operarios y personal administrativos, presenta una estructura organizacional línea, ya que cuenta con una jerarquía y unidad de mando establecida, como se puede observar en la figura 4.

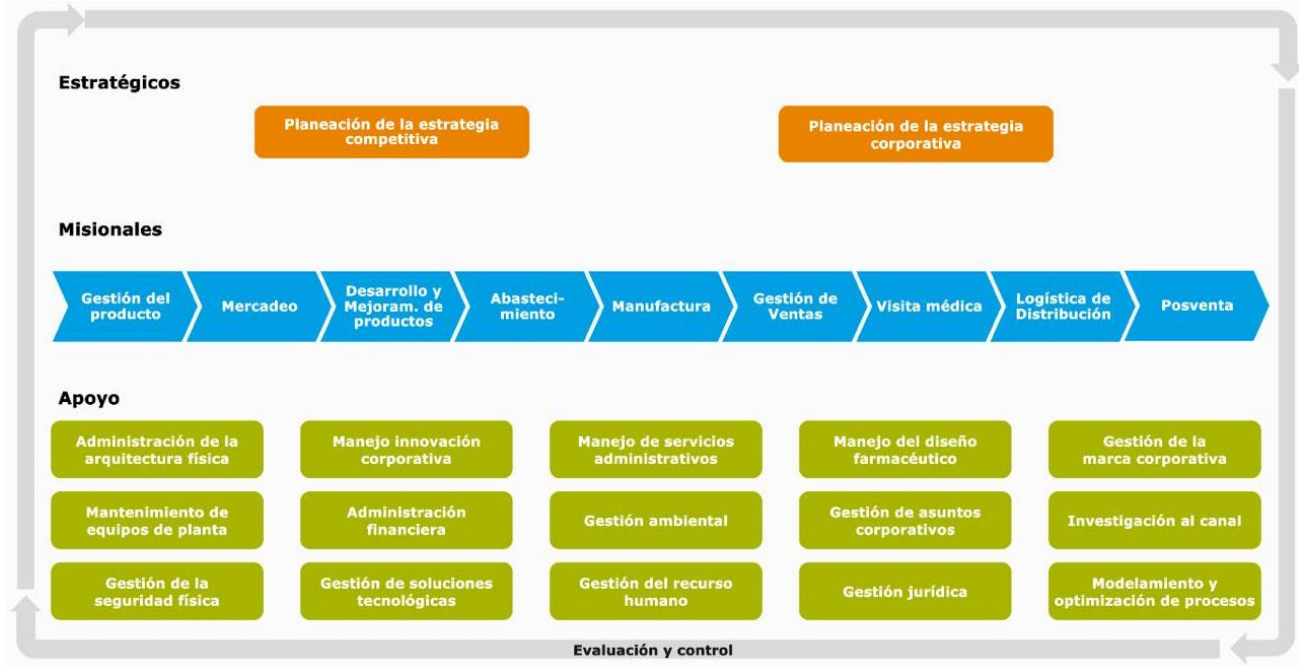
Figura 4. Organigrama de la compañía ABC.



Fuente: Propia.

Con la estructura organizacional presentada, la compañía buscar dar cumplimiento a las regulaciones nacionales establecidas para la producción de cremas cosméticas, farmacéuticas y talco, teniendo como base el mapa de procesos que se presenta en la figura 5.

Figura 5. Mapa de proceso de la compañía ABC.



Fuente: Compañía farmacéutica ABC, 2023, Mapa de proceso.

El mapa de procesos presentado en la figura anterior presenta una visión integral de las actividades clave de la compañía farmacéutica ABC, organizadas en tres niveles jerárquicos: estratégico, misionales y de apoyo. Los procesos del nivel estratégico se enfocan en la dirección y planificación a largo plazo de la compañía, fundamentales para definir el rumbo de la compañía y garantizar su sostenibilidad en el mercado. Mientras que los procesos del nivel misional representan el flujo principal de actividades centrales del negocio, aquellos que generan valor para el cliente. Por último, los procesos del nivel de apoyo son aquellos que brindan soporte y facilitan los procesos misionales.

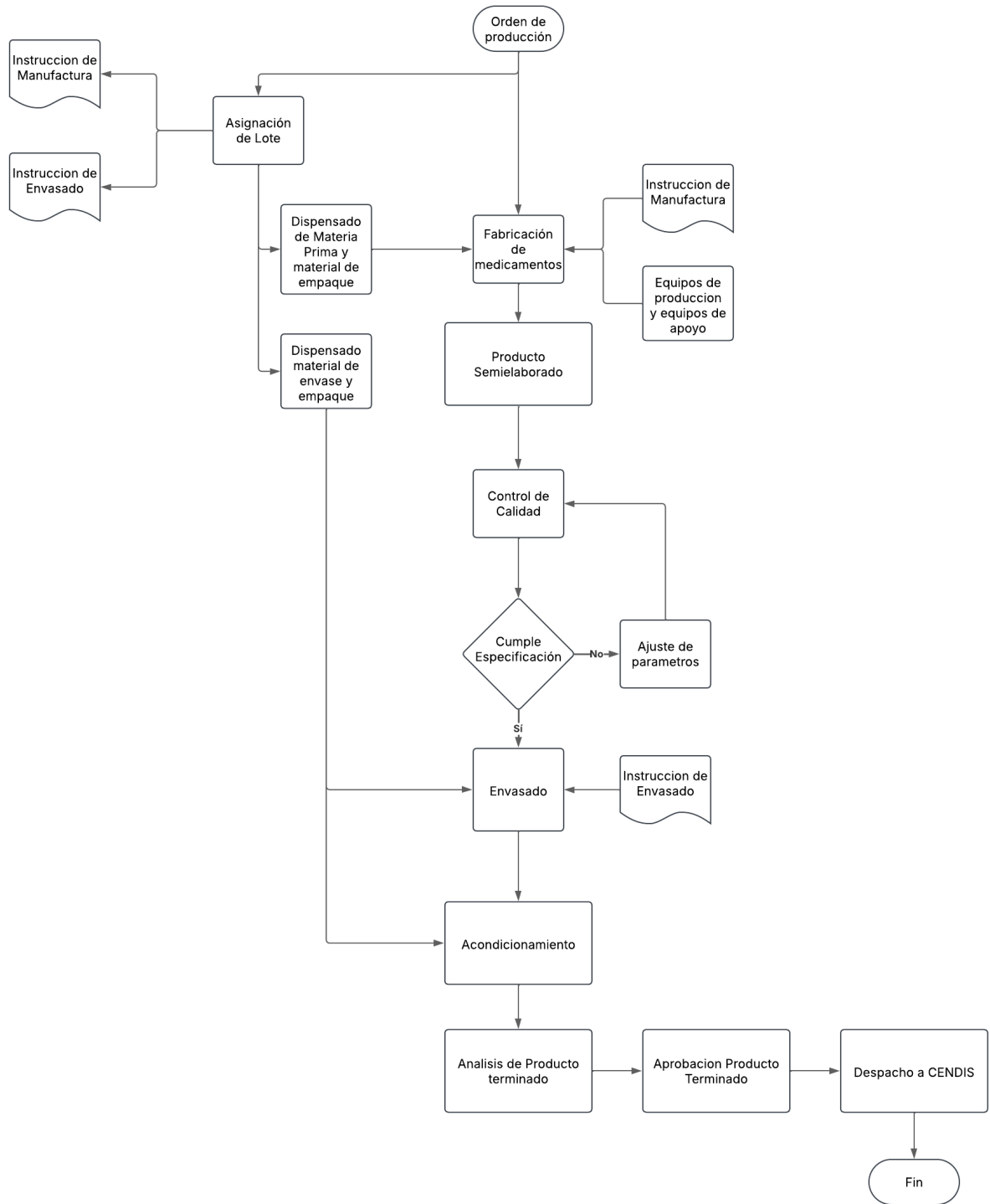
El proceso de producción de cremas cosméticas y farmacéuticas es muy similar, difiriendo básicamente en el propósito y regulaciones. Las cremas farmacéuticas contienen ingredientes activos farmacéuticos, también conocidos como API (Active Pharmaceutical Ingredient), a diferencia de las cremas cosméticas que no contienen API. Las cremas farmacéuticas, al ser medicamentos, se encuentran sujetas a estrictas regulaciones que garanticen la calidad e inocuidad de los productos, para el caso de la compañía ABC, esta se encuentra certificada por el INVIMA para la fabricación de productos farmacéuticos y cosméticos.

A continuación, se dará una descripción del proceso de fabricación de cremas farmacéuticas y cosméticas para posteriormente presentar el diagrama de flujo de estos procesos.

El proceso de producción inicia con la emisión de una orden de producción, en la cual se detalla el tipo de producto y la cantidad que se debe fabricar. Con la orden de producción se genera el lote del producto a fabricar, se clasifican las materias primas, el material de envase y empaque, además se generan las instrucciones de manufactura y envase. La materia prima dispensada se debe mezclar en los equipos de producción de acuerdo a la instrucción de manufactura emitida, una vez se finaliza la instrucción de manufactura se obtiene el producto semielaborado, al cual se le realizan pruebas de calidad. Una vez aprobadas las pruebas de calidad se continúa con el proceso de envasado del producto semielaborado. La etapa final de este proceso es el acondicionamiento, que consiste en etiquetar y codificar el producto terminado, este producto debe ser aprobado para poder ser despachado al centro de distribución (CENDIS).

En la figura 6 se presenta el diagrama de flujo de fabricación de los productos de la compañía farmacéutica ABC. Teniendo en cuenta este diagrama, el siguiente paso es identificar los puntos de emisión de los sistemas requeridos para la producción de cremas farmacéuticas, cosméticas y talco, para posteriormente realizar el inventario de equipos de la compañía.

Figura 6. Diagrama de flujo de producción de la compañía ABC.

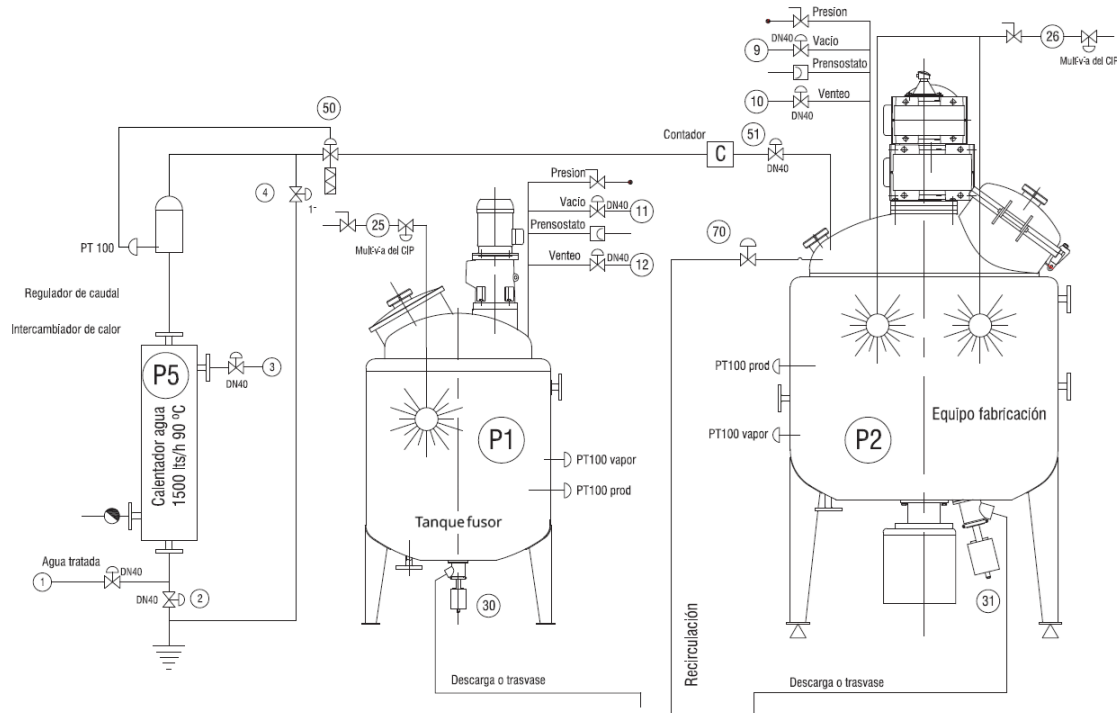


Fuente: propia.

Se define como crema a una sustancia líquida o semisólida que son utilizadas para el tratamiento de afecciones cutáneas, en el caso de cremas medicadas, o para mejorar la apariencia estética de la piel en caso de las cremas cosméticas. Como se mencionó anteriormente, las cremas farmacéuticas contienen API los cuales tienen un efecto terapéutico específico, a diferencia de las cremas cosméticas que no contienen API y en caso de tenerlos son de propósito estético o de cuidado general de la piel.

Los principales equipos empleados para la fabricación de cremas son los reactores para fabricación, también conocido como mezclador emulsionador. Estos equipos realizan diversas funciones como: mezcla, calentamiento, enfriamiento, homogenización, necesarias para la producción eficiente y estandarizada de cremas.

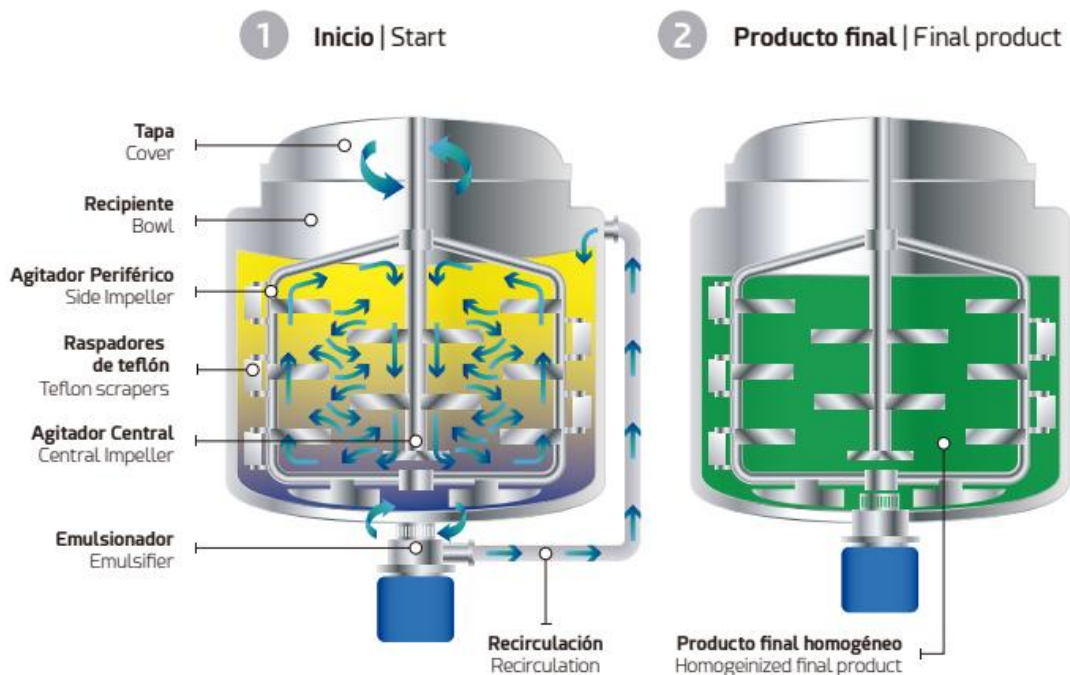
Figura 7. Diagrama de flujo de producción de la compañía ABC.



Fuente: Inoxpa, 2010, Fabricación de cremas.

En la figura 7 se presenta diagrama del proceso de fabricación de cremas, en primer lugar, se funden las materias primas oleosas en el *tanque fusor*, mientras que el *equipo de fabricación* se alimenta con agua purificada y se calienta hasta 80°C, una vez la mezcla del tanque fusor es homogénea se procede a trasegarla al *equipo de fabricación* por medio de vacío, la temperatura en el *tanque fusor* y el *equipo de fabricación* debe ser similar, cuando se incorpora todo el material oleoso fundido al *equipo de producción* se debe agitar el producto por un tiempo determinado establecido en la instrucción de manufactura, luego de este tiempo de agitación y posterior homogenización se enfría el producto para adicionar los API, en la figura 8 se puede observar la etapa inicial del proceso de fabricación, donde se observa las materias primas disueltas de forma no homogénea, una vez se finaliza el proceso de producción se tiene una mezcla homogénea. Al producto final o semielaborado se le realizan pruebas de calidad para que sea aprobado y continuar con el proceso de envasado.

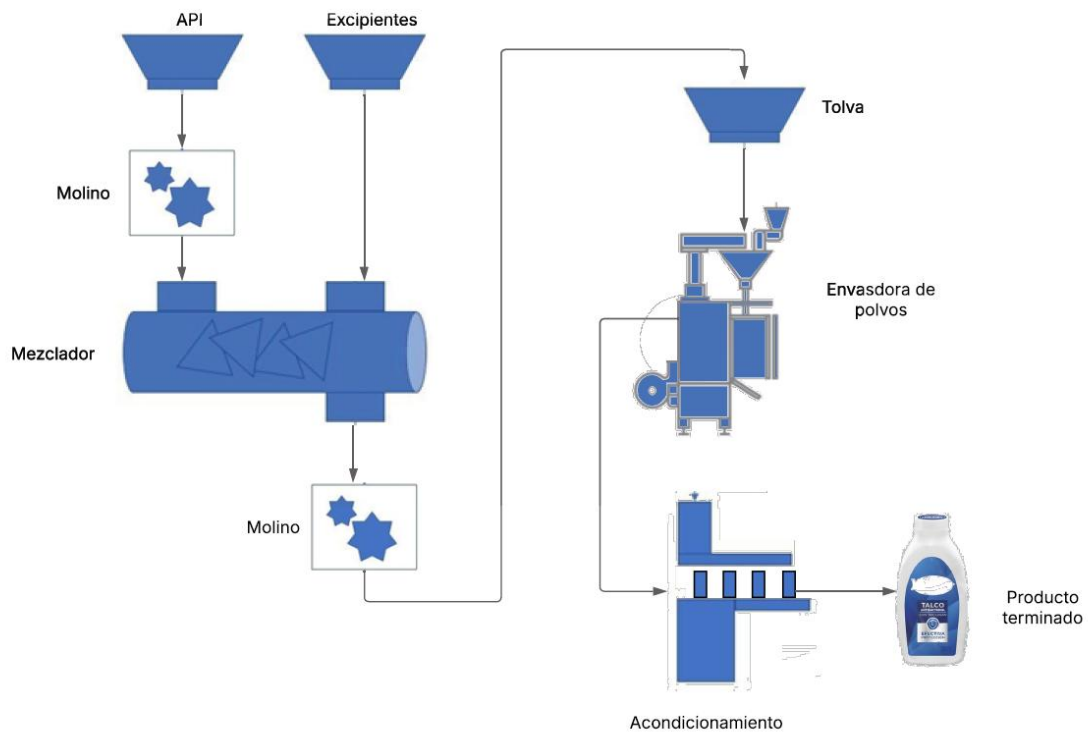
Figura 8. Etapa inicial y final del proceso de fabricación de cremas.



Fuente: PAT Group, 2002, Mezclador emulsificador contrarrotante.

El otro producto fabricado por la compañía ABC es el talco medicinal, en este proceso las materias primas son todas solidas o secas. Inicialmente las materias primas son sometidas a un proceso de molienda para garantizar un tamaño de grano o granulometría uniforme, posteriormente se combinan en un granulado horizontal con los API con lo cual se garantiza una mezcla y tamaño de partícula uniforme. Al finalizar el proceso de mezcla se realiza un segundo proceso de molienda para posteriormente realizar pruebas de calidad y continuar con el envasado del producto y finalmente el acondicionamiento de este. En la figura 9 se presenta el diagrama del proceso de producción de talco.

Figura 9. Diagrama de proceso de fabricación de talco medicinal.



Fuente: Propia

Luego de conocer los procesos operativos de la compañía, el siguiente paso es clasificar las fuentes de emisión operacional que aportan a la huella de carbono, se realizará una identificación de los tipos de emisiones generadas por sus actividades. Esto incluirá la distinción entre emisiones directas (alcance 1), que son aquellas provenientes de fuentes propias de la compañía como la combustión de gas natural, consumo de combustible. y emisiones indirectas (alcance 2), asociadas a la generación de energía eléctrica consumida por la compañía. En una etapa posterior, y como recomendación para futuras investigaciones (si el alcance actual se centra solo en CO2 directo), se considerarían las emisiones indirectas adicionales (Alcance 3), que son consecuencia de las actividades de la organización, pero ocurren en fuentes que no son de su propiedad ni están controladas por ella (por ejemplo, las emisiones asociadas a la producción de materias primas, el transporte de productos, los viajes de empleados, etc.).

Por ultimo y no menos importante, se identificarán los puntos críticos de emisiones, esta identificación se realizará mediante el análisis del mapa de procesos de la compañía y el levantamiento de los sistemas involucrados. Al conocer los flujos energéticos y los consumos en cada proceso, se podrán determinar aquellos subprocesos o equipos que contribuyen de manera más significativa a la generación de emisiones de CO2 (y potencialmente otros GEI en una ampliación del estudio). Se analizarán los datos de consumo energético (kWh de electricidad, m³ de gas natural, galones de ACPM) por área o proceso para identificar las áreas con mayor demanda energética y, por lo tanto, mayor potencial de emisión. Asimismo, se considerará la eficiencia de los equipos y procesos para identificar oportunidades de mejora en los puntos críticos.

Como se mencionó en párrafos anteriores, para que una compañía pueda producir medicamentos debe estar certificada por un ente externo que verifica el cumplimiento de los estándares y normativas establecidas en Colombia para la producción de medicamentos. Para este caso, la planta de producción fue certificada por el INVIMA en el año 2021, luego de validar que todos los procesos y equipos de la planta se encuentran calificados y validados. Por lo mencionado anteriormente, no es viable realizar modificaciones a los parámetros de operación de los equipos de producción, ya que esto tendría como consecuencia una revalidación de los procesos y debe notificarse a INVIMA para que estos realicen una nueva certificación.

Para la correcta identificación y cuantificación de las fuentes de emisión de la compañía Farmacéutica ABC, se considera fundamental la identificación de los actores relevantes

involucrados en los procesos productivos y administrativos. Estos actores son clave para la recopilación de datos de actividad y la comprensión de los flujos energéticos. El inventario inicial de actores relevantes incluye:

- **Departamentos de la compañía farmacéutica ABC:**
 - **Producción:** Responsable de los procesos directos de fabricación, formulación, llenado, envasado, etc., donde se concentra gran parte del consumo energético.
 - **Mantenimiento:** involucrado en el funcionamiento y la eficiencia de los equipos productivos y de infraestructura (calderas, sistemas HVAC, etc.).
 - **Logística y distribución:** responsable del transporte de materias primas y productos terminados, asociado al consumo de combustible.
 - **Administración:** responsable del consumo energético en oficinas, iluminación, equipos de oficina, etc.
 - **Compras:** involucrado en la adquisición de materias primas, energía y otros insumos con una huella de carbono asociada (emisiones indirectas - Alcance 3, a considerar en futuras ampliaciones).
 - **Gestión ambiental:** responsable del seguimiento y la gestión de los aspectos ambientales de la compañía.

- **Roles específicos:**
 - **Jefes de producción:** Pueden proporcionar información detallada sobre los procesos y el consumo energético de los equipos.
 - **Responsables de mantenimiento:** Tienen información sobre el funcionamiento y la eficiencia de los equipos.
 - **Responsables de logística:** Disponen de datos sobre el consumo de combustible de la flota vehicular.
 - **Administradores de edificios/instalaciones:** Pueden proporcionar datos sobre el consumo energético de las áreas administrativas.

- **Contabilidad/finanzas:** Pueden tener registros de facturas de energía y combustible.

La colaboración y la recopilación de información de estos actores serán cruciales para obtener datos precisos sobre el consumo energético y las actividades que generan emisiones dentro de la compañía.

En el anexo 1, se presentan todos los equipos con los que cuenta la compañía farmacéutica ABC para garantizar su adecuada operación. Para evaluar el consumo energético de los equipos en primer lugar se realiza una clasificación teniendo en cuenta el proceso productivo al que pertenece, como resultado de esto se obtienen las 4 clasificaciones siguientes.

- Equipos para producción de medicamentos.
- Equipos para producción de cosméticos.
- Equipos para producción de talco.
- Equipos de apoyo crítico.

Para conocer el consumo eléctrico de los equipos se realizan 5 mediciones del consumo de corriente de cada equipo, estos datos obtenidos se comparan con los valores de placa del equipo para garantizar que concuerden entre sí. Con las 5 mediciones de corriente realizada, se calcula el promedio de estos, una vez se tiene el promedio de consumo de corriente por equipo, se hace uso de la fórmula 1 para realizar el cálculo de la potencia promedio consumida por cada uno de los equipos.

Fórmula 1 Cálculo para estimar la potencia eléctrica consumida.

$$\text{Potencia Electrica Trifasica} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi$$

Una vez calculada la potencia de cada equipo, con ayuda del histórico de datos de producción se obtiene obtener un tiempo productivo por mes para cada equipo y con estos dos datos se obtiene el consumo en kWh por mes. En la tabla 2 se presenta el consumo eléctrico de cada uno de los procesos productivos.

Tabla 2. Consumo eléctrico de proceso productivos de la compañía ABC.

Área de Producción	Consumo energético KWh/mes	Porcentaje de consumo
Equipos Apoyo Critico	191,944	66%
Equipos Medicamentos	46,051	16%
Equipos Talco	9,014	3%
Equipos Cosméticos	45,350	15%
Consumo Total	272,164	100%

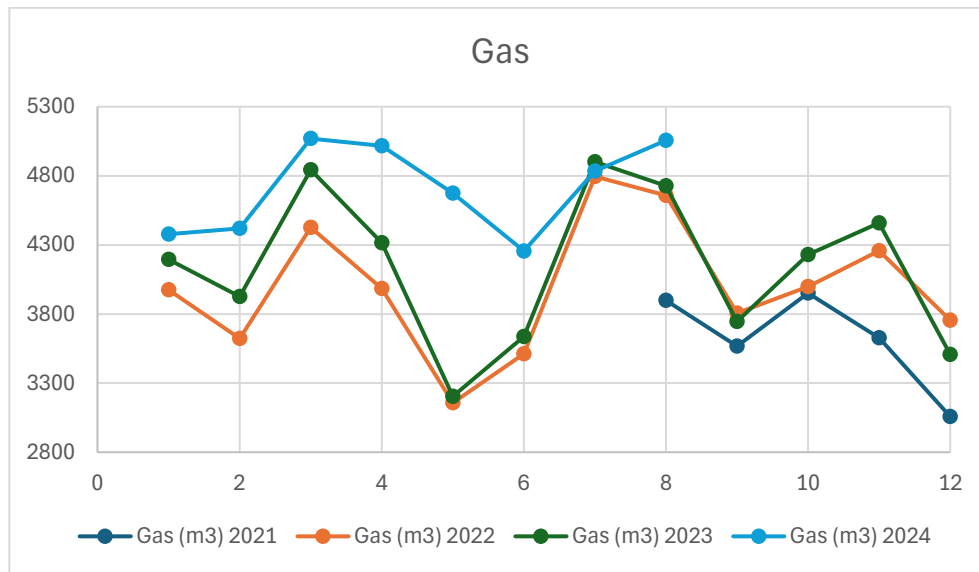
Fuente: Propia

De los resultados obtenidos se identifica que los equipos que presentan mayor consumo energético son los equipos de apoyo crítico, en especial el sistema HVAC.

Otras fuentes de emisión de GEI que aportan a la huella de carbono de la compañía son los procesos de generación de vapor y agua purificada, suministros necesarios para los procesos productivos. Para generación de vapor se cuenta con una caldera de 150 bhp, este equipo consume en promedio 4000 m³ por mes por lo cual se puede pensar que genera un aporte significativo a la huella de carbono.

En la figura 10 se presenta el comportamiento del consumo de gas natural utilizado para la operación de la caldera. y en tabla 3 se presenta el consumo en m³ de gas natural empleado para la operación de la caldera

Figura 10. Consumo de gas natural.



Fuente: Propia

En la tabla 3 se puede observar los datos registrados por la compañía desde el inicio de su operación relacionados con el consumo de gas natural. Se cuenta con un total de 37 datos, de los cuales se puede decir que en los meses iniciales se presenta un bajo consumo, seguido por un pico de consumo, el cual corresponde a un alza en la producción. A mitad de año se presenta nuevamente baja producción lo que conlleva a baja demanda de vapor y en consecuencia bajo consumo de gas natural. Durante el año se puede observar 2 periodos de alto consumo y 2 periodos de bajo consumo de gas natural. En promedio la compañía consume mensualmente 4.100 m³ de gas natural.

Tabla 3. Consumo de gas natural de la compañía farmacéutica ABC.

	Gas (m3)			
	2021	2022	2023	2024
Enero		3975	4194	4377
Febrero		3624	3926	4420
Marzo		4427	4844	5069
Abril		3985	4315	5016
Mayo		3157	3204	4675
Junio		3512	3637	4256
Julio		4795	4901	4835
Agosto	3899	4657	4727	5055
Septiembre	3568	3805	3745	
Octubre	3951	3997	4230	
Noviembre	3627	4257	4458	
Diciembre	3058	3754	3508	

Fuente: Propia

El otro proceso que aporta a la huella de carbono de la compañía ABC, aunque no se incluye en los alcances de las emisiones del protocolo GHG, es el de generación de agua purificada, para este proceso solo se tendrá en cuenta el consumo de agua ya que los demás elementos que intervienen en este proceso ya se encuentran inventariados en los equipos eléctricos. El consumo promedio mensual de agua es de 682 m3 aproximadamente, en la tabla 4 se presenta los datos registrados por la compañía de consumo de agua durante 37 meses de operación.

Tabla 4. Consumo de agua de la compañía farmacéutica ABC.

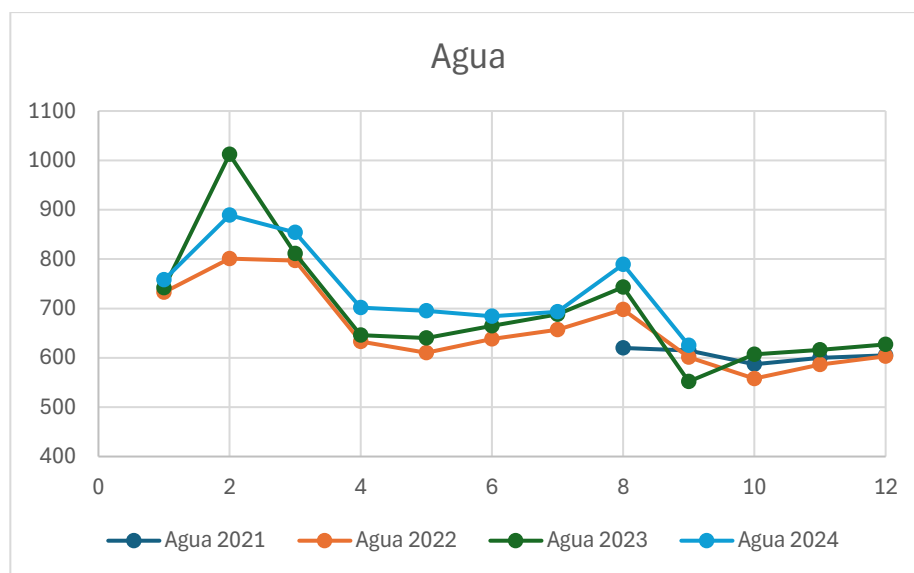
	Agua			
	2021	2022	2023	2024
Enero		733	742	758
Febrero		801	1012	889
Marzo		797	811	854
Abril		633	646	702
Mayo		610	640	695
Junio		638	665	684
Julio		657	688	693
Agosto	620	698	743	789
Septiembre	615	601	552	625

Octubre	587	558	607	
Noviembre	600	586	616	
Diciembre	605	603	627	

Fuente: Propia

El agua es suministrada por la empresa prestadora de servicios públicos del departamento del Cauca. Para el territorio colombiano se tiene establecido un factor de emisión de 0,1427 kg CO₂/m³ de agua consumida (Rodríguez, C., 2020). En la figura 11 se presenta el comportamiento del consumo de agua, en el cual se puede observar un comportamiento similar durante los últimos 3 años. Se presenta un alto consumo de agua en el segundo mes del año, esto como consecuencia del inicio de producción anual. Posterior a este alto consumo elevado de agua, se presenta un consumo constante hasta los meses 6-7 del año y finalmente se da un consumo alto de agua en el 8 mes del año. Este último incremento corresponde al aumento del volumen de producción que la compañía programa para los últimos 3 meses del año, con el fin de garantizar la demanda de fin de año y principios del año siguiente.

Figura 11. Consumo de agua.



Fuente: Propia.

Por último, el transporte de materia prima, producto terminado, personal operativo y administrativo también tienen un aporte importante a la huella de carbono de la compañía. La compañía cuenta con 4 buses destinados para el transporte del personal, sin embargo, algunos colaboradores optan por transportarse en vehículo particular. En la tabla 5 se presentan las rutas con las que dispone la compañía para el transporte del personal y la distancia asociada a cada una de estos recorridos.

Tabla 5. Distancia de recorridos de transportes de personal de la compañía ABC.

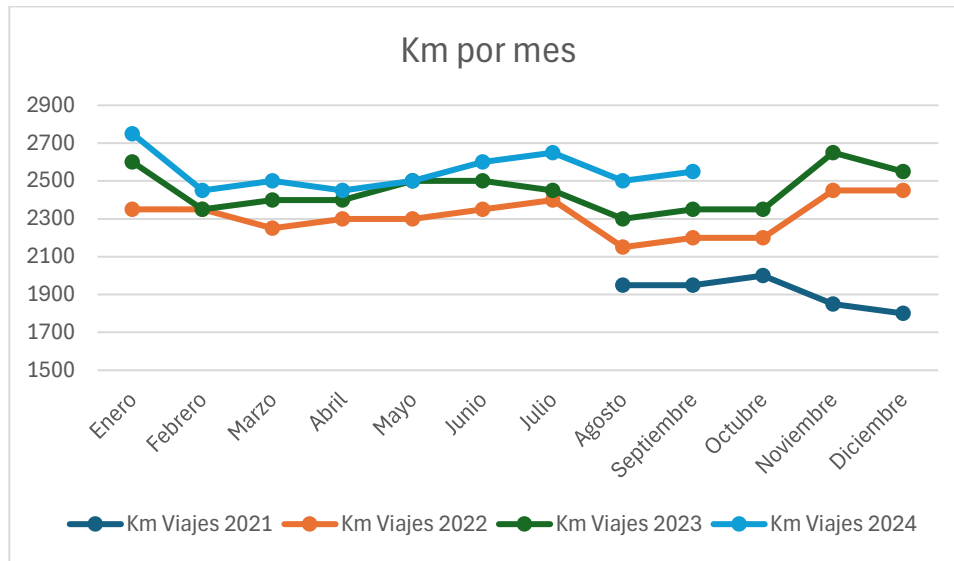
Ruta	Distancia por trayecto	
Jamundí - ABC	20	Km
Santander - ABC	25	Km
Cali - ABC	47	Km
Cali - ABC	59	Km

Fuente: Propia

Con los datos presentados en la tabla anterior se obtienen que en promedio los vehículos destinados por la compañía para transporte del personal recorren en promedio por mes 7250 km. Otro medio de transporte que utilizan los empleados es el vehículo particular, aproximadamente 8 colaboradores que viven en Cali hacen uso de este medio de transporte, en promedio estos vehículos recorren 1500 km en promedio por mes. Adicional a estos medios de transportes para la operación de la compañía también se requieren vehículos para transportar la materia prima desde el centro de distribución (CENDI) a las instalaciones de la compañía y de igual manera transportar el producto terminado desde la compañía hacia el CENDI, este trayecto es de 50 km aproximadamente y en promedio se realizan 50 viajes por mes lo que se traduce a una distancia recorrida de 2340 km.

En la figura 12 se presenta el comportamiento de km recorridos asociados al transporte de materia prima y producto terminado.

Figura 12. km recorridos por vehículos para transportar materia prima y producto terminado.



Fuente: Propia.

La utilización de estos vehículos tiene asociado la emisión de GEI que aportan a la huella de carbono, la cantidad de emisión de estos vehículos depende del tipo de combustible, ya que cada combustible tiene asociado su propio factor de emisión de CO₂.

6.2. Descripción de cómo abordar el objetivo específico 2

Una vez identificado los sistemas involucrados en los procesos productivos y cuáles son los que más aportan a la huella de carbono, se cuantifica la emisión de GEI emitidos por cada uno de estos sistemas. Para medir la huella de carbono, se debe identificar y seleccionar la metodología acorde con la compañía a evaluar. Finalmente, y dependiendo de la metodología seleccionada, se obtiene como resultado la huella de carbono de la compañía farmacéutica de estudio.

Para el cálculo de la huella de carbono se emplearán los lineamientos del protocolo GHG. En este protocolo se categorizan las emisiones en Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3. El protocolo GHG cuenta con un estándar corporativo para empresas y ONG en el cual solo se incluye el análisis hasta los alcances 1 y 2. La secuencia de pasos para aplicar el estándar corporativo del protocolo GHG son las siguientes.

- I. Planeación y alcance del inventario.
- II. Identificación y cálculo de emisiones.

- III. Interpretación y reporte de resultados.
- IV. Toma de acciones para la reducción de las emisiones.

A continuación, se describe el proceso para realizar el cálculo de la huella de carbono de la compañía ABC.

6.2.1. Estudio comparativo de metodologías para el cálculo de la huella de carbono.

Para identificar la metodología más adecuada para el cálculo de la huella de carbono de la compañía Farmacéutica ABC, se llevó a cabo un estudio comparativo de diversas metodologías reconocidas a nivel internacional. Se analizaron los siguientes métodos:

- Listado de los Métodos Analizados:
 - GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol)
 - ISO 14064 (Norma Internacional para la Cuantificación y el Informe de las Emisiones y Remociones de Gases de Efecto Invernadero)
 - PAS 2050 (Especificación para la evaluación del ciclo de vida de las emisiones de gases de efecto invernadero de bienes y servicios).

Para realizar la comparación, se definieron una serie de criterios relevantes para el contexto de este estudio y la compañía Farmacéutica ABC. Estos criterios fueron:

- Alcance: (Organización vs. Producto/Servicio)
- Nivel de Detalle Requerido: (Simplicidad vs. Complejidad)
- Requerimientos de Datos: (Facilidad de obtención de la información necesaria)
- Aplicabilidad al Sector Farmacéutico: (Relevancia de las categorías de emisión)
- Reconocimiento y Credibilidad: (Aceptación a nivel internacional y en el sector)
- Flexibilidad y Adaptabilidad: (Capacidad para ajustarse a las características de la empresa)
- Costos de Implementación: (Recursos necesarios para aplicar la metodología)

La evaluación de cada metodología frente a estos criterios se presenta en la siguiente matriz de selección:

Tabla 6. Matriz de selección de metodologías para el cálculo de la huella de carbono.

Criterio	PROTOCOLOS			
	GHG Protocol	ISO 14064	PAS 2050	ISO 14064
Alcance	Organización (Alcance 1, 2 y 3)	Organización (Alcance 1, 2 y 3) y Proyectos	Producto/Servicio (Ciclo de Vida)	Producto (Ciclo de Vida)
Nivel de Detalle Requerido	Alto (flexible, permite diferentes niveles de detalle)	Medio a Alto (depende de la aplicación y los objetivos)	Alto (requiere análisis detallado del ciclo de vida)	Alto (requiere análisis detallado del ciclo de vida del producto)
Requerimientos de Datos	Medio a Alto (requiere datos de actividad y factores de emisión)	Medio a Alto (similar al GHG Protocol)	Alto (requiere datos detallados de todas las etapas del ciclo de vida)	Alto (requiere datos detallados del ciclo de vida del producto)
Aplicabilidad al Sector	Alto (ampliamente aplicable a organizaciones de diversos sectores)	Alto (norma general, aplicable a cualquier organización)	Medio (más enfocado en productos, adaptable con esfuerzo a organizaciones)	Medio (específico para productos, menos directo para la organización)
Reconocimiento y Credibilidad	Muy Alto (estándar global de facto)	Alto (norma internacional reconocida)	Medio a Alto (reconocido, especialmente en el Reino Unido)	Medio (norma ISO específica para huella de producto)
Flexibilidad y Adaptabilidad	Alto (permite definir límites organizacionales y operacionales)	Alto (flexible en su aplicación y alcance)	Medio (más estructurado en el análisis del ciclo de vida)	Medio (específico para productos)
Costos de Implementación	Medio a Alto (depende del alcance y nivel de detalle)	Medio a Alto (similar al GHG Protocol)	Alto (requiere análisis LCA detallado)	Alto (requiere análisis LCA detallado del producto)
Puntuación Total (Opcional)	Alto	Alto	Medio	Medio

Justificación de la Selección	El GHG Protocol se considera la metodología más adecuada para la compañía Farmacéutica ABC debido a su amplio reconocimiento global, su enfoque organizacional que permite la inclusión de las emisiones directas e indirectas de la empresa, y su flexibilidad para adaptarse a los diferentes niveles de detalle de los datos disponibles. Su amplia aplicación en diversos sectores, incluyendo el farmacéutico, y la disponibilidad de guías detalladas facilitan su implementación.	Si bien la ISO 14064 también es una norma robusta y reconocida, el GHG Protocol ofrece una estructura más específica para el reporte de emisiones a nivel organizacional, lo que se alinea mejor con el objetivo de calcular la huella de carbono de la compañía en su conjunto.	PAS 2050, aunque valiosa para el análisis del ciclo de vida de productos específicos, no es la opción más directa para obtener una visión general de la huella de carbono organizacional de la compañía ABC.	La ISO 14067 se centra específicamente en la huella de carbono de productos, lo que no es el objetivo principal de este estudio, que busca una evaluación a nivel organizacional.
-------------------------------	--	--	--	---

Fuente: Propia

Teniendo en cuenta en la matriz de selección, se determinó que la metodología del **GHG Protocol** era la más adecuada para el presente estudio. Su enfoque organizacional (Alcance 1, 2 y 3), su amplio reconocimiento y credibilidad a nivel internacional, y su flexibilidad para adaptarse a las características de la compañía Farmacéutica ABC fueron factores clave en esta decisión. Si bien otras metodologías como la ISO 14064 también son relevantes, el GHG Protocol ofrece guías más detalladas para la recopilación y el cálculo de emisiones a nivel organizacional, lo que facilitó el desarrollo del inventario de emisiones para los alcances definidos en este trabajo.

6.3. Definición de los alcances

En esta etapa se identifican los límites organizacionales y operacionales. De acuerdo al protocolo GHG, se definen tres alcances para la estimación de la huella de carbono de la compañía.

- **Alcance 1:** Son las emisiones de GEI generadas directamente por la operación de la compañía, se producen por fuentes que están bajo el control de la compañía.
- **Alcance 2:** Son emisiones indirectas atribuidas al consumo de energía eléctrica dentro de la compañía.
- **Alcance 3:** Son emisiones indirectas restantes asociadas a las actividades de la cadena de suministro, como proveedores Son emisiones indirectas que abarcan toda la cadena de valor, desde la extracción de materias primas hasta el fin de vida de los productos.

6.4. Cálculo de emisiones.

La siguiente etapa es realizar el cálculo de las emisiones de GEI de la compañía. Para este fin se deben identificar y categorizar las fuentes de emisión dentro de los límites operacionales de la compañía.

Para realizar el cálculo de las emisiones de GEI se debe establecer un método para su cálculo. A continuación, se presenta los 3 métodos de cuantificación más utilizados.

- **Medición directa de emisiones de GEI:** Para medir las emisiones de GEI directamente se deben implementar sistemas de monitoreo continuo con los cuales se logra determinar los caudales y concentraciones de los gases emitidos por fuentes puntuales. Este método se utiliza principalmente para cuantificar las emisiones directas.
- **Medición por balance de masas:** Este método se utiliza en procesos industriales donde se presentan reacciones químicas que generan GEI.
- **Medición por factores de emisión:** Este método permite cuantificar las emisiones de GEI asociadas a diferentes actividades, mediante el uso de factores de emisión expresados en términos de CO₂-eq. Estos factores se ajustan dependiendo de las condiciones de cada país. Es el método más utilizado debido a su practicidad y reconocimiento de estándares internacionales.

Para expresar la huella de carbono de la compañía en una unidad común y comparable, se utiliza el concepto de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq). Dado que el presente estudio se centra en las emisiones de CO₂ provenientes de la combustión de gas natural y ACPM, así como las emisiones indirectas de CO₂ asociadas al consumo de energía eléctrica (cuyo factor de emisión

ya está expresado en términos de CO₂ por unidad de energía), la equivalencia en este contexto se refiere a la consolidación de todas las emisiones en toneladas de CO₂.

El cálculo se realiza multiplicando la cantidad de cada combustible consumido por su respectivo factor de emisión de CO₂. Para el caso de la energía eléctrica, el consumo total en kWh se multiplica por el factor de emisión de CO₂ de la red eléctrica colombiana (detallado en la sección 6.5.4). Los resultados de estas multiplicaciones se suman para obtener la huella de carbono total en kilogramos de CO₂, que posteriormente se convierte a toneladas de CO₂.

En la tabla 6 se presenta un resumen de las fuentes de emisión agrupadas por los alcances que establece el protocolo GHG.

Tabla 7. Consumo eléctrico de proceso productivos de la compañía ABC.

Tipo de Fuente	Alcance 1	Alcance 2
Fuentes Fijas	Consumo de combustible gaseoso (gas natural) para el funcionamiento de la caldera y consumo de combustible líquido (ACPM) para las plantas eléctricas de emergencia.	Consumo de energía eléctrica
Fuentes Móviles	Consumo de combustible líquido para el funcionamiento de vehículos para transporte de materia prima, producto terminado y empleados.	

Fuente: Propia

El Potencial de Calentamiento Global (PCG) es una medida relativa del efecto de calentamiento que tendría un gas de efecto invernadero en comparación con una masa similar de dióxido de carbono (CO₂) durante un período de tiempo específico (generalmente 100 años). El CO₂ tiene un PCG de 1 por definición.

Dado que el alcance del presente estudio se centra en las emisiones directas de CO₂ provenientes del consumo de gas natural y ACPM, así como las emisiones indirectas de CO₂ asociadas al consumo de energía eléctrica (cuyo factor de emisión ya está expresado en kg

CO2/kWh), las emisiones generadas se expresan en una unidad común, toneladas de CO2 equivalente.

Para futuras ampliaciones del estudio que consideren otros Gases de Efecto Invernadero (GEI) como el metano (CH4) o el óxido nitroso (N2O), se aplicarán los valores de PCG correspondientes, según la última evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). Las emisiones de cada GEI (en kg) se multiplicarían por su PCG para obtener su contribución en términos de kg de CO2 equivalente.

El cálculo de las emisiones asociadas a la cadena productiva de la compañía Farmacéutica ABC abarcará todas las etapas del proceso, desde la recepción de materias primas hasta el embalaje y almacenamiento del producto terminado. Se identificarán los consumos de energía (eléctrica, térmica a partir de gas natural si aplica, etc.) en cada subproceso productivo, incluyendo:

- **Subproceso 1:** Dispensado de materias primas. Se cuantificará el consumo de energía eléctrica utilizada por los equipos unidad manejadora de aire UMA 01, unidad manejadora de aire exterior UMAE 01, unidad extractora UE 01, cabinas de flujo lamina FL 01, cabina de flujo laminar FL02 y cuarto climatizado de materia prima durante el periodo analizado. La fórmula para el cálculo de las emisiones será:

$$\text{Emisiones Subproceso 1} = \text{Consumo eléctrico subproceso 1 (kWh)} * \text{Factor de emisión eléctrico} \left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} \right)$$

- **Subproceso 2:** Adecuación de materias primas. Se cuantificará el consumo de energía eléctrica y el consumo de gas natural para generación de vapor para calentamiento demandado por los equipos bomba de trasiego 1, bomba de trasiego 2, trasegador de vaselina, trasegador de aceite. Las fórmulas para el cálculo de las emisiones serán:

Emisiones Eléctricas Subproceso 2

$$= \text{Consumo eléctrico subproceso 2 (kWh)} * \text{Factor de emisión eléctrico} \left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} \right)$$

Emisiones Gas Natural Subproceso 2

$$= \text{Consumo Gas Natural (m}^3\text{)} * \text{Factor de emisión Gas Natural} \left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{m}^3} \right)$$

- **Subproceso 3:** Generación de agua purificada. Se cuantificará el consumo de energía eléctrica utilizado por los equipos tanque de almacenamiento PW, planta de generación

PW, pretratamiento PW y loop PW durante el periodo analizado. La fórmula para el cálculo de las emisiones será:

$$\text{Emisiones Subproceso 3} = \text{Consumo eléctrico subproceso 3 (kWh)} * \text{Factor de emisión eléctrico} \left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} \right)$$

- **Subproceso 4:** Formulación y fabricación. Se cuantificará el consumo de energía eléctrica y gas natural utilizado por los equipos reactor Dinexv 2400, tanque buffer, bombas de trasiego 1 y 2, reactor versato 600, reactor versato 300, bomba lobular inoxpa TLS 3-50, bomba lobular inoxpa TLS 2-40, marmita auxiliar 150, reactor fryma koruma, molino Bühler trinomic 1300, molino Bühler trinomic 600, mezclador symex, trasegador OGA de fabricación, molino fitz mill para talco y mezclador lödige durante el periodo analizado. Las fórmulas para el cálculo de las emisiones serán:

Emisiones Eléctricas Subproceso 4

$$= \text{Consumo eléctrico subproceso 4 (kWh)} * \text{Factor de emisión eléctrico} \left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} \right)$$

Emisiones Gas Natural Subproceso 4

$$= \text{Consumo Gas Natural (m}^3\text{)} * \text{Factor de emisión Gas Natural} \left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{m}^3} \right)$$

- **Subproceso 5:** Envasado. Se cuantificará el consumo de energía eléctrica utilizado por los equipos envasadora OMAS medicamentos, tapadora Omas medicamentos, envasadora Comadis C-1290, envasadora Comadis C-960, envasadora Estelar, bomba helicoidal Lacson's, envasadora Dosa, trasegadora Oga envase, chequeadora de peso, envasadora Comadis C-945, envasadora fillamtic, envasadora Zanasi, túnel de enfriamiento durante el periodo analizado. La fórmula para el cálculo de las emisiones será:

$$\text{Emisiones Subproceso 5} = \text{Consumo eléctrico subproceso 5 (kWh)} * \text{Factor de emisión eléctrico} \left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} \right)$$

- **Subproceso 6:** Acondicionamiento. Se cuantificará el consumo de energía eléctrica utilizado por los equipos estuchadora Ima farma, bandas transportadoras f1, f3, f4 y f5, etiquetadora Ketan, codificadora 9042, codificadora 9450 f3, codificadora 9450 f3, túnel de calentamiento 1 y 2, etiquetadora Altech, banda transportadora empaque talco, bandas transportadoras No 1, 2, 3, 4 y 5, codificadora 9020, codificadora Videojet 1 y 2, etiquetadora ketan 1 y 2, banda transportadora en "Y" y horno termoencogible Thor durante el periodo analizado. La fórmula para el cálculo de las emisiones será:

Emisiones Subproceso 6 = Consumo eléctrico subproceso 6 (kWh) * Factor de emisión eléctrico $\left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}\right)$

- **Subproceso 7:** Almacenamiento de producto terminado. Se cuantificará el consumo de energía eléctrica utilizada por los equipos cuarto climatizado de producto terminado e iluminación de bodega durante el periodo analizado. La fórmula para el cálculo de las emisiones será:

Emisiones Subproceso 7 = Consumo eléctrico subproceso 7 (kWh) * Factor de emisión eléctrico $\left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}\right)$

Otro cálculo relevante que se debe realizar es el de las emisiones generadas por los procesos administrativos de la compañía Farmacéutica ABC se centrará principalmente en el consumo de energía eléctrica en las oficinas y otras áreas no directamente productivas. Se considerarán los siguientes aspectos:

- **Iluminación de Oficinas y Áreas Comunes:** Se estimará el consumo de energía eléctrica destinado a la iluminación de las áreas administrativas durante el periodo analizado. Si es posible, se puede basar en el área total y la densidad de potencia de iluminación, o en datos de facturación eléctrica asignados a estas áreas. La fórmula será:

Emisiones iluminación = Consumo eléctrico iluminación (kWh) * Factor de emisión eléctrico $\left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}\right)$

- **Climatización de Oficinas y Áreas Comunes:** Se cuantificará el consumo de energía eléctrica utilizado por el sistema HVAC en las áreas administrativas. La fórmula será:

Emisiones climatización

= Consumo eléctrico climatización (kWh) * Factor de emisión eléctrico $\left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}\right)$

- **Equipos de Oficina:** Se estimará el consumo de energía eléctrica de los equipos de oficina. Esto podría basarse en el número de equipos, su potencia promedio y las horas de uso estimadas. La fórmula será:

Emisiones equipos oficina

= Consumo eléctrico equipos ofic (kWh) * Factor de emisión eléctrico $\left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}\right)$

- **Movilidad de Empleados (si aplica y tienes datos):** Si la compañía facilita vehículos para uso administrativo o si tienes datos sobre los desplazamientos de los empleados en vehículos propios por motivos de trabajo, podrías incluir Se estimará el consumo de combustible asociado al uso de vehículos de la compañía y particulares del personal administrativo para movilizarse desde y hacia la compañía y se calcularán las emisiones directas correspondientes utilizando el factor de emisión de ACPM o gasolina.

$$\text{Emisiones Movilidad} = \text{Consumo Combustible (gal)} * \text{Factor de emisión combustible} \left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{gal}} \right)$$

El cálculo de la huella de carbono se realizó de forma teórica, aplicando los factores de emisión correspondientes a cada fuente de energía consumida por la compañía Farmacéutica ABC. Estos factores de emisión representan la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) liberada por unidad de energía consumida o actividad realizada.

Para cada una de las fuentes de emisión identificadas, el cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula general:

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ (kg)} = \text{Dato de Actividad (Unidad)} * \text{Factor de emisión} \left(\frac{\text{kg CO}_2}{\text{Unidad}} \right)$$

- **Dato de Actividad:** Representa la cantidad de energía consumida (kWh de electricidad, m³ de gas natural, litros o galones de ACPM) o la distancia recorrida (km) por los vehículos de transporte durante el periodo analizado.
- **Factor de Emisión:** Es un coeficiente que relaciona la cantidad de CO₂ liberada con la unidad de actividad. Los factores de emisión utilizados en este estudio se definen detalladamente en la Sección 6.5.

La huella de carbono total de la compañía Farmacéutica ABC se reportará finalmente en toneladas de Dióxido de Carbono Equivalente (tCO₂eq).

6.5. Definición de factores de emisión.

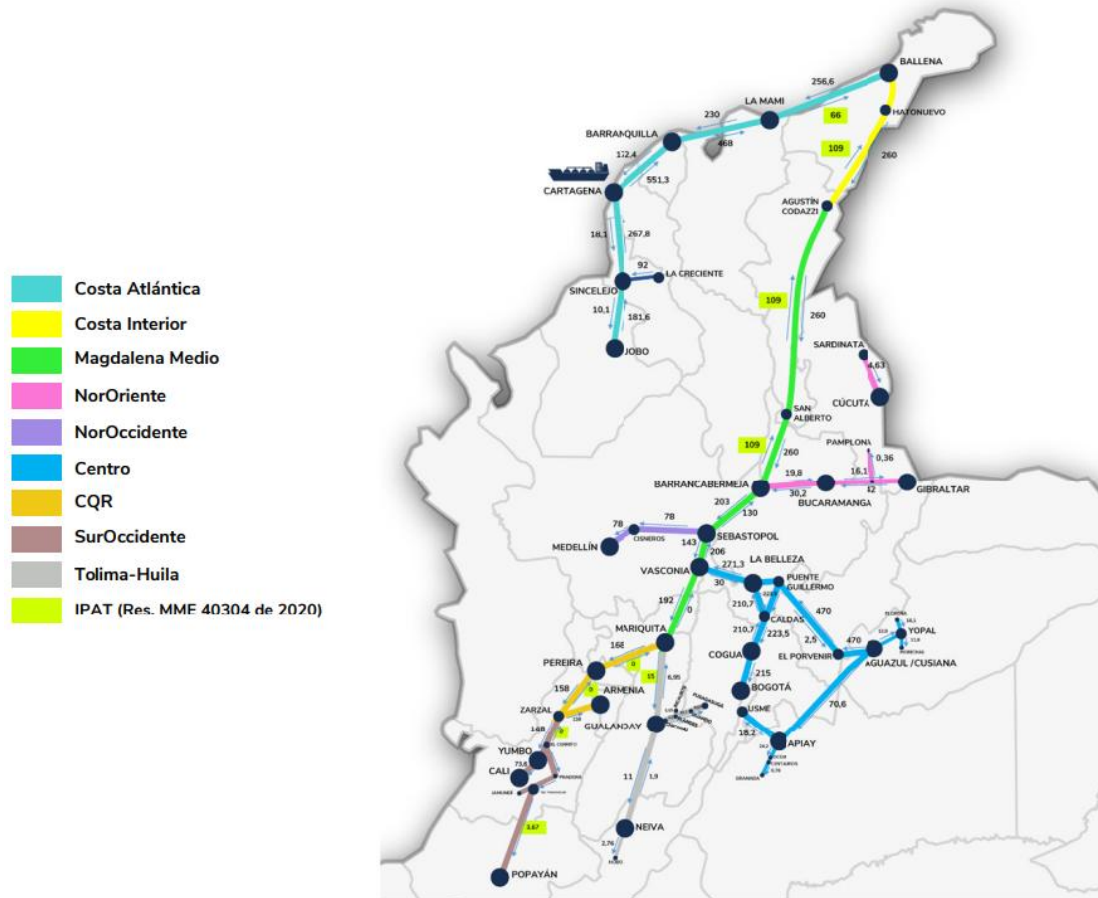
Luego de estimar la cantidad de combustible, gas natural, gasolina y ACPM, y energía eléctrica consumida, el siguiente paso para poder calcular las emisiones de CO₂-eq es definir los factores de emisión de las fuentes de energía empleadas por la compañía farmacéutica ABC.

6.5.1. Gas natural.

Para establecer la cantidad de CO₂ que es emitido a la atmosfera por la compañía farmacéutica ABC debido a la utilización de gas natural en sus operaciones, se toma como referencia los datos presentados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) en su herramienta calculadora de Factores de Emisión de Combustibles en Colombia 2016 (FECOC 2016).

El factor de emisión del gas natural en Colombia varía dependiendo de varios factores como son, fuente de gas natural, proceso de extracción y transporte, composición del gas natural. En la figura 13 se presenta la infraestructura actual de transporte de gas natural.

Figura 13. Red de distribución de gas natural en Colombia.



Fuente: UPME, 2024, Estudio técnico para el plan de abastecimiento de gas natural 2023-2038.

Se identifica que la fuente de suministro de gas natural para el sur-occidente de Colombia es el gasoducto de Mariquita, para este gasoducto la UPME define un factor de emisión equivalente a.

Factor de emisión de CO₂ por consumo de gas natural Nodo Mariquita = 2.1789 kgCO₂/m³.

6.5.2. ACPM.

El factor de emisión del aceite combustible para motores (ACPM) definido por FECOC 16 se presenta a continuación.

Factor de emisión de CO₂ por consumo de ACPM = 10.149 kgCO₂/gal.

6.5.3. Vehículos de Transporte.

Para los vehículos de transporte de la compañía, incluyendo vehículos particulares, de transporte de pasajeros y de materia prima y producto terminado, se toman los datos suministrados por la UPME en el informe “Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos (FECOC+ 3.0): Determinación de los factores de emisión de vehículos livianos y motocicletas para Colombia” del año 2023, en el cual se determina que el factor de emisión de vehículos livianos es el siguiente.

Factor de emisión de CO₂ por km recorrido = 0.297 kgCO₂/km.

Para el factor de emisión de los vehículos pesados o de carga se toma como referencia los valores presentados por la UPME en el informe “Factores de Emisión de los Combustibles Colombianos (FECOC+) Fase 2.1: Determinación de los factores de emisión de vehículos pesados de carga (camiones y tractocamiones) a la altitud del área metropolitana de Bucaramanga” donde se define los siguientes factores de emisión.

En la tabla 8 se presentan los factores de emisión reportados por la UPME en la herramienta FECOC+.

Tabla 8. Factores de emisión para vehículos pesados de carga y pasajeros.

Categoría	Modelo	Norma emisión	Cilindrada (cm ³)	Carga (Ton)	Rend. (km/gal)	CO ₂ (g/km)	CH ₄ (mg/km)	NO (g/km)	NO ₂ (g/km)	NO _x (g/km)	PM (mg/km)	PN x10e12 (#/km)	THC (g/km)	NMHC (g/km)	CO (g/km)
C2 liviano	2006	Euro II	2771	< 3	22,8	410	7,23	3,19	2,56	5,72	339	49,5	1,48	1,45	4,69
	2011	Euro II	2771		29,5	319,4	40,8	1,7	1,69	3,39	245	71,55	2,04	2	2,55
	2016	Euro II	2999		20,8	471,6	11,77	1,27	1,27	2,59	41,4	2,67	0,55	0,54	1,98
C2 mediano	2018	Euro IV	5192	< 5 ton	17	571,4	30	2,03	2,03	6,64	123	43,8	1,51	1,48	11,15
Buses	2006	Euro II	2771	20 pas.	23	421	3,09	3,09	2,78	5,87	303	52,4	1,74	1,7	5,05
	2011	Euro II	2771		28	342	51,5	1,6	3,65	245,3	72	2,63	2,52	2,59	2,59
	2016	Euro IV	2999	20,2	475,7	13,82	1,21	1,21	2,58	41,27	39,4	1,93	1,89	2,41	
Camiones de 2 ejes C2 grande	2018	Euro IV	5192	40 pas.	15,4	614	38,6	2,04	2,04	2,26	138,4	39,4	1,93	1,89	15,1
	2012	Euro II	7790	< 10	11	873,6	17,87	4,76	4,76	8,32	168,9	45,94	0,89	0,88	2,51
	2015	Euro II	8270		11,1	871,4	36,55	4,8	4,03	8,84	1493,7	263,52	1,91	1,87	7,67
	2021	Euro V	7790		11,5	998,4	11,2	3,61	3,68	67,4	51,58	0,56	0,55	2,59	2,59
	2022	Euro V	7684		11,2	773,9	2,45	5,05	5,05	3,44	130,19	69,15	0,12	0,12	13,37
2012	Euro II	13000	5,5		1555	15,48	15,44	15,44	24,79	162,5	48,83	0,78	0,76	3,62	
Tractocamiones C3S2	2013	EPA 98	14945	< 35	5,1	1726	16,47	15,05	15,05	25,01	138	38,86	0,83	0,81	17,07
	2014	Euro II	12777		5,5	1748	4,24	6,32	6,32	10,46	165,97	22,88	0,21	0,14	13,32
	2015	Euro II	12777		5,5	1747	2,9	6,56	6,41	10,12	126,95	87,86	0,15	0,14	11,69

Los vehículos que la compañía ABC emplea para transportar a los colaboradores, son buses de 3000 cm³ para transportar máximo 20 pasajeros. Mientras que los vehículos de carga utilizados para transportar materia prima y producto terminado son vehículos categoría C2 medianos.

Con lo mencionando anteriormente se tienen los siguientes factores de emisión para los vehículos de carga y de pasajeros.

Factor de emisión de CO₂ por km recorrido buses = 0.614 kgCO₂/km.

Factor de emisión de CO₂ por km recorrido carga = 0.571 kgCO₂/km.

6.5.4. Energía Eléctrica.

Se toma como referencia el valor establecido por la UPME en la resolución 000705 de 2024, en la cual se actualizó el factor de emisión para inventarios de gases de efecto invernadero con un valor igual a 0.112 tonCO₂eq/MWh, que es igual a 0.112 kg CO₂-eq/kWh.

En la tabla 9 se presenta el resumen de los factores de emisión empleados y las fuentes de donde se obtuvieron estos datos.

Tabla 9. Resumen factores de emisión de las fuentes de emisión de la compañía ABC.

Fuente de Emisión	Factor	Unidad	Fuente
Gas (m ³)	21.789	kgCO ₂ /m ³	FECOC 16
ACPM (gal)	10.149	kgCO ₂ /gal	FECOC 16
Vehículo liviano (km)	0.297	kgCO ₂ /km	FECOC +
Vehículo Pasajeros (km)	0.614	kgCO ₂ /km	FECOC +
Vehículo Carga (km)	0.571	kgCO ₂ /km	FECOC +

Fuente: Propia.

6.6. Reporte de resultados.

En la tabla 10 se presenta las emisiones de CO₂-eq generados por las diferentes fuentes de emisiones de la compañía. Como se mencionó anteriormente, el protocolo GHG establece el alcance 3 como una categoría opcional y al no disponer de información confiable de las fuentes de emisión indirecta que no son propiedad de la compañía ni están bajo su administración, se decide no incluir el alcance 3 en el cálculo de la huella de carbono de la compañía farmacéutica ABC.

Tabla 10. CO₂-eq generado por la operación de la compañía ABC.

Tipo de Fuente	Alcance 1	Cantidad	Factor	Unidad	Emisiones
Alcance 1	Consumo de gas natural (m3)	49689	2,04542	kg CO ₂ /m ³	101635
	Consumo de ACPM (gal)	1600	10,149	kg CO ₂ /l	16238
	Distancia recorrida en vehículos particulares, combustible gasolina (km)	18240	0,297	kg CO ₂ /Km	5417
	Distancia recorrida en vehículos transporte de personal, combustible ACPM (km)	86976	0,614	kg CO ₂ /Km	53403
	Distancia recorrida en vehículos para transporte de MP y PT, combustible ACPM (km)	29400	0,571	kg CO ₂ /Km	16787
Alcance 2	Consumo de energía eléctrica (kWh)	3350000	0,112	kg CO ₂ /kWh	375200
				TOTAL:	568681

Fuente: Propia

En el presente estudio se cuantificaron principalmente las emisiones directas de dióxido de carbono (CO₂) provenientes de la combustión de gas natural utilizado en la caldera para generación de vapor, el consumo de ACPM por la flota de vehículos de transporte y las emisiones indirectas asociadas al consumo de energía eléctrica adquirida de la red nacional. Se identificaron como posibles fuentes de otras emisiones, aunque no cuantificadas en este alcance, el uso de refrigerantes en los sistemas de climatización y refrigeración, la gestión de residuos y otros procesos de la cadena de suministro.

De los resultados obtenidos se identifica que las emisiones totales de CO₂-eq generadas por las fuentes enmarcadas en el alcance 1, durante el año 2023, es igual a 153.095 kg CO₂, mientras que el mayor aporte a la huella de carbono de la compañía es el generado por las fuentes de emisión del alcance 2, con un total de 375.200 kg CO₂. Las emisiones del alcance 2 son un 245% más que las generadas por las fuentes del alcance 1. Se identificaron las siguientes categorías principales de emisiones:

- **Emisiones directas de CO₂ (Alcance 1):**
 - **Combustión de gas natural:** El consumo de gas natural empleado la caldera para la generación de vapor utilizado en la producción genera emisiones directas de CO₂. La cantidad total de gas natural consumido durante el periodo analizado fue de 49,689 m³, lo que resultó en una emisión estimada de 101 tCO₂eq.
 - **Distancia recorrida en vehículos de transporte:** La operación de la flota de vehículos de transporte de la compañía para la distribución de productos y otras actividades logísticas generó emisiones directas de CO₂ debido al consumo de ACPM. La distancia total recorrida aproximada fue de 134,616 km, lo que se traduce en una emisión de 75.6 tCO₂eq.
- **Emisiones Indirectas de CO₂ (Alcance 2):**
 - **Consumo de energía eléctrica:** La energía eléctrica utilizada en todas las instalaciones de la compañía (procesos productivos, áreas administrativas, iluminación, climatización, etc.) genera emisiones indirectas de CO₂ debido a la generación de dicha electricidad en la red nacional. El consumo total de energía eléctrica durante el periodo analizado fue de 3 350,000 kWh, lo que conllevó a una emisión estimada de 375 tCO₂eq.

Si bien el alcance de este estudio se limitó a estas emisiones directas e indirectas de CO₂, se identificaron otras posibles fuentes de Gases de Efecto Invernadero que podrían ser relevantes en un análisis más exhaustivo:

- **Emisiones fugitivas de refrigerantes (Potencial Alcance 1):** Los sistemas de refrigeración y aire acondicionado de la compañía podrían utilizar refrigerantes con un alto potencial de calentamiento global (HFCs). Las fugas de estos gases contribuirían a la huella

de carbono total. No se dispuso de datos específicos sobre el tipo y cantidad de refrigerantes utilizados ni de los registros de mantenimiento para cuantificar estas emisiones en el presente estudio.

- **Emisiones de óxido nitroso (N₂O) (Potencial Alcance 1 o 3):** Algunos procesos químicos específicos en la industria farmacéutica o la gestión de residuos podrían generar emisiones de N₂O, un gas con un potencial de calentamiento global significativamente mayor que el CO₂. No se identificaron procesos específicos en la información disponible que sugieran una fuente significativa de N₂O, pero se recomienda una evaluación más detallada de los procesos productivos.
- **Emisiones de metano (CH₄) (Potencial Alcance 3):** La gestión de residuos orgánicos de la compañía, si se realiza a través de vertederos sin captura de biogás, podría generar emisiones de metano. No se dispuso de información detallada sobre la gestión de residuos para evaluar esta fuente.

Se debe mencionar que el análisis del consumo energético y los factores de emisión aplicados permitió identificar los procesos y áreas que contribuyen de manera más significativa a la huella de carbono de la compañía ABC, considerando únicamente las emisiones directas e indirectas de CO₂ cuantificadas en este estudio:

- **Consumo de energía eléctrica en el área de producción de cremas farmacéuticas:** Esta área representa el 17% del consumo total de energía eléctrica de la compañía, lo que la convierte en uno de los mayores contribuyentes de emisiones indirectas de CO₂. El alto consumo se debe principalmente a la operación continua de equipos como el reactor dinexv 2400 y los reactores versato 300 y 600 (Ver Tabla A2).
- **Operación de las calderas para generación de vapor:** El consumo de gas natural en las calderas utilizadas para generar el vapor necesario en diversos procesos productivos (esterilización, limpieza, fabricación.) es la principal fuente de emisiones directas de CO₂, representando el 52% de las emisiones directas totales. La eficiencia de estas calderas y la optimización de su uso son puntos críticos a considerar para la reducción de la huella de carbono.
- **Flota de vehículos de transporte:** El consumo de ACPM por la flota de vehículos representa una parte significativa de las emisiones directas de CO₂ (36%). La optimización

de rutas, la renovación de la flota por vehículos más eficientes o la consideración de alternativas de transporte con menores emisiones son áreas críticas para la reducción.

Es importante destacar que estos puntos críticos se identifican en función de las emisiones de CO2 directas e indirectas cuantificadas en el alcance de este estudio. Una evaluación más completa, que incluya otros GEI y las emisiones de Alcance 3, podría revelar otros puntos críticos relevantes.

6.7. Descripción de cómo abordar el objetivo específico 3

Evaluar alternativas de los procesos identificados como críticos en el aporte a la huella de carbono. A estas alternativas propuestas se realizará un análisis cuantitativo donde se tendrá como resultado un nuevo valor de la huella de carbono que aportará la compañía si se llegasen a implementar estas propuestas de mejora. Este nuevo cálculo de la huella de carbono corporativa será presentado a la compañía para que puedan evaluar el impacto positivo para el medio ambiente y la compañía que generaría la implementación de estas propuestas de ingeniería.

La estrategia para la reducción de la huella de carbono de la compañía Farmacéutica ABC se aborda desde una perspectiva sistémica, reconociendo las interdependencias entre los diferentes procesos productivos, administrativos y de infraestructura. En lugar de proponer acciones aisladas, se presentan 3 escenarios integrados que buscan optimizar el sistema en su conjunto, maximizando las sinergias y considerando los impactos en múltiples áreas.

Principios de la Estrategia Sistémica:

- **Visión Holística:** Se considera la planta como un sistema complejo donde los cambios en un componente pueden afectar a otros.
- **Interconexiones:** Se analizan las relaciones y los flujos (de energía, materiales, información) entre los diferentes procesos.
- **Optimización Integral:** Se buscan soluciones que mejoren la eficiencia y reduzcan las emisiones en múltiples áreas simultáneamente.
- **Impacto a Largo Plazo:** Se consideran los efectos de las acciones propuestas a lo largo del tiempo y su sostenibilidad.

De los resultados obtenidos de la huella de carbono de la compañía, presentados en la tabla 9, se observa que el mayor aporte lo realiza las fuentes enmarcadas en el alcance 2, correspondiente al consumo de energía eléctrica. En la tabla 11 se presenta los consumos de energía eléctrica de las diferentes áreas de la compañía.

Tabla 11. Consumo de energía eléctrica en las áreas de la compañía ABC.

Área de Producción	Consumo energético kWh/mes	Porcentaje de consumo
Equipos Apoyo Critico	171749	63%
Equipos Medicamentos	46051	17%
Equipos Talco	9014	3%
Equipos Cosméticos	45350	17%
Consumo Total	272164	100%

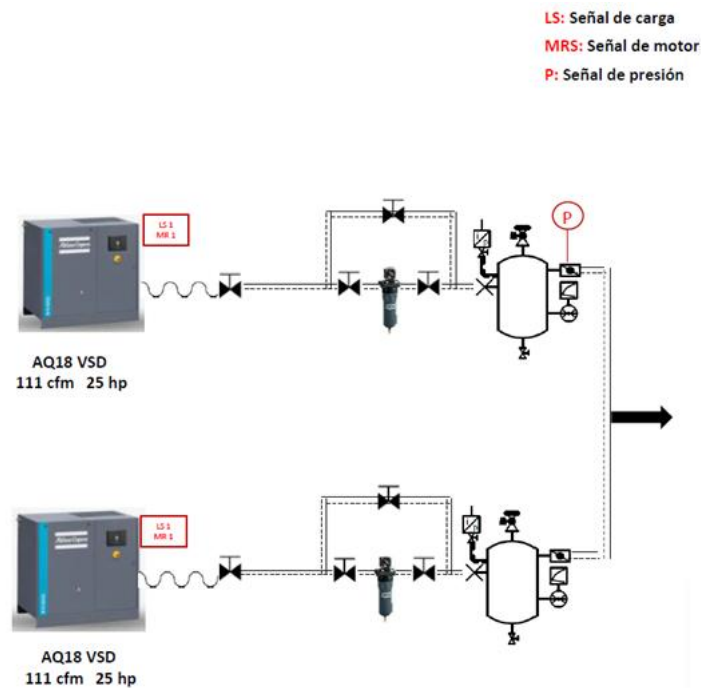
Fuente: Propia.

El mayor consumo eléctrico se presenta en los equipos de apoyo crítico, aproximadamente el 63% del consumo de energía eléctrica corresponde a estos equipos. Se identifica 3 subsistemas que presentan un alto consumo de energía eléctrica, esos equipos son los compresores de aire comprimido, los chillers y el sistema HVAC. El consumo de los compresores equivale al 16% del consumo de electricidad de los equipos de apoyo crítico, los chillers representan el 23% del consumo eléctrico de los equipos de apoyo crítico y el HVAC.

De estos dos sistemas se identifica que los compresores de aire deben estar siempre en operación, ya que varios elementos, principalmente válvulas, requieren aire comprimido para garantizar su correcto funcionamiento de sistemas que operan las 24 horas del día, los 7 días de la semana.

Alternativa para reducir consumo eléctrico en compresores de aire: En la figura 14 se presenta una representación esquemática del sistema de generación de aire comprimido, el sistema cuenta con 2 compresores de 25 HP cada uno, cada compresor cuenta con un filtro de partículas y un tanque acumulador de aire, la salida de estos dos tanques alimenta una tubería de aire en forma de anillo, de la cual se suministra aire a los equipos que lo requieran para su operación.

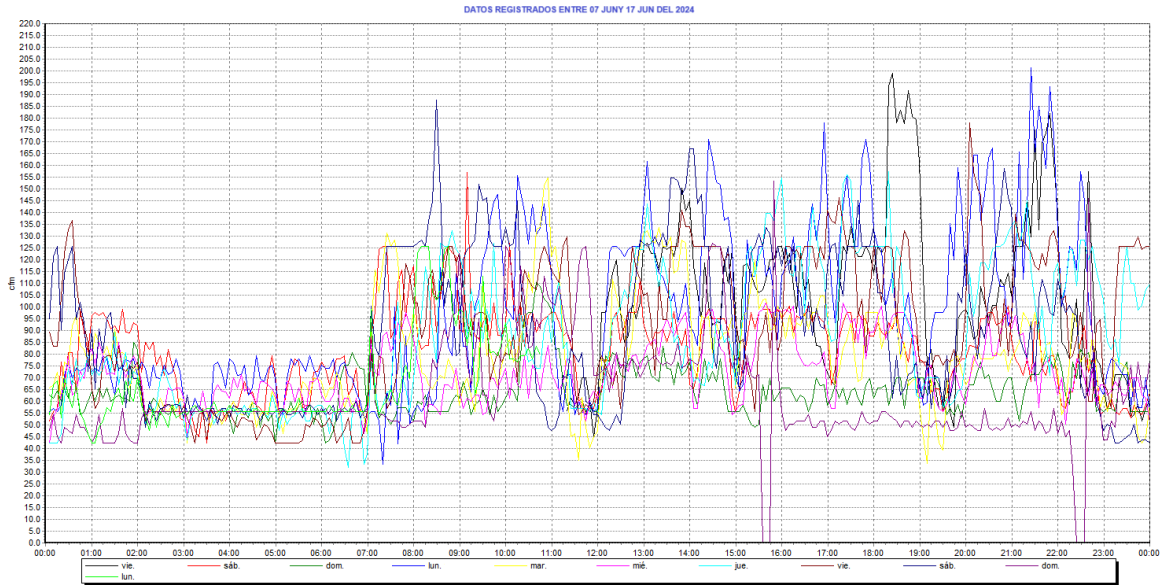
Figura 14. Esquemático del sistema de generación de aire comprimido.



Fuente: Kaeser Colombia, 2023, Estudio de eficiencia energética de la compañía ABC.

Inicialmente se realiza un estudio para conocer la demanda y la presión de la red de aire comprimido de la compañía y poder identificar opciones de mejora para reducir el consumo eléctrico. En la figura 15 se presenta el comportamiento de la demanda de aire comprimido de la compañía farmacéutica ABC. La demanda siempre está por encima de los 45 cfm y el consumo máximo llega a 195 cfm por periodos cortos de tiempo, la demanda se ve disminuida entre las 1:00 am y las 7:00 am.

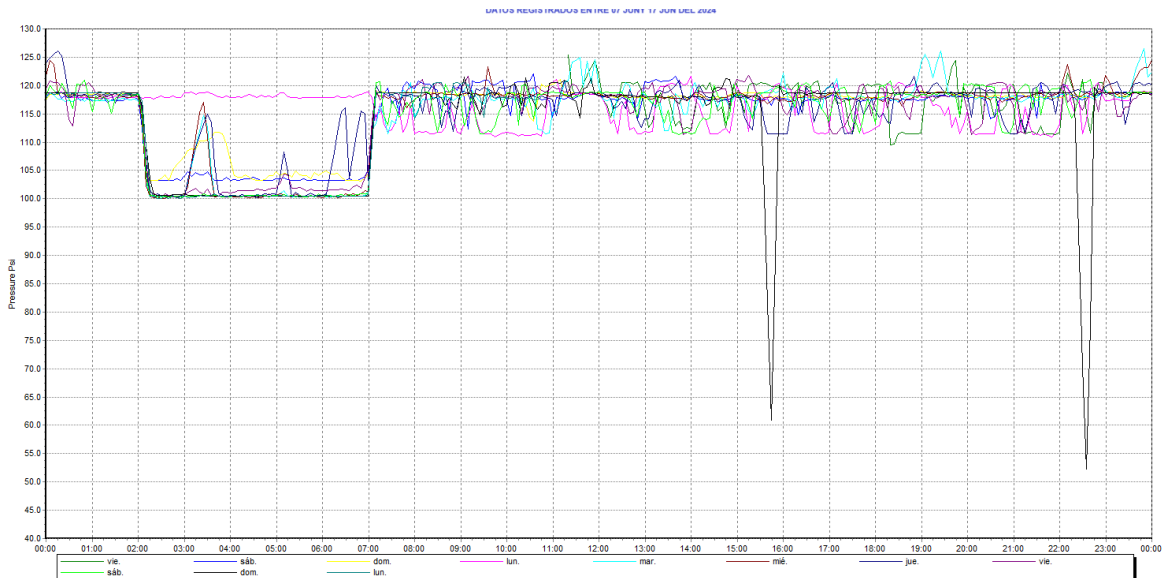
Figura 15. Demanda de aire comprimido en cfm de la compañía ABC.



Fuente: Kaeser Colombia, 2024, Estudio de eficiencia energética de la compañía ABC.

En la figura 16 se presenta el comportamiento de la presión de la red de aire comprimido, se observa que la presión muestra un descenso desde las 2:00 am hasta las 7:00 am, el sistema registra una presión máxima de 126 psi y una presión mínima de 53 psi, estas caídas de presión considerable concuerdan con cortes de energía externos a la compañía.

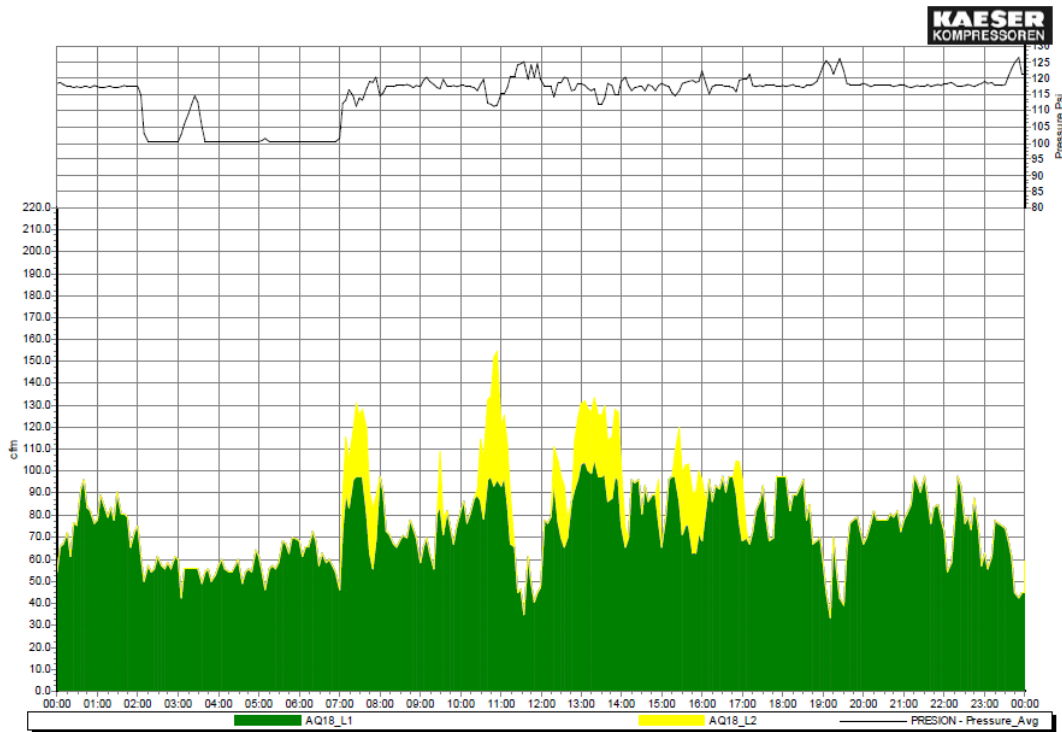
Figura 16. Comportamiento de la presión de la red de la compañía ABC, unidades psi.



Fuente: Kaeser Colombia, 2024, Estudio de eficiencia energética de la compañía ABC.

De los datos obtenidos del estudio de la demanda de aire comprimido para la operación de los equipos de la compañía, se identifica que, en horas de la noche, donde la producción es poca o en ocasiones nula, la demanda de aire comprimido es poca sin embargo los 2 equipos compresores de aire continúan operando al 100% de su capacidad como se puede observar en la figura 17.

Figura 17. Flujo de aire en cfm generado por los compresores de la compañía ABC.



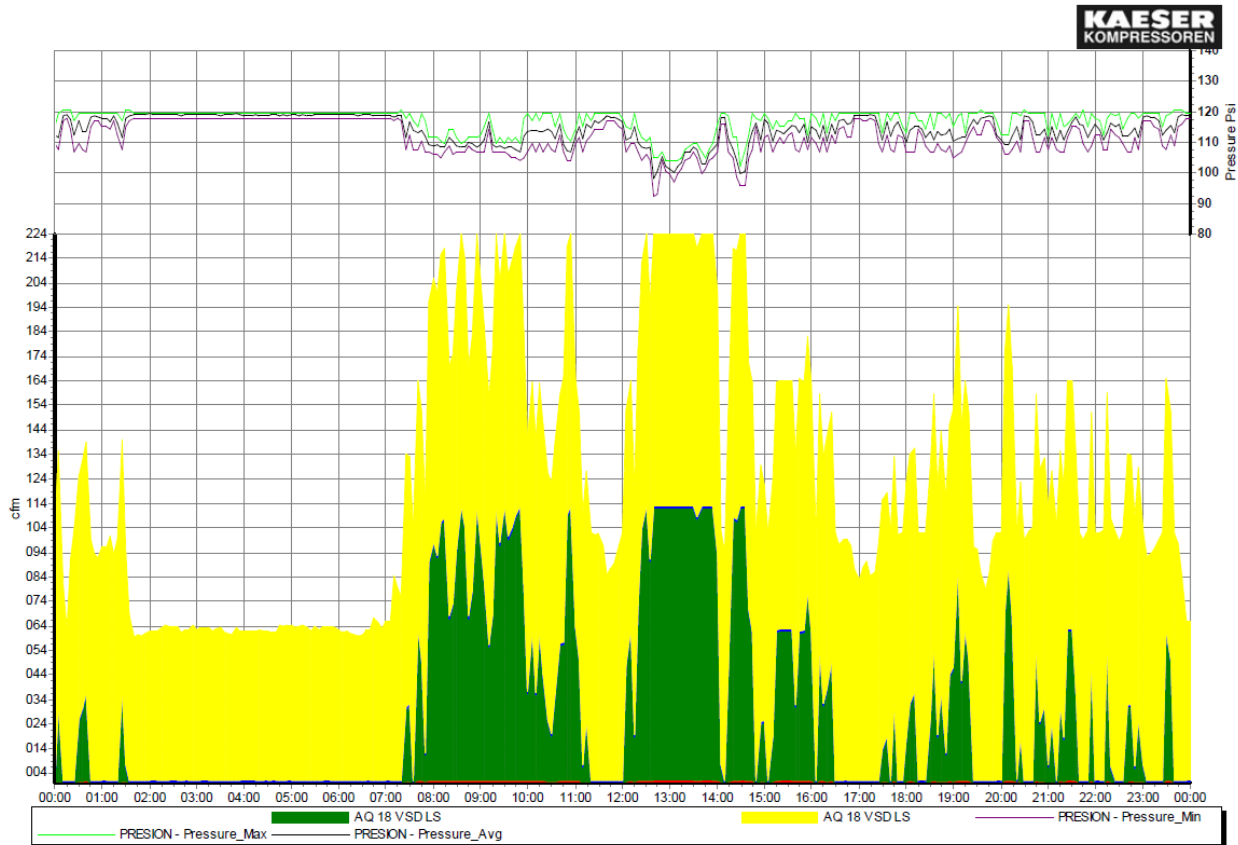
Fuente: Kaeser Colombia, 2024, Estudio de eficiencia energética de la compañía ABC.

Se plantea una alternativa de operación de los compresores de aire en periodos de tiempo donde la demanda de aire comprimido no es tan elevada. Se propone operar un compresor al 100% de la carga y el otro dejarlo en stand-by, lo que representa una disminución aproximada del 70% en el consumo de energía eléctrica, en el periodo de tiempo entre las 00:00 horas y las 06:00 para que funcione como respaldo del compresor líder en caso de presentarse algún pico de demanda de aire mayor a 120 cfm.

En la figura 18 se presenta el flujo de aire suministrado por los 2 compresores con la nueva propuesta de operar un compresor como líder y el otro como respaldo en caso de presentarse un consumo aire mayor al que es capaz de suministrar el compresor líder. Se observa que, con esta

nueva estrategia de operación de los compresores, el compresor líder se encarga de suministrar el aire demandado por la operación, cuando la demanda supera el caudal máximo de 120 cfm que es capaz de entregar el compresor líder, en ese instante el compresor que se encuentra en stand-by inicia su operación para garantizar el suministro de aire para la operación de los equipos.

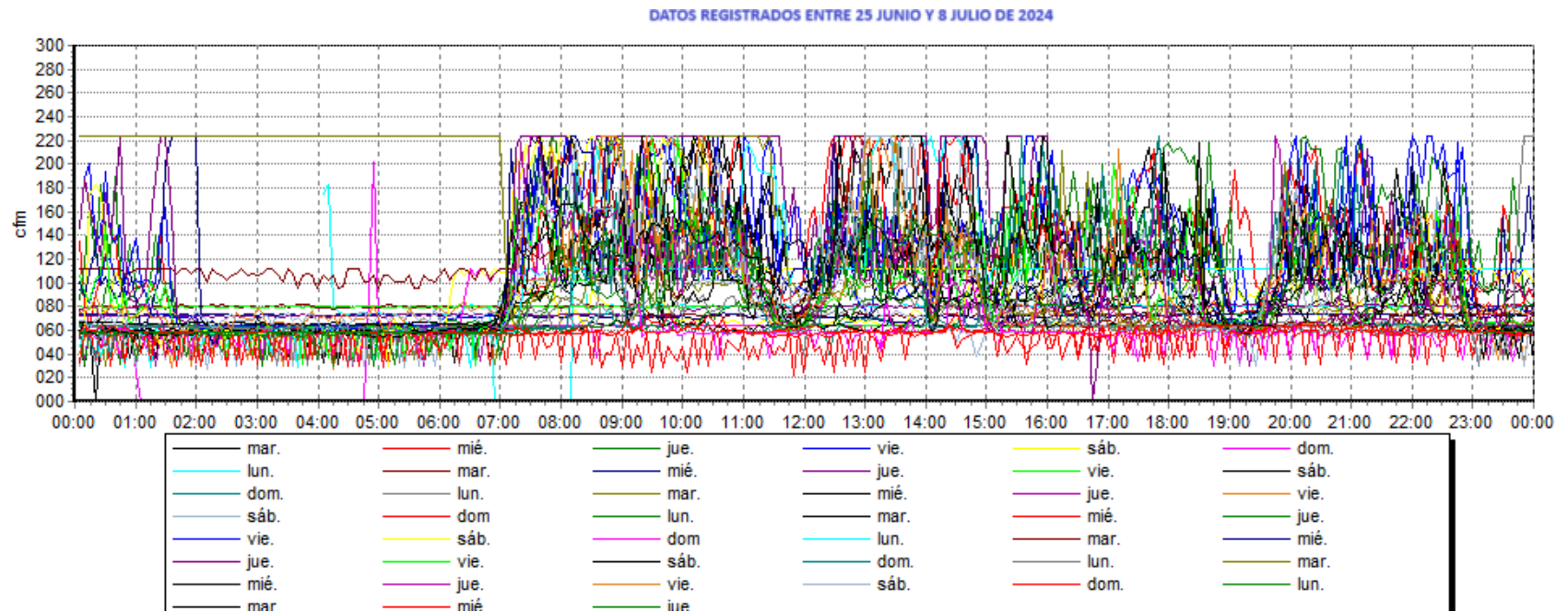
Figura 18. Flujo de aire en cfm generado por los compresores de la compañía ABC.



Fuente: Kaeser Colombia, 2024, Estudio de eficiencia energética de la compañía ABC.

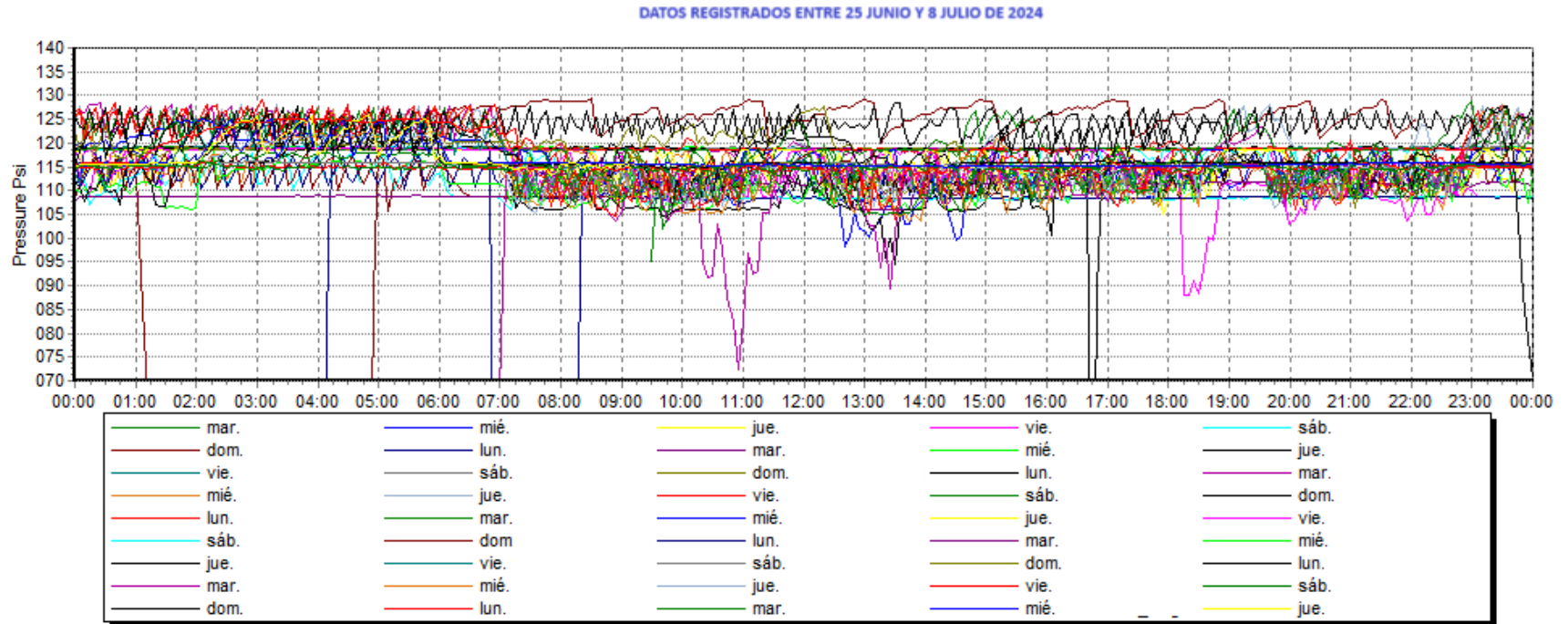
Se realiza monitoreo al sistema de aire comprimido, para este monitoreo se registraron datos durante 45 días seguidos de operación, obteniendo los resultados que se presentan en la figura 19. Desde la 12:00 am hasta las 06:00 am el sistema presenta una demanda de aire de aproximadamente 80 cfm, mientras que la presión de la red se mantiene entre 100 y 125 psi, como se presenta en la figura 20, durante la medición se presentaron algunos descensos de presión considerables que alcanzaron valores de 70 psi.

Figura 19. Demanda de aire comprimido en cfm de la compañía ABC con nueva propuesta.



Fuente: Kaeser Colombia, 2024, Estudio de eficiencia energética de la compañía ABC.

Figura 20. Demanda de aire comprimido en cfm de la compañía ABC con nueva propuesta.



Fuente: Kaeser Colombia, 2024, Estudio de eficiencia energética de la compañía ABC.

En la tabla 12 se presentan los datos obtenidos del ahorro en el consumo de energía eléctrica para el funcionamiento de los compresores de aire luego de implementar la operación de uno de los 2 compresores al 100% durante 24 horas y el otro compresor operará durante 16 horas al 100% y 6 horas al 30%.

Tabla 12. Consumo de energía eléctrica en las áreas de la compañía ABC.

	Compresor 1	Compresor 2
Consumo eléctrico operación 100%. (kW)	18.412	18.65
Consumo eléctrico operación 30%. (kW)	6.114	6.38
Consumo eléctrico mensual al 100%. (kWh)	13,256.92	13,432.51
Consumo eléctrico 16 horas al 100%. (kWh)	331.42	335.81
Consumo eléctrico 6 horas al 30%. (kWh)	36.68	38.29
Consumo eléctrico diario con nueva estrategia de operación. (kWh)	368.11	374.10
Consumo eléctrico mensual con nueva estrategia de operación. (kWh)	1,1043.34	11223.19
Ahorro de energía eléctrica por compresor. (kWh/mes)	2,213.57	2209.31
Ahorro de energía eléctrica total mensual.	4423	kWh/mes

De los datos obtenidos en la tabla 11 se observa que, con la nueva estrategia propuesta para la operación de los compresores, la compañía ahorra mensualmente 4422 kWh, lo que en un año representa un ahorro total aproximadamente de 53074 kWh. Este ahorro en el consumo de energía eléctrica por los compresores de aire, se traduce en una disminución en emisión de CO₂ la cual se calcula como se presenta en la fórmula 2.

Fórmula 2. Cálculo de emisión de CO2 por consumo de energía eléctrica.

$$EmissionCO_2 = Consumo de Energía Eléctrica \times Factor de emisión$$

Haciendo uso de la fórmula 2, se obtiene que las emisiones de CO2 de la compañía farmacéutica ABC disminuirán aproximadamente 6 t CO2-eq por ahorro de electricidad en la operación de los compresores de aire.

Fórmula 3. Disminución de emisiones de CO2 por operación de compresores de aire.

$$EmissionCO_2 = 53,074 \frac{kWh}{año} \times 0.112 \frac{kgCO_2}{kWh}$$

$$Emisión CO_2 = 5,944 \frac{kgCO_2}{año}$$

Este ahorro de consumo eléctrico representa una disminución de aproximadamente 6 toneladas menos de emisión de CO2-eq que dejaron de ser emitidas a la atmosfera por la compañía farmacéutica ABC.

Alternativa para reducir consumo eléctrico en chillers: Otro de los sistemas perteneciente a los equipos de apoyo crítico que presenta un alto consumo de electricidad es el sistema de enfriamiento de agua. La compañía cuenta con 2 equipos enfriadores los cuales suministran agua fría a los diferentes procesos. Se identifica que ambos equipos operan aproximadamente 20 horas por día. Se plantea reducir los tiempos de operación de estos equipos en horas de la noche. Para lograr decidir si es necesario que estos equipos operen 20 horas/día se identifican los principales subsistemas que se abastecen con agua fría. Se identifica que principalmente el suministro de agua fría es para el sistema HVAC, para garantizar las condiciones de humedad y temperatura de las áreas de producción. El otro sistema que demanda agua fría para su operación es el sistema de producción de agua purificada o también conocido como agua PW, por su nombre en inglés Purified Water.

Una vez identificados los sistemas que se alimentan con agua fría, se procede a realizar una prueba apagando uno de los 2 chillers en horas de la noche, desde las 11:00 pm hasta las 7:00 am, donde la temperatura ambiente no es tan alta, durante este tiempo de inactividad de uno de los 2 chillers, se realiza monitoreo, hora a hora, de las variables de temperatura en los sistemas de agua y HVAC, estas pruebas se realizan durante 10 días para obtener un total de 80 datos de temperatura

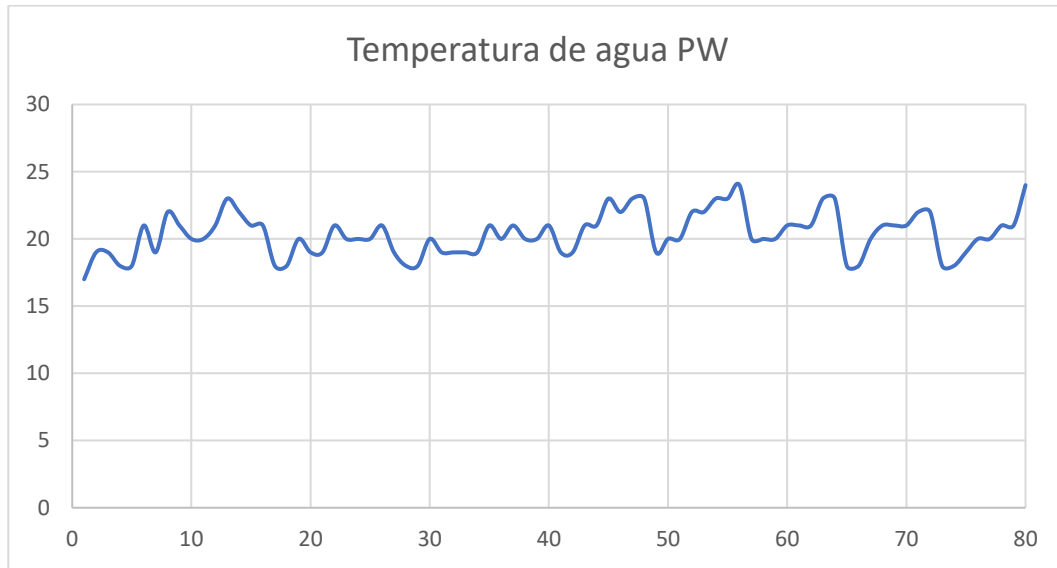
en cada uno de los sistemas HVAC y PW, los valores obtenidos de la variable de temperatura se presenta en la tabla 13.

Tabla 13. Seguimiento a variable de temperatura en los sistemas HVAC y PW.

Hora	Sistema	Temperatura °C									
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
11:00 pm - 12:00 am	HVAC	24	23	23	22	23	24	24	25	23	24
	PW	17	21	18	20	19	19	19	20	18	18
12:00 am - 01:00 am	HVAC	22	22	24	22	23	23	24	25	22	24
	PW	19	20	18	21	19	19	20	20	18	18
01:00 am - 02:00 am	HVAC	25	24	24	24	23	22	23	24	22	22
	PW	19	20	20	19	21	21	20	20	20	19
02:00 am - 03:00 am	HVAC	22	23	24	23	24	25	23	24	23	23
	PW	18	21	19	18	20	21	22	21	21	20
03:00 am - 04:00 am	HVAC	22	22	23	22	23	25	23	22	23	22
	PW	18	23	19	18	21	23	22	21	21	20
04:00 am - 05:00 am	HVAC	23	23	22	24	23	23	22	22	22	22
	PW	21	22	21	20	20	22	23	21	21	21
05:00 am - 06:00 am	HVAC	23	24	22	23	22	23	22	23	24	23
	PW	19	21	20	19	20	23	23	23	22	21
06:00 am - 07:00 am	HVAC	24	24	24	23	22	24	23	23	24	23
	PW	22	21	20	19	21	23	24	23	22	24

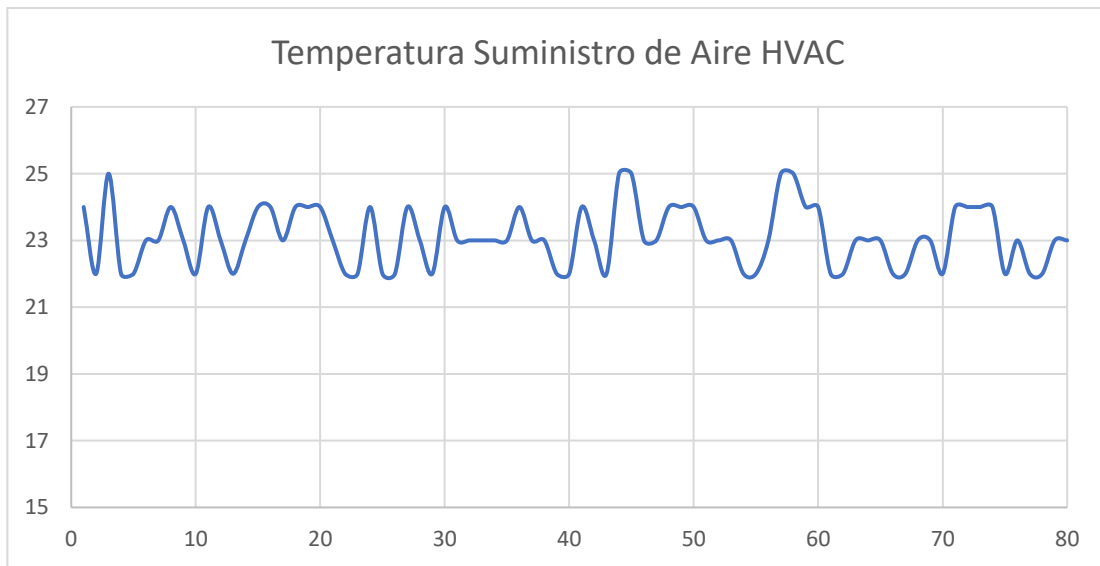
Los valores de temperatura del sistema de agua PW debe estar entre 15-22 °C, mientras que la temperatura de las áreas de producción debe estar entre 22-28 °C. En la figura 21 se presenta el comportamiento de la temperatura en el loop de recirculación del sistema de agua PW, mientras que en la figura 22 se observa el comportamiento de la temperatura del aire suministrado por el sistema HVAC.

Figura 21. Temperatura del loop de agua PW.



Fuente: Propia

Figura 22. Temperatura de suministro de aire del HVAC.



Fuente: Propia.

De los resultados obtenidos de los datos de temperatura, tomados durante los 10 días que se realizaron las pruebas, se puede decir que, al modificar las horas de operación de los chillers,

pasando de operar 20 h/día a operar 16 h/día, la temperatura de los sistemas HVAC y PW se mantiene dentro de los rangos establecidos por la compañía farmacéutica ABC.

Con esta propuesta de operación de los Chiller, se pasará de una operación mensual de 600 horas a 460 horas aproximadamente por equipo. En la tabla 14 se presenta el ahorro energético de los chillers.

Tabla 14. Consumo de energía eléctrica en las áreas de la compañía ABC.

	Chiller 1	Chiller 2
Consumo eléctrico (kW)	49.8	50.3
Consumo eléctrico diario, operación 20 horas (kWh)	997.43	1007.19
Consumo eléctrico diario, operación 16 horas (kWh)	797.95	805.75
Consumo eléctrico mensual, operación 20 horas (kWh)	29,923.18	30,215.83
Consumo eléctrico mensual, operación 16 horas (kWh)	23,938.54	24,172.66
Ahorro de energía eléctrica por chiller. (kWh/mes)	5,984.63	6,043.16
Ahorro de energía eléctrica total mensual.	12,028	kWh/mes

De los datos obtenidos en la tabla 14 se observa que, con la nueva propuesta de operar los chillers apagados desde las 11:00 pm hasta las 7:00 am, la compañía ahorra mensualmente 12,027 kWh, en un año representa un ahorro total aproximadamente de 144,324 kWh. Este ahorro en el consumo de energía eléctrica por los chillers, se ve reflejado en una disminución considerable en la huella de carbono de la compañía. Esta disminución de emisión de CO₂ se calcula con la fórmula 2, obteniendo lo siguiente.

Fórmula 4. Disminución de emisiones de CO2 por operación de Chillers.

$$\text{EmisionCO}_2 = 144,324 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times 0,112 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}}$$

$$\text{Emisión CO}_2 = 16,164 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{año}}$$

Un total de aproximadamente 16 tonCO₂-eq por año lograría reducir la compañía farmacéutica ABC si implementa esta alternativa propuesta para la operación de los chillers.

Alternativa para reducir consumo eléctrico del HVAC: Otro sistema que presenta una alta demanda de energía eléctrica es el sistema de HVAC. Estos equipos son los encargados de garantizar las condiciones ambientales, de humedad, presión diferencial y temperatura, en las áreas de producción para garantizar que la compañía cumple con los estándares establecidos por los entes regulatorios para la fabricación de productos farmacéuticos y cosméticos.

Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en el sistema HVAC es garantizar la calidad del aire de las salas limpias o áreas de manufactura y envase, las áreas se encuentran clasificadas como ISO 8. Básicamente esta clasificación de área establece determinados parámetros y requisitos que se deben tener en cuenta para garantizar una sala limpia que no represente riesgos de contaminación en la fabricación de los productos farmacéuticos. Una sala limpia ISO 8 debe contar con filtración HEPA, se deben realizar un mínimo de 20 cambio de aire por hora, se debe asegurar una presión diferencial positiva en las salas para evitar el ingreso de material particulado a las áreas y se debe garantizar un conteo de partículas, de tamaño mayor o igual a 0,5 µm, menor a 3.520.000.

En la tabla 15 se presentan los datos de la validación del sistema HVAC en la cual se presentan los volúmenes de las áreas que corresponden a las manejadoras de aire 9, 10 y 11, también se presenta el caudal de aire suministrado por las unidades manejadoras y el número de cambios por hora de aire calculado con los datos obtenidos.

Para lograr una reducción en el consumo eléctrico del sistema HVAC se propone disminuir el número de cambio de aire de 20 a 15 cambios por hora. Los cambios de aire por hora se calculan como se indica en la fórmula 5.

Fórmula 5. Cálculo de Cambios de Aire por Hora para sala limpia.

$$\text{Cambios de Aire por Hora (C. A. H)} = \frac{\text{Caudal de aire suministrado}}{\text{Volumen del cuarto m}^3}$$

Para realizar las mediciones del caudal de aire suministrado se cuenta con un equipo multímetro AirData ADM-880C, con su respectivo certificado de calibración vigente hasta el año 2025, este equipo se instala en los puntos de suministro de aire, calidad ISO 8, a las áreas de empaque, pasillos y bodega y registra el caudal de aire suministrado por la unidad manejadora.

Tabla 15. Validación de cambios de aire por hora UMA 9, 10 y 11.

UNIDAD MANEJADORA DE AIRE	CUARTO	VOLUMEN (m3)	CAUDAL DE SUMINISTRO (m3/h)	C.A.H REQUERIDOS	C.A.H CALCULADO	RESULTADO
UMA 09-ABC	Pasillo de Empaque 1	185,5	3755	≥ 20	20	CUMPLE
	Pasillo de Materiales 1	29,5	623	≥ 20	21	CUMPLE
	Pasillo de Personal 1	13,6	327	≥ 20	24	CUMPLE
	Pasillo de Empaque 2	105,8	2148	≥ 20	20	CUMPLE
	Pasillo Bodega 1	29,5	594	≥ 20	20	CUMPLE
	Pasillo Bodega 2	13,6	326	≥ 20	24	CUMPLE
	Pasillo Empaque 3	95,1	1975	≥ 20	21	CUMPLE
UMA 10-ABC	Pasillo Empaque 4	23,6	580	≥ 20	24	CUMPLE
	Pasillo de Materiales 2	40,4	817	≥ 20	20	CUMPLE
	Pasillo Personal 2	16	362	≥ 20	23	CUMPLE
	Pasillo Empaque 5	107,1	2155	≥ 20	20	CUMPLE
	Pasillo Bodega 3	18,4	369	≥ 20	20	CUMPLE
	Pasillo Bodega 4	22,4	566	≥ 20	25	CUMPLE
	Pasillo Empaque 5	34,5	709	≥ 20	21	CUMPLE
	Pasillo Bodega 5	10,7	240	≥ 20	22	CUMPLE
UMA 11-ABC	Pasillo Empaque 6	41,7	863	≥ 20	21	CUMPLE
	Pasillo Empaque 6	22,8	590	≥ 20	25	CUMPLE
	Pasillo Empaque 7	38,6	825	≥ 20	21	CUMPLE
	Pasillo Empaque 8	19,3	390	≥ 20	23	CUMPLE
	Pasillo Empaque 9	113,8	2300	≥ 20	20	CUMPLE

	Pasillo Empaque 10	98,5	2025	≥ 20	20	CUMPLE
	Pasillo Bodega 6	25,7	566	≥ 20	22	CUMPLE
	Pasillo Bodega 7	33,5	709	≥ 20	21	CUMPLE

Fuente: Qvaltec, 2021, Informe de validación sistema HVAC de la compañía ABC.

Con los datos presentados en la tabla 15 y haciendo uso de la fórmula 5, se calcula el caudal de suministro necesario para garantizar 15 cambios de aire por hora (C.A.H) como se presenta en la fórmula 6.

Fórmula 6. Cálculo de Caudal requerido para determinado C.A.H.

$$\text{Caudal de aire suministrado} = \text{C.A.H} \times \text{Volumen del cuarto } m^3$$

$$\text{Caudal de aire suministrado} = 15 \times \text{Volumen del cuarto } m^3$$

Estos nuevos valores de caudales requeridos para suministrar a las áreas, se presentan en la tabla 16.

Tabla 16. Caudal de suministro de aire para garantizar 15 C.A.H.

UNIDAD MANEJADORA DE AIRE	CUARTO	VOLUM EN (m3)	C.A.H REQUERIDOS	CAUDAL DE SUMINISTRO CALCULADO (m3/h)
UMA 09-ABC	Pasillo de Empaque 1	185,5	≥ 15	2783
	Pasillo de Materiales 1	29,5	≥ 15	443
	Pasillo de Personal 1	13,6	≥ 15	204
	Pasillo de Empaque 2	105,8	≥ 15	1587
	Pasillo Bodega 1	29,5	≥ 15	443
	Pasillo Bodega 2	13,6	≥ 15	204
	Pasillo Empaque 3	95,1	≥ 15	1427
UMA 10-ABC	Pasillo Empaque 4	23,6	≥ 15	354
	Pasillo de Materiales 2	40,4	≥ 15	606
	Pasillo Personal 2	16	≥ 15	240
	Pasillo Empaque 5	107,1	≥ 15	1607
	Pasillo Bodega 3	18,4	≥ 15	276
	Pasillo Bodega 4	22,4	≥ 15	336
	Pasillo Empaque 5	34,5	≥ 15	518
	Pasillo Bodega 5	10,7	≥ 15	161
UMA 11-ABC	Pasillo Empaque 6	41,7	≥ 15	626
	Pasillo Empaque 6	22,8	≥ 15	342

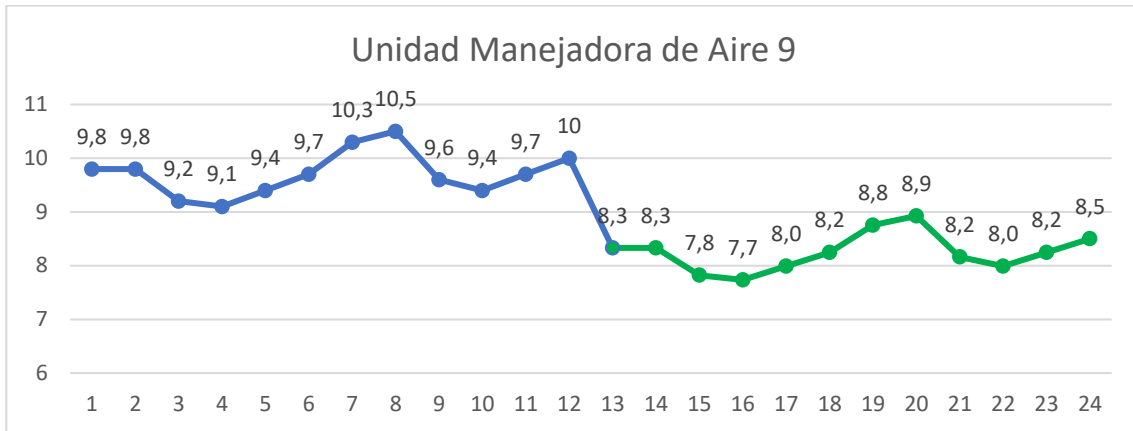
	Pasillo Empaque 7	38,6	≥ 15	579
	Pasillo Empaque 8	19,3	≥ 15	290
	Pasillo Empaque 9	113,8	≥ 15	1707
	Pasillo Empaque 10	98,5	≥ 15	1478
	Pasillo Bodega 6	25,7	≥ 15	386
	Pasillo Bodega 7	33,5	≥ 15	503

Fuente: Propia.

Se socializa esta alternativa con el superintendente de la planta y la jefe de producción, quienes dan aval para realizar estas modificaciones. Se realiza ajuste de operación de las unidades manejadoras de aire 9, 10 y 11 desde el SCADA, se modifica el caudal de suministro para garantizar que las unidades manejadoras de aire realicen 15 cambios por hora y no 20 como estaba definido desde el inicio de la operación de la compañía.

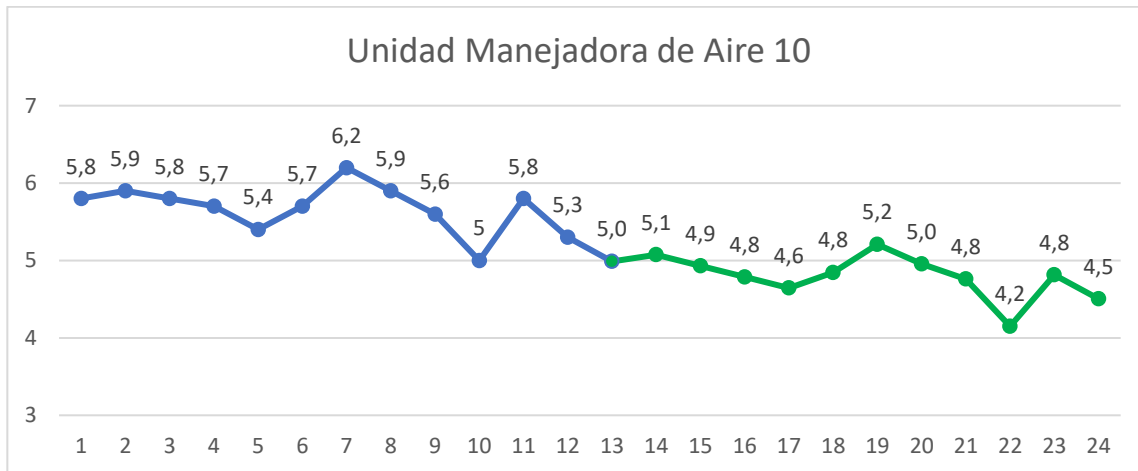
En primera instancia se modifica la operación de las UMA encargadas de garantizar las condiciones de los pasillos, bodega y área de empaque. Se determina iniciar con estos equipos ya que en estas áreas no se ve afectada la calidad de los productos, ya que en estas áreas no hay flujo de materia prima y el producto terminado se encuentran en su empaque. Para poder cuantificar cuanto sería el ahorro de energía eléctrica al disminuir el número de cambios por hora de aire de las áreas de empaque y pasillos, se realiza inicialmente 12 mediciones de consumo de corriente de las 3 unidades manejadoras de aire, posteriormente se realiza el ajuste en el sistema SCADA y se toman otras 12 mediciones de consumo de corriente. Este cambio en la operación de las unidades manejadoras de aire (UMA) 9, 10 y 11 representan una disminución de aproximadamente 14% el cual se puede observar en las figuras 23, 24 y 25.

Figura 23. Consumo de corriente eléctrica (A) UMA 9.



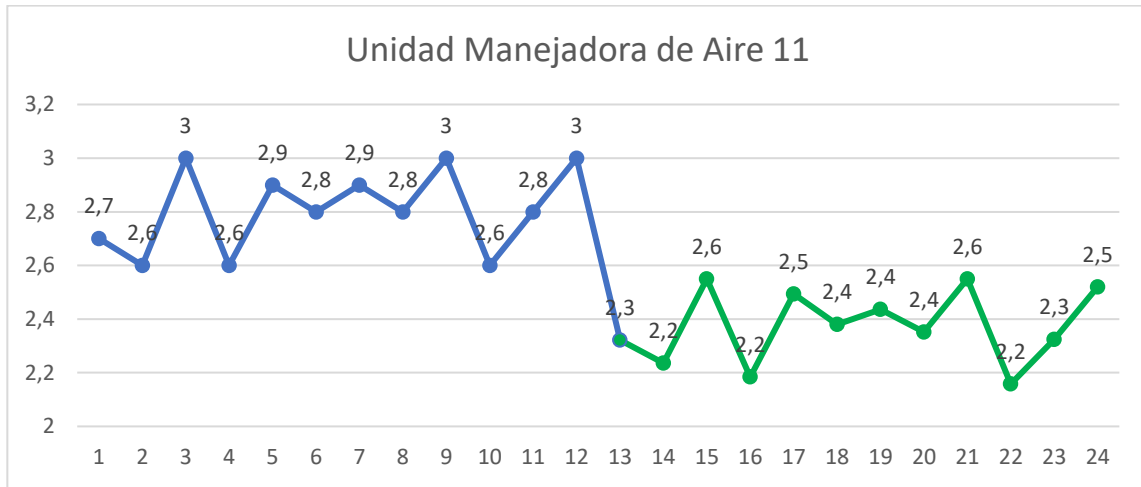
Fuente: Propia.

Figura 24. Consumo de corriente eléctrica (A) UMA 10.



Fuente: Propia.

Figura 25. Consumo de corriente eléctrica (A) UMA 11.



Fuente: Propia.

La disminución de consumo eléctrico, con la reducción del caudal de suministro de aire, de las UMA 9, 10 y 11 se presentan en la tabla 17.

Tabla 17. Disminución de consumo eléctrico, 15 C.A.H.

	UMA 09	UMA 10	UMA 11
Consumo eléctrico 20 C.A.H (kW)	6,95	4,51	1,67
Consumo eléctrico diario, 20 C.A.H (kWh)	166,81	108,28	40,09
Consumo eléctrico 15 C.A.H (kW)	5,06	2,93	1,46
Consumo eléctrico diario, 15 C.A.H. (kWh)	121,45	70,24	35,12
Ahorro de energía diaria por UMA. (kWh)	45,36	38,04	4,98
Ahorro de energía mensual por UMA. (kWh)	1360,81	1141,32	149,25
Ahorro de energía eléctrica total mensual. (kWh)	2,651		kWh/mes

Fuente: Propia.

De los datos obtenidos en la tabla 16 se identifica que, con la nueva propuesta de realizar 15 C.A.H en las áreas de empaque y pasillos, la compañía ahorra mensualmente 2,651 kWh, en un año representa un ahorro total aproximadamente de 31,812 kWh. Este ahorro en el consumo de energía eléctrica por las unidades manejadoras de aire 9, 10 y 11, repercute en una disminución considerable en la huella de carbono de la compañía. Esta disminución de emisión de CO₂ se calcula con la fórmula 2, obteniendo lo siguiente.

Fórmula 7. Disminución de emisiones de CO₂ por operación de UMA pasillos y empaque.

$$\text{EmisionCO}_2 = 31,812 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times 0,112 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}}$$

$$\text{Emisión CO}_2 = 3,562 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{año}}$$

Un total de aproximadamente 3.5 tonCO₂-eq por año lograría reducir la compañía farmacéutica ABC si implementa la alternativa de pasar de realizar 20 C.A.H a 15 C.A.H en las áreas de empaque y pasillos de la compañía farmacéutica ABC.

Una vez que la compañía apruebe realizar estos cambios en la operación de las unidades manejadoras, se debe garantizar que el otro de los puntos críticos para garantizar la clasificación de salas limpias como ISO 8, el número máximo permitido de partículas de 0,5 µm y 5 µm se encuentre dentro de los rangos establecidos. Esta validación se realiza con una empresa contratista prestadora de estos servicios y se obtiene los datos presentados en la tabla 18, en la cual se puede observar que el conteo de partículas se mantiene dentro del rango establecido para áreas ISO 8.

Tabla 18. Conteo de partículas en las áreas luego de modificar operación de unidades manejadoras de aire.

UNIDAD MANEJADORA DE AIRE	CUARTO	CANTIDAD DE PARTICULAS DE TAMAÑO POR m3		LIMITE PARA PARTICULAS DE TAMAÑO POR m3		RESULTADO
		0,5 µm	5 µm	0,5 µm	5 µm	
UMA 09-ABC	Pasillo de Empaque 1	11.616	1.408	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo de Materiales 1	9.152	1.408	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo de Personal 1	7.392	0	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo de Empaque 2	5.632	1.056	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo Bodega 1	7.744	352	3.520.000	29.000	CUMPLE

	Pasillo Bodega 2	6.336	352	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo Empaque 3	6.336	352	3.520.000	29.000	CUMPLE
UMA 10-ABC	Pasillo Empaque 4	5.632	704	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo de Materiales 2	5.632	0	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo Personal 2	4.576	1.056	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo Empaque 5	4.928	704	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo Bodega 3	7.040	704	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo Bodega 4	7.040	352	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo Empaque 5	8.448	352	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo Bodega 5	7.392	1.408	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo Empaque 6	5.280	1.408	3.520.000	29.000	CUMPLE
UMA 11-ABC	Pasillo Empaque 6	3.872	352	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo Empaque 7	4.928	2.464	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo Empaque 8	6.336	1.408	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo Empaque 9	7.040	1.408	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo Empaque 10	4.576	1.760	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo Bodega 6	7.392	704	3.520.000	29.000	CUMPLE
	Pasillo Bodega 7	5.984	3.168	3.520.000	29.000	CUMPLE

Fuente: Qvaltec, 2021, Informe de validación sistema HVAC de la compañía ABC.

La siguiente etapa de esta alternativa para reducir el consumo de electricidad del sistema HVAC, consiste en modificar los cambios de aire por hora de 20 a 15 para las unidades manejadoras de aire encargadas de garantizar las condiciones ambientales de las áreas de manufactura y envase. Al ser estas áreas críticas para el proceso de producción, estos cambios deben someterse a un proceso de validación el cual se realiza con una empresa contratista prestadora del servicio de calificaciones y validaciones de equipos y sistemas para compañías farmacéuticas.

A continuación, se presenta el ahorro de energía eléctrica que podría lograr la compañía farmacéutica si decidiera modificar las otras nueve unidades manejadoras de aire para que generen 15 C.A.H. Inicialmente se calcula potencia eléctrica que consumirían las unidades manejadoras de aire si se reduce el caudal de alimentación, ya que como se mencionó anteriormente a mayor caudal de aire mayor representa un mayor cambio de aire por hora. Este cálculo se hace suponiendo un ahorro de 14%, similar al obtenido en las UMA 9, 10 y 11.

De los datos presentados en el anexo 1, se tiene que el consumo eléctrico de las UMA 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 12 es aproximadamente 1665 kWh/día, con una reducción del 14% el consumo diario de estas UMA sería de aproximadamente 1400 kWh/día, como se puede observar en la tabla 18.

Tabla 19. Ahorro energía eléctrica consumida por mes con 15 C.A.H.

	UMA 01	UMA 02	UMA 03	UMA 04	UMA 05	UMA 06	UMA 07	UMA 08	UMA 12
Consumo eléctrico 20 C.A.H (kW)	11.34	6.83	10.85	10.49	4.51	7.32	8.17	5.85	4.02
Consumo eléctrico diario, 20 C.A.H (kWh)	272.16	163.88	260.46	251.68	108.28	175.59	196.07	140.47	96.57
Consumo eléctrico 15 C.A.H (kW)	9.75	5.87	9.33	9.02	3.88	6.29	7.03	5.03	3.46
Consumo eléctrico diario, 15 C.A.H. (kWh)	234.06	140.94	223.99	216.44	93.12	151.01	168.62	120.80	83.05
Ahorro de energía diaria por UMA. (kWh)	38.10	22.94	36.46	35.23	15.16	24.58	27.45	19.67	13.52
Ahorro de energía mensual por UMA. (kWh)	1,143.08	688.31	1,093.92	1,057.04	454.77	737.47	823.51	589.98	405.61
Ahorro de energía eléctrica total mensual. (kWh)	6,994		kWh/mes						

Esta disminución se reflejaría en una reducción de la huella de carbono de la compañía ABC en aproximadamente 9.4 tonCO₂-eq como se presenta a continuación.

Fórmula 8. Disminución de emisiones de CO₂ por operación de UMA manufactura y envase.

$$\text{EmisionCO}_2 = 83,928 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times 0,112 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}}$$

$$\text{Emisión CO}_2 = 9,400 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{año}}$$

7. CONCLUSIONES

El presente estudio estimó la huella de carbono de la compañía Farmacéutica ABC para el año 2023 en 569 t CO₂-eq, con una intensidad de emisión de 37 kg CO₂-eq por tonelada de producto terminado. El análisis de las fuentes de emisión reveló una distribución de 29% para el Alcance 1 y 71% para el Alcance 2, siendo el consumo de energía eléctrica la actividad con mayor contribución a la huella de carbono de la compañía.

Un hallazgo clave fue la identificación de tres sistemas principales como altos consumidores de energía eléctrica dentro del Alcance 2: el sistema HVAC (32%), los chillers (21%) y los compresores de aire (10%). Estos sistemas representan puntos críticos para la implementación de estrategias de reducción del consumo energético y, por ende, de la huella de carbono indirecta.

La propuesta de tres escenarios de mejora para disminuir el consumo eléctrico en estos sistemas específicos presenta un potencial de reducción de la huella de carbono de la compañía en aproximadamente 35 t CO₂-eq por año, lo que equivale a una disminución del 6% de la huella total. Esta reducción se asocia a un ahorro energético estimado de 264,745 kWh/año, con un beneficio económico potencial de \$ 153 022,691 anuales.

Adicionalmente, se estimó que el consumo de agua de la compañía generó emisiones indirectas equivalentes a 1.2 t CO₂-eq durante el año 2023, lo que sugiere la relevancia de considerar la eficiencia en el uso de este recurso.

Es importante reconocer que este estudio se centró en los Alcances 1 y 2 del protocolo GHG. Futuras investigaciones podrían ampliar el análisis para incluir las emisiones del Alcance 3, proporcionando una visión más completa de la huella de carbono de la compañía, incluyendo la cadena de suministro y el ciclo de vida de los productos. Además, un análisis más detallado de la eficiencia energética de los equipos específicos dentro de los sistemas HVAC, chillers y compresores podría refinar las propuestas de mejora.

Los resultados de este estudio proporcionan una línea base para que la compañía Farmacéutica ABC priorice la implementación de medidas de mitigación de su huella de carbono, enfocándose inicialmente en la optimización del consumo eléctrico en los sistemas de alto impacto

identificados. La viabilidad económica de las propuestas de mejora podría facilitar su adopción como parte de una estrategia de sostenibilidad a largo plazo.

Se proponen 3 escenarios para disminuir el consumo eléctrico de los 3 sistemas mencionados anteriormente, logrando una disminución en las emisiones de la compañía farmacéutica ABC aproximadamente igual a 35 t CO₂-eq por año, equivalente a una reducción del 6% en la huella de carbono de la compañía.

El análisis del consumo energético detallado (Anexo 1, páginas 78-80) revela que equipos específicos dentro de los sistemas HVAC, chillers y compresores, como el CHILLER YORK y las MANEJADORAS DE AIRE, junto con equipos de producción como el HORNO TERMOENCOGIBLE THOR y el MEZCLADOR SYMEX, representan los mayores consumidores individuales de energía eléctrica en la compañía. Estos equipos deben ser prioritarios en las evaluaciones de eficiencia y en la implementación de las mejoras propuestas en los escenarios.

Se observa una variabilidad en las horas de operación de los equipos a lo largo del mes, lo que sugiere oportunidades para optimizar los programas de producción y el apagado de equipos cuando no estén en uso. Un análisis más detallado de los patrones de producción podría identificar momentos de ineficiencia energética.

La métrica de 37 kg CO₂-eq por tonelada de producto terminado proporciona un indicador de la intensidad de carbono de la producción. El seguimiento de este indicador a lo largo del tiempo permitirá evaluar la efectividad de las estrategias de reducción implementadas y compararla con mejores prácticas del sector.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de la disminución de la huella de carbono de la compañía farmacéutica ABC.

Tabla 20. Disminución huella de carbono de la compañía farmacéutica ABC.

Alternativa	Disminución de emisión de CO₂-eq/Año
Compresores de Aire (kg).	5944
Chillers (kg).	16164
UMA pasillo y empaque (kg).	3562

UMA Manufactura y envase (kg).	9400
Total Ahorro por Año (t CO2-eq)	35

Fuente: Propia

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alava, D.A. (2015). Cálculo de la huella de carbono bajo la metodología de Green House Gas Protocol.
- Andi. (2021). Informe de la Encuesta de Opinión Industrial Conjunta. Asociación Nacional de Empresarios de Colombia.
- Buchanan, R. (2020). Sustainable Practices in the Pharmaceutical Industry. *Journal of Business Ethics*, (pp. 887-903).
- Castaño, M.V., Rodríguez, E.G. (2013). Estimación de la huella de carbono corporativa en la industria de alimentos de consumo masivo colombiano. Aplicación en la producción de jugo de fruta.
- Castro, A. (2022). Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) generadas por las operaciones y el turismo en el Parque Nacional Natural Chingaza.
- CIIU. (2019). Clasificación Industrial Internacional Uniforme. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- Colombia productiva. (2019). Plan de negocios sector farmacéutico visión a 2032.
- Cruz, M., López, R. (2020). Reducción de Emisiones en la Industria Farmacéutica: Un Enfoque Basado en la Eficiencia Energética. *Revista de Ingeniería Energética*, (pp. 35-49).
- Dodd, N., Donatello, S., Cordella, M. (2021). Indicador 1.1 de Level(s): Eficiencia energética en la fase de uso. Manual del usuario: Información introductoria, instrucciones y orientaciones.
- Duarte, S., Sánchez, L. (2021). Impacto Ambiental de la Industria Farmacéutica en Colombia. *Revista de Ciencias Ambientales*, (pp. 45-58).
- Forster, P., T. Storelvmo, K. Armour, W. Collins, J.-L. Dufresne, D. Frame, D.J. Lunt, T. Mauritsen, M.D. Palmer, M. Watanabe, M. Wild, and H. Zhang, 2021: The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, (pp. 923-1054).

- García, C.A., Cotfas, D.T., González Santos, A.I., Cotfas, P.A., León Ávila B.Y. (2024). Refuction of electricity consumption in an AHU using mathematical modelling for controller tuning. *Journal Energy*, (Vol.293).
- González, A., Pérez, J. (2020). Estrategias para la Reducción de la Huella de Carbono en la Industria Farmacéutica. *Revista de Ingeniería*, (pp. 67-75).
- Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. (2013). 7 metodologías para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero.
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2022). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, (pp. 1.1-1.3).
- IPCC. (2022). *Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report*.
- IPCC. (2018). *Resumen técnico del Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*.
- Instituto de Estudios Ambientales (2017). *Consultoría para el análisis y evaluación de la situación actual de la internacionalización de costos ambientales y en salud por la gestión de residuos en Colombia. Fase II*. Universidad Nacional de Colombia.
- Jackson T., Belkhir, L. (2018). The Carbon Footprint of the Pharmaceutical Industry. *Journal of Cleaner Production*, (pp. 123-134).
- Karliner, J., Slotterback, S., Boyd, R., Ashby, B., Steele, K. (2019). Health care's climate footprint. How the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action.
- Kumar, S., Kaur, R. (2019). *Pharmaceutical Industry and Carbon Footprint: A Review*. *Environmental Science and Pollution Research*.
- Martínez, M.C., Cervantes, A.L, Marcelino, M. (2022). *Indicadores de Carbono en la Industria Farmacéutica: Huella de Carbono vs Huella Ecológica*.
- Mercante, I.T. (2007). Caracterización de residuos de la construcción. Aplicación de los índices de generación de la gestión ambiental. *Revista Científica de Primavera*. (Vol XI N°2).

- Ministerio de Salud y Protección Social. (2021). Plan Nacional de Salud Pública 2021-2026.
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Resolución 0849 de 2022: Formulación e Implementación de Planes Integrales de Gestión del Cambio Climático.
- Moreno, J.E. (2013). Estimación de la Huella de Carbono en una planta extractora de aceite de palma en Colombia. Estudio de caso.
- OECD. (2021). Environmental Policy and Technological Innovation in the Pharmaceutical Sector.
- Otalora, P.T. (2022). Elaboracion del procedimiento para el calculo de la huella de carbono empresarial de ENEL Colombia.
- Penman, J., Kruger, D., Galbally, I., Hiraishi, T., Nyenzi, B., Emmanuel, S., Buendia, L., Hoppaus, R., Martinsen, T., Meijer, J., Miwa K., Tanabe K. (2000). Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, (pp. 3.9-3.140)
- Pérez, M., Martínez, J. (2019). El Futuro de la Industria Farmacéutica en el Contexto del Cambio Climático. Análisis y Perspectivas Ambientales, (pp. 78-92).
- Poon C. S., Yu A.T.W., Ng L.H (2001). On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong. Resour Conserv Recyc, (Vol.77, pp. 157–72).
- Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería. (2020). Metodologías para la estimación de la huella de CO2 en instituciones de educación superior: explorando un modelo para implementar en la Escuela, (Vol.119, pp. 43-52).
- Rodríguez, C. A. (2020). Revisión de los factores de emisión en las metodologías de huella de carbono en Colombia. Revista Espacios, (Vol.41, pp. 74-84).
- Romero, M.C., Salazar, J.S., Hoes, T. (2020). Metodologías para la estimación de la huella de CO2 en instituciones de educación superior: explorando un modelo para implementar en la Escuela.
- Solís-Guzmán, J., Marrero, M., Montes-Delgado, M.V., Ramírez-de-Arellano A. A. (2009). Spanish model for quantification and management of construction waste. Waste Manage.
- Tanaka, K. (2010). Policy update: Multicomponent climate policy: why do emission metrics matter?

- UN Framework Convention on Climate Change. (2018). Methodological tool: Tool to calculate the emission factor for an electricity system.
- UPME. (2023). Estudio técnico para la adopción del plan de abastecimiento de gas natural 2023-2038.
- UPME. (2022). Factores de Emisión del Sistema Interconectado Nacional (SIN) en Colombia para el 2022.
- UPME. (2016). Factores de Emisión de los combustibles colombianos (FECOC 16).
- UPME. (2023). Factores de Emisión de los combustibles colombianos (FECOC +).
- UPME. (2024). Resolución 0705 de 2024. “Por la cual se modifica la Resolución 000762 de 2023, mediante la cual se actualizó el factor de emisión del Sistema Interconectado Nacional del 2022 para inventarios de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y proyectos de mitigación de GEI”.
- Vakiloroaya, V., Samali, B., Fakhar, A., Pishghadam, K. (2014). A review of different strategies for HVAC energy saving. *Journal Energy Conversion and Management*, (pp. 738-754).
- Varela M., Rodriguez J.P. (2014). Estimación de generación y composición de residuos de construcción en la ciudad de Villavicencio. Universidad Santo Tomás. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil.
- World Resources Institute. (2019). Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard.

9. GLOSARIO DE TERMINOS ESPECIALES

Acuerdo de Paris: Tratado internacional que busca limitar el calentamiento global a menos de 2 °C respecto a niveles preindustriales.

Asociación nacional de industriales ANDI: Gremio empresarial colombiano que tiene como objetivo difundir los principios políticos, económicos y sociales de las compañías que lo componen.

Cadena de suministro: Conjunto de procesos y actividades que permiten llevar un producto desde su producción hasta el consumidor final.

Cálculo de emisiones: Proceso de estimar la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por una actividad o proceso.

Calentamiento global: Incremento gradual en la temperatura del planeta debido al aumento en la emisión de GEI.

Cambio climático: Alteraciones significativas y duraderas en los patrones climáticos globales, principalmente causadas por actividades humanas.

Compensación de carbono: Proceso de compensar las emisiones de carbono a través de proyectos que reducen, evitan o capturan emisiones.

Desarrollo sostenible: Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones.

Eficiencia energética: Uso de menos energía para proporcionar el mismo servicio o resultado.

Energías no renovables: Fuentes de energía que no se regeneran a un ritmo sostenible, como los combustibles fósiles.

Energías renovables: Fuentes de energía que se regeneran de manera natural, como la solar, eólica y geotérmica.

Gases de efecto invernadero GEI: Son los gases que atrapan el calor en la atmósfera y contribuyen al efecto invernadero.

Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático IPCC: grupo creado en 1988 por la organización meteorológica mundial OMM para analizar la información científica sobre el cambio climático.

Huella de carbono: Medida de la cantidad total de gases de efecto invernadero emitidos directa o indirectamente por una persona, organización o producto.

Huella ecológica: indicador que mide el impacto que el estilo de vida actual tiene sobre el medio ambiente.

Impacto ambiental: Cualquier alteración en el sistema ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al proyecto.

Normas ISO: Conjunto de normas internacionales que garantizan la calidad, seguridad y eficiencia de productos y servicios.

Potencial de Calentamiento Global: Es una medida que nos permite comparar el impacto que los diferentes gases de efecto invernadero sobre el calentamiento global. Es decir, nos indica cuántas veces más caliente la atmósfera un gas en particular, en comparación con una misma cantidad de dióxido de carbono (CO₂) durante un período determinado de tiempo, generalmente 100 años.

Producción limpia: Proceso que minimiza la generación de residuos y la contaminación mediante la optimización de recursos.

Protocolo de Kioto: Acuerdo internacional que establece compromisos para la reducción de gases de efecto invernadero.

Sostenibilidad: Capacidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.

ANEXOS.

Anexo A. Consumo eléctrico de equipos de apoyo critico la compañía farmacéutica ABC.

Tabla A1

Consumo eléctrico de equipos de apoyo crítico.

APOYO CRITICO											
Equipo	Consumo	Unidades	Voltaje	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 4	Corriente 5	Promedio	Horas Mes	kWh/mes
COMPRESOR DE AIRE 1	18,4123929	kW	440	30	31	29	30	31	30,2	720	13256,92
COMPRESOR DE AIRE 2	18,6562657	kW	440	32	30	30	31	30	30,6	720	13432,51
CHILLER TRANE RTAC 155 # 1	49,8719781	kW	440	85	79	80	83	82	81,8	600	29923,19
CHILLER TRANE RTAC 155 # 2	50,3597236	kW	440	83	83	81	84	82	82,6	600	30215,83
PLANTA DE EMERGENCIA 1											
PLANTA DE EMERGENCIA 2											
TANQUE ALMACENAMIENTO PW	5,2432642	kW	440	10	8	9	8	8	8,6	720	3775,15
PLANTA GENERACION PW	6,8284371	kW	440	12	12	11	10	11	11,2	500	3414,219
PRETRATAMIENTO PW	2,07291841	kW	440	3	4	3	3	4	3,4	450	932,8133
LOOP PW	5,97488247	kW	440	11	9	10	9	10	9,8	720	4301,915
UNIDAD MANEJADORA DE AIRE UMA 01	11,340083	kW	440	20	20	18	18	17	18,6	720	8164,86

UNIDAD MANEJADORA DE AIRE UMA 02	6,8284371	kW	440	11	12	11	12	10	11,2	720	4916,475
UNIDAD MANEJADORA DE AIRE UMA 03	10,8523375	kW	440	18	18	17	19	17	17,8	720	7813,683
UNIDAD MANEJADORA DE AIRE UMA 04	10,4865284	kW	440	16	18	17	17	18	17,2	720	7550,3
UNIDAD MANEJADORA DE AIRE UMA 05	4,51164594	kW	440	7	7	8	7	8	7,4	720	3248,385
UNIDAD MANEJADORA DE AIRE UMA 06	6,21875522	kW	440	11	10	11	10	9	10,2	720	4477,504
UNIDAD MANEJADORA DE AIRE UMA 07	8,16973725	kW	440	15	12	13	13	14	13,4	720	5882,211
UNIDAD MANEJADORA DE AIRE UMA 08	5,85294609	kW	440	9	9	10	9	11	9,6	720	4214,121
UNIDAD MANEJADORA DE AIRE UMA 09	6,95037348	kW	440	10	12	11	13	11	11,4	720	5004,269
UNIDAD MANEJADORA DE AIRE UMA 10	4,51164594	kW	440	7	7	8	7	8	7,4	720	3248,385
UNIDAD MANEJADORA DE AIRE UMA 11	1,67052836	kW	440	3	2,5	2,9	2,7	2,6	2,74	720	1202,78
UNIDAD MANEJADORA DE AIRE UMA 12	4,02390044	kW	440	7	6	6	8	6	6,6	720	2897,208
UNIDAD MANEJADORA DE AIRE EXTERIOR UMAE 01	4,51164594	kW	440	8	7	7	8	7	7,4	720	3248,385
UNIDAD MANEJADORA DE AIRE EXTERIOR UMAE 02	4,38970957	kW	440	7	8	7	7	7	7,2	720	3160,591

UNIDAD EXTRACTORA UE 01	3,41421855	kW	440	5	5	6	7	5	5,6	720	2458,237
UNIDAD EXTRACTORA UE 02	4,02390044	kW	440	8	6	7	6	6	6,6	720	2897,208
UNIDAD EXTRACTORA UE 03	1,95098203	kW	440	3	3	4	3	3	3,2	720	1404,707
CABINA FLUJO LAMINAR FL01	2,07291841	kW	440	4	4	3	3	3	3,4	120	248,7502
CABINA FLUJO LAMINAR FL02	3,04840942	kW	440	5	5	6	4	5	5	150	457,2614
CABINA FLUJO LAMINAR FL03	2,07291841	kW	440	4	4	3	3	3	3,4	90	186,5627
CABINA FLUJO LAMINAR FL04	2,56066391	kW	440	5	5	4	3	4	4,2	90	230,4598
CABINA FLUJO LAMINAR FL05	1,46323652	kW	440	3	2	2	3	2	2,4	120	175,5884
CABINA FLUJO LAMINAR FL06	1,46323652	kW	440	2	2	3	3	2	2,4	90	131,6913
CABINA FLUJO LAMINAR FL07	1,5851729	kW	440	3	3	2	3	2	2,6	210	332,8863
CUARTO CLIMATIZADO MATERIA PRIMA	14,2665561		440	23	25	22	23	24	23,4	720	10271,92
CUARTO CLIMATIZADO PRODUCTO TERMINADO	12,3155741		440	21	20	20	19	21	20,2	720	8867,213

Total	191,944 kWh/mes
--------------	----------------------------

Tabla A2*Consumo eléctrico de equipos de medicamentos*

MEDICAMENTOS											
Equipo	Consumo	Unidades	Voltaje	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 4	Corriente 5	Promedio	Horas Mes	kWh/mes
REACTOR DINEXV 2400 TF-SEM-MAM-0033	39,8731952	kW	440	65	68	65	65	64	65,4	220	8772,1
TANQUE BUFFER 2000 TF-SEM-MAM-0047	14,9981744	kW	440	27	23	24	24	25	24,6	260	3899,53
BOMBA DE TRASIEGO No 1 TF-SEM-MAM-0009	11,2181467	kW	440	20	18	19	18	17	18,4	170	1907,08
BOMBA DE TRASIEGO No 2 TF-SEM-MAM-0010	7,9258645	kW	440	11	13	13	14	14	13	130	1030,36
REACTOR VERSATO 600 TF-SEM-MAM-0035	20,9730568	kW	220	70	68	69	70	67	68,8	90	1887,58
MARMITA AUXILIAR 150 (VERSATO 600)	2,01195022	kW	220	8	6	7	6	6	6,6	50	100,598
REACTOR VERSATO 300 TF-SEM-MAM-0034	15,3639835	kW	220	50	52	49	51	50	50,4	75	1152,3
MARMITA AUXILIAR 150 (VERSATO 300)	1,95098203	kW	220	7	6	7	6	6	6,4	40	78,0393
BOMBA LOBULAR INOXPA TLS 3-50	4,99939145	kW	220	17	18	15	16	16	16,4	45	224,973
BOMBA LOBULAR INOXPA TLS 2-40	4,02390044	kW	220	15	12	13	12	14	13,2	30	120,717
ENVASADORA OMAS MEDICAMENTOS	8,04780087	kW	440	15	12	13	14	12	13,2	375	3017,93
TAPADORA OMAS MEDICAMENTOS	7,07230986	kW	440	14	10	11	12	11	11,6	375	2652,12
TUNEL DE ENFRIAMIENTO OMAS	5,12132783	kW	440	9	7	10	8	8	8,4	375	1920,5

ENVASADORA COMADIS C-1290	9,26716464	kW	440	15	16	15	14	16	15,2	290	2687,48
ENVASADORA COMADIS C-960	4,93842326	kW	220	14	17	16	16	18	16,2	260	1283,99
ENVASADORA ESTELAR	2,92647304	kW	220	8	11	10	9	10	9,6	45	131,691
BOMBA HELICOIDAL LACSON'S	4,08486862	kW	220	13	14	13	15	12	13,4	170	694,428
ESTUCHADORA IMA X1 FARMA	5,97488247	kW	440	10	9	9	10	11	9,8	290	1732,72
BANDA TRANSPORTADORA F1	2,01195022	kW	220	8	6	7	6	6	6,6	375	754,481
BANDA TRANSPORTADORA F3	2,92647304	kW	220	10	9	10	9	10	9,6	220	643,824
BANDA TRANSPORTADORA F4	4,02390044	kW	220	14	13	13	12	14	13,2	260	1046,21
BANDA TRANSPORTADORA F5	3,04840942	kW	220	11	10	10	9	10	10	190	579,198
ETIQUETADORA KETAN	1,95098203	kW	220	7	8	5	6	6	6,4	220	429,216
CODIFICADORA 9042	0,5984	kW	110	3	4	3	3	4	3,4	290	173,536
CODIFICADORA 9450 F3	0,5984	kW	110	4	4	3	3	3	3,4	375	224,4
CODIFICADORA 9450 F4	0,5984	kW	110	3	3	4	3	4	3,4	310	185,504

TUNEL DE CALENTAMIENTO 1	6,88940529	kW	220	24	21	23	22	23	22,6	375	2583,53
TUNEL DE CALENTAMIENTO 2	9,9987829	kW	220	35	32	32	33	32	32,8	280	2799,66
SISTEMA CIP	19,6317567	kW	440	34	30	33	32	32	32,2	170	3337,4

Total	46,051 kWh/mes
--------------	-----------------------

Tabla A3*Consumo eléctrico de equipos de sólidos.*

SÓLIDOS											
Equipo	Consumo	Unidades	Voltaje	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 4	Corriente 5	Promedio	Horas Mes	kWh/mes
AGITADOR DE POLVOS ESTELAR	2,74356848	kW	220	10	9	9	8	9	9	220	603,585
ETIQUETADORA ALTECH	2,01195022	kW	220	6	7	6	7	7	6,6	330	663,944
ETIQUETADORA TAPA KETAN MOD. K-50 M2638	1,0364592	kW	220	4	4	3	3	3	3,4	330	342,032
ENVASADORA DOSA	8,04780087	kW	440	14	12	14	13	13	13,2	330	2655,77
TRASEGADOR OGA FABRICACIÓN	1,95098203	kW	220	6	7	7	6	6	6,4	175	341,422
TRASEGADOR OGA ENVASE OGA	2,01195022	kW	220	7	6	6	7	7	6,6	225	452,689
MOLINO PARA TALCOS FITZMILL COMMINUTOR DA06	2,98744123	kW	220	11	11	9	8	10	9,8	300	896,232
MEZCLADOR LODIGE FKM-600	6,15778703	kW	220	22	20	20	19	20	20,2	330	2032,07
CHEQUEADORA DE PESO	1,0364592	kW	220	4	4	3	3	3	3,4	330	342,032
BANDA TRANSPORTADORA ENVASE/EMPAQUE	0,97549101	kW	220	3	3	3	4	3	3,2	330	321,912
BANDA TRANSPORTADORA EMPAQUE TALCO	1,09742739	kW	220	4	3	4	3	4	3,6	330	362,151

Total	9,013 kWh/mes
--------------	----------------------

Tabla A4*Consumo eléctrico de equipos de cosméticos.*

COSMÉTICOS											
Equipo	Consumo	Unidades	Voltaje	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente 4	Corriente 5	Promedio	Horas Mes	kWh/mes
REACTOR FRYMA DINEX 2400	39,3854497	kW	440	66	63	65	64	65	64,6	110	4332,399
ENVASADORA COMADIS C1290	9,38910102	kW	440	15	15	14	17	16	15,4	450	4225,095
ESTUCHADORA IMA	6,21875522	kW	440	11	9	10	10	11	10,2	450	2798,44
TRASEGADOR INOXPA-OMA	10,1207193	kW	440	17	18	16	15	17	16,6	165	1669,919
ENVASADORA OMAS	7,19424623	kW	440	10	12	11	13	13	11,8	320	2302,159
TAPADORA OMAS	6,3406916	kW	440	9	10	10	12	11	10,4	320	2029,021
ENVASADORA COMADIS C945	4,7555187	kW	220	15	18	16	14	15	15,6	90	427,9967
MOLINO BÜHLER TRINOMIC 1300	17,9246474	kW	440	31	30	30	29	27	29,4	280	5018,901
MOLINO BÜHLER TRINOMIC 600	12,9252559	kW	440	19	22	21	22	22	21,2	187	2417,023
TRASEGADOR INOXPA-IMA	10,8523375	kW	440	18	18	19	17	17	17,8	195	2116,206
TRASEGADOR INOXPA-BÜHLER	10,1207193	kW	440	16	18	16	17	16	16,6	120	1214,486
TRASEGADOR VASELINA COSMETICOS	9,75491015	kW	440	15	17	17	15	16	16	80	780,3928

TRASEGADOR ACEITE COSMETICOS	7,9258645	kW	440	12	14	14	13	12	13	65	515,1812
ENVASADORA FILLAMATIC #2	1,82904565	kW	220	6	7	6	5	6	6	205	374,9544
ENVASADORA ZANASI	2,19485478	kW	220	8	7	8	7	6	7,2	215	471,8938
BANDA TRANSPORTADORA No.1	2,68260029	kW	220	10	8	9	8	9	8,8	320	858,4321
BANDA TRANSPORTADORA No.2	3,10937761	kW	220	11	10	11	9	10	10,2	205	637,4224
BANDA TRANSPORTADORA No.3	3,29228218	kW	220	11	12	10	11	10	10,8	215	707,8407
BANDA TRANSPORTADORA No.4	2,92647304	kW	220	9	9	10	10	10	9,6	170	497,5004
TÚNEL DE ENFRIAMIENTO	4,63358232	kW	440	7	8	7	9	7	7,6	215	996,2202
CODIFICADORA 9020	0,4928	kW	110	3	3	2	3	3	2,8	215	105,952
CODIFICADORA VIDEO JET 1220 No.1	0,4576	kW	110	2	3	3	2	3	2,6	205	93,808
CODIFICADORA VIDEO JET 1220 No.2	0,4576	kW	110	3	3	2	3	2	2,6	320	146,432
MEZCLADOR SYMEX	15,3639835	kW	440	25	27	25	24	25	25,2	100	1536,398
ETIQUETADORA KETAN LCW 50 SN12230	2,49969573	kW	220	8	9	7	8	9	8,2	320	799,9026

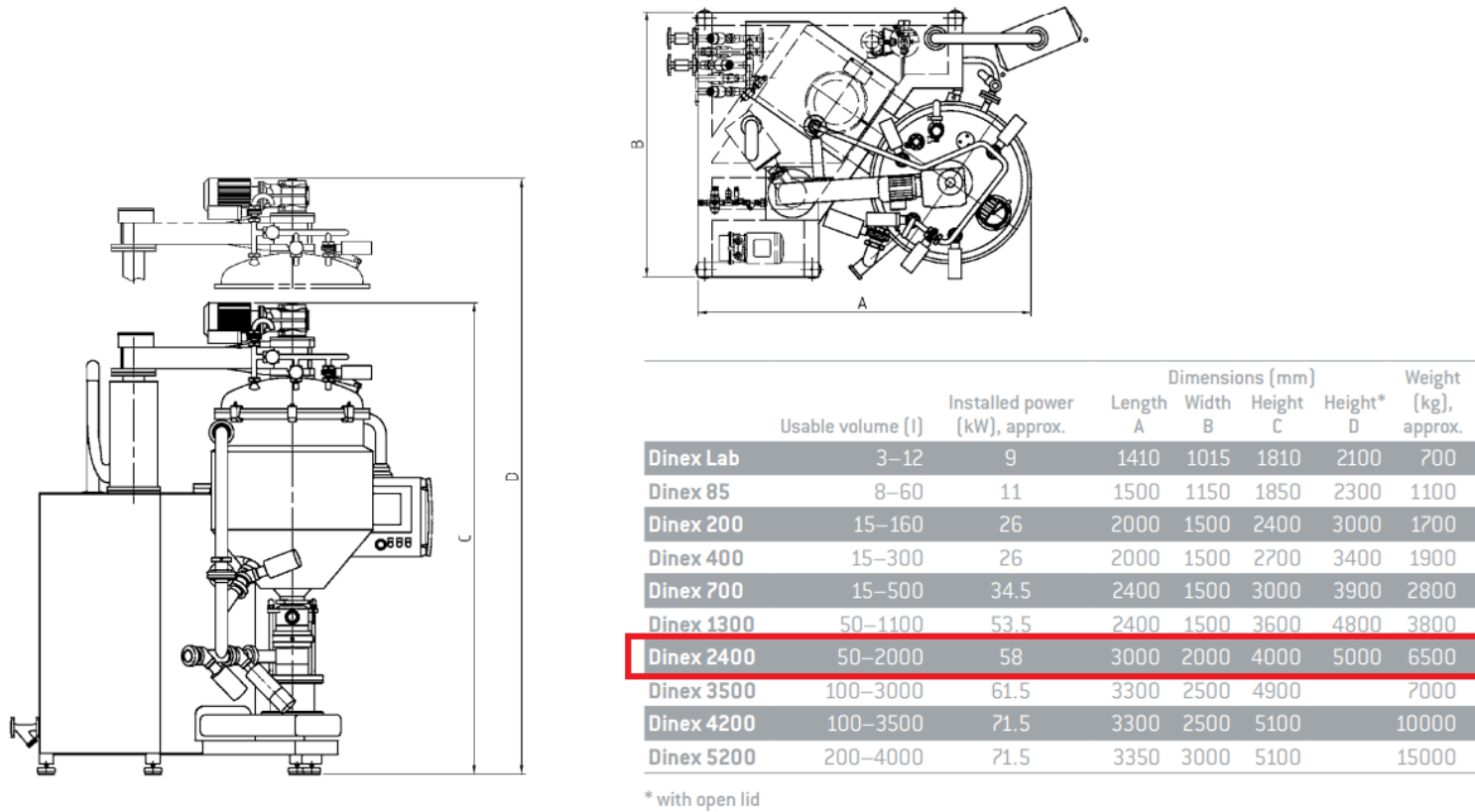
ETIQUETADORA KETAN LCW 50 SN12116	2,56066391	kW	220	9	9	7	8	9	8,4	215	550,5427
BANDA TRANSPORTADORA EN Y ODECO	4,87745507	kW	220	15	17	16	15	17	16	320	1560,786
HORNO TERMOENCOGIBLE THOR	19,2659475	kW	440	32	35	30	31	30	31,6	320	6165,103

Total	45,350 kWh/mes
--------------	---------------------------

Anexo B. Fichas técnicas de los principales equipos de la compañía farmacéutica ABC.

Figura B1

Ficha técnica de rector Dinex 2400 para fabricación de cremas cosméticas y medicadas.



Fuente:

Figura B2

Ficha técnica de Chiller Trane RTAC 155

Tamaño		120	130	140	155	170	185	200
Potencia frigorífica (5) (6)	kW	421,9	465,9	513,3	557,3	603,7	669,8	740,1
Potencia absorbida (7)	kW	137,5	151,4	165,7	182,7	200,3	219,1	238,7
Rendimiento energético (5) (6) (según Eurovent)	kW/kW	3,07	3,08	3,1	3,05	3,02	3,06	3,1
ESEER (según Eurovent)	kW/kW	3,80	3,82	3,83	3,84	3,74	3,53	3,80
CPI (Según las condiciones del Instituto de refrigeración de EE. UU. 44 °F de temperatura de salida del agua, 95 °C de temperatura de entrada del aire)	kW/kW	4,31	4,31	4,36	4,32	4,24	4,23	4,32
Compresor								
Cantidad		2	2	2	2	2	2	2
Capacidad nominal (1)	t	60/60	60/70	70/70	70/85	85/85	85/100	100/100
Evaporador								
Modelo de evaporador		H140	H155	H170	H185	H200	H220	H240
Capacidad de almacenamiento de agua	l	112	122	127	135	147	146	159
Caudal mínimo	l/s	13	14	13	14	16	14	16
Caudal máximo	l/s	44	49	46	49	55	49	55
Número de pasos de agua		2	2	2	2	2	2	2
Condensador								
Cantidad de baterías		4	4	4	4	4	4	4
Longitud de baterías	mm	3962/3962	4572/3962	4572/4572	5486/4572	5486/5486	6400/2486	6400/6400
Altura de baterías	mm	1067	1067	1067	1067	1067	1067	1067
Series de aletas	aletas/ft	192	192	192	192	192	192	192
Número de filas		3	3	3	3	3	3	3
Ventiladores del condensador								
Cantidad (1)		4/4	5/4	5/5	6/5	6/6	7/6	7/7
Diámetro	mm	762	762	762	762	762	762	762
Caudal de aire total	m³/s	35,42	39,16	42,9	47,19	51,48	55,77	60,07
RPM nominales		915	915	915	915	915	915	915
Velocidad periférica	m/s	36,48	36,48	36,48	36,48	36,48	36,48	36,48
Potencia del motor	kW	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57
Temperatura ambiente mínima arranque/funcionamiento (2)								
Unidad estándar	°C	0	0	0	0	0	0	0
Unidad de baja temperatura ambiente	°C	-18	-18	-18	-18	-18	-18	-18
Datos generales de la unidad								
Refrigerante		HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a	HFC 134a
Número de circuitos refrigerantes independientes		2	2	2	2	2	2	2
% de carga mínima (3)		17	17	17	17	17	17	17
Peso de funcionamiento (4)	kg	4461	4519	4529	5180	5431	6005	6117
Peso de transporte (4)	kg	4506	4550	4568	5212	5451	6026	6126

Fuente:

Figura B3*Ficha técnica de Compresor de aire atlas copco ZT 45.*

TYPE	Working pressure		Free Air Delivery		Power rating	Noise level
		bar(e)	l/s	m ³ /min	kW	dB(A)
ZT 30 VSD+ – 8.6	Minimum	4	40.4 – 95.5	2.42 – 5.73	30	66
	Effective	7	39.9 – 93.6	2.36 – 5.62		
	Maximum	8.6	37.9 – 74.8	2.28 – 4.49		
ZT 37 VSD+ – 8.6	Minimum	4	40.4 – 112.6	2.42 – 6.75	37	69
	Effective	7	39.9 – 110.1	2.36 – 6.61		
	Maximum	8.6	37.9 – 95.6	2.28 – 5.74		
ZT 45 VSD+ – 8.6	Minimum	4	40.4 – 135.8	2.42 – 8.15	45	68
	Effective	7	39.3 – 132.3	2.36 – 7.94		
	Maximum	8.6	37.9 – 118.2	2.28 – 7.09		
ZT 50 VSD+ – 8.6	Minimum	4	40.4 – 153.7	2.42 – 9.22	50	70
	Effective	7	39.3 – 147.0	2.36 – 8.82		
	Maximum	8.6	47.2 – 144.5	2.83 – 8.67		

Figura B4

Ficha técnica de Unidades Manejadoras de Aire.

Ecodesign	
Fabricante	SAMP
Tamaño de la unidad	AHU 21.00-22-19
Tipo de unidad	NRVU - UVU
SFPint / SFPint limit 2016 [W/(m³/h)]	94 / 250
SFPint / SFPint limit 2018 [W/(m³/h)]	94 / 230
HRS type	
Thermal efficiency of heat recovery	
Class of casing leakage at -400Pa	L2M
Class of casing leakage at +700Pa	L2M
Maximum internal leakage rate	0.50 %
<hr/>	
Nominal flow rate m³/h	25.000
Tipo de accionamiento	VSD installation to be foreseen
effective electric power input	15,400 kW
face velocity	1,76 m/s
Pres. externa	850 Pa
internal pressure drop of ventilation components	57 Pa
Fan system efficiency	60,38 %
Internet address for disassembly instructions	www.samp-spa.com
Ecodesign compliance 2018	
If the unit includes a filter section, the AHU must be equipped with a visual signal or alarm in the control system which is activated if the pressure drop across the filter exceeds the maximum allowed final pressure drop	