



TRANSICIÓN DE GASES REFRIGERANTES HCFC y HFC DE LA RED DE FRÍO DE
NEVERAS Y CAVAS EN LOS ALMACENES DE CADENA ALKOSTO

JUAN GUILLERMO BECERRA CORONADO

UNIVERSIDAD EAN

FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN, FINANZAS Y CIENCIAS ECONÓMICAS

MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS MBA

BOGOTÁ, COLOMBIA

27/03/2026

TRANSICIÓN DE GASES REFRIGERANTES HCFC y HFC DE LA RED DE FRÍO DE
NEVERAS Y CAVAS EN LOS ALMACENES DE CADENA ALKOSTO

JUAN GUILLERMO BECERRA CORONADO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Magíster en Administración de Empresas - MBA

Director (a):

Magda Liliana Fernandez Gualtero

Modalidad:

Trabajo Dirigido

UNIVERSIDAD EAN

FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN, FINANZAS Y CIENCIAS ECONÓMICAS

MAESTRÍA EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS MBA

BOGOTÁ, COLOMBIA

27/03/2026

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado

Firma del director del trabajo de grado

Ciudad, día/mes/año

Dedicatoria:

A mi esposa, compañera de vida y sueños,
por su amor y apoyo inquebrantable.

“Un sueño no se hace realidad por arte de
magia; se necesita sudor, determinación y
trabajo duro”.

Cristiano Ronaldo.

Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la culminación de este trabajo de grado. En particular, a la Universidad EAN y a sus directivas, por su acompañamiento constante, su compromiso con la excelencia académica y por haber fomentado en mí una formación integral orientada a la sostenibilidad y la innovación.

Extiendo igualmente mi gratitud a mis jefes directos de Alkosto, Heither Amith González, director nacional de Mantenimiento, y Raúl Suarique, jefe Nacional de Mantenimiento, por su apoyo, orientación técnica y disposición permanente durante el desarrollo de este proyecto. Su guía y experiencia fueron fundamentales para el éxito y la aplicabilidad práctica de este trabajo.

Resumen

Este trabajo analiza la transición de gases refrigerantes convencionales hacia alternativas sostenibles en las redes de frío de los almacenes Alkosto, en el contexto del sector retail colombiano. El problema identificado radica en la alta dependencia de refrigerantes HCFC y HFC, particularmente R22 y R507, los cuales generan un impacto ambiental significativo debido a su alto potencial de calentamiento global y agotamiento de la capa de ozono además de representar riesgo frente al cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

El objetivo del estudio es diseñar un plan de intervención empresarial que permita una transición progresiva hacia refrigerantes sostenibles, con el propósito de mejorar la eficiencia operativa y reducir el impacto ambiental de la red de frío de Alkosto.

La metodología utilizada corresponde a un enfoque aplicado y mixto, basado en un diagnóstico estratégico mediante el modelo DOFA y un análisis técnico de los sistemas de refrigeración, incluyendo la caracterización de equipos, cálculos de CO₂ equivalentes y evaluación de escenarios económicos y operativos de transición.

Los resultados evidencian que el 100 % de la red de frío analizada opera con refrigerantes de alto impacto climático, y que su sustitución progresiva permite reducir las emisiones de dióxido de carbono equivalente (en adelante, CO₂e) entre un 30% y 100%, dependiendo de las alternativas tecnológica propuestas.

Se concluye que la transición hacia refrigerantes sostenibles es técnica y económicamente viable, y constituye una oportunidad estratégica para optimizar el desempeño energético, reducir la huella ambiental y fortalecer la sostenibilidad operativa y corporativa de Alkosto.

Palabras Claves: Calentamiento global, Capa de ozono, CO₂, DOFA, Emisiones, HCFC, HFC.

Abstract

This study analyzes the transition from conventional refrigerant gases to sustainable alternatives in the cold chain networks of Alkosto retail stores within the Colombian retail sector. The problem is associated with the high dependence on HCFC and HFC refrigerants, mainly R22 and R507, which exhibit high Global Warming Potential and, in some cases, Ozone Depletion Potential, leading to environmental impacts and regulatory compliance risks.

The objective is to design a business intervention plan aimed at the progressive replacement of these refrigerants to improve operational efficiency and reduce the environmental footprint of the cold chain network.

An applied mixed methods approach is adopted, combining a strategic diagnosis based on the SWOT model with a technical analysis of refrigeration systems, including equipment characterization, CO₂ equivalent emissions calculation, and techno economic evaluation of transition scenarios.

Results indicate that 100% of the cold chain analyzed operates with high-impact refrigerants. Their progressive replacement enables emission reductions ranging from 30% to 100%, depending on the selected technology.

It is concluded that the transition toward sustainable refrigerants is technically and economically feasible and represents an opportunity to enhance energy performance, reduce emissions, and strengthen business competitiveness.

Keywords: CO₂, Emissions, Global warming, HCFC, HFC, Ozone layer.

Contenido

	Pág.
Lista de Figuras	9
Lista de Tablas	10
Introducción	11
Objetivos	17
<i>Objetivo general</i>	<i>17</i>
<i>Objetivos específicos.....</i>	<i>17</i>
Justificación	18
Marco Institucional	20
Marco de Referencia.....	33
Diseño Metodológico.....	46
Diagnóstico Organizacional	64
<i>Procesamiento estadístico de datos</i>	<i>67</i>
<i>Análisis de resultados.....</i>	<i>73</i>
Plan de Intervención	80
Conclusiones y Recomendaciones	99
<i>Conclusiones.....</i>	<i>99</i>
<i>Recomendaciones.....</i>	<i>100</i>
Referencias	101
A. Anexo. Nombre del Anexo	105

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Estructura funcional Almacenes Alkosto.....	¡Error! Marcador no definido.
NO SE ENCONTRARON ENTRADAS DE TABLA DE CONTENIDO.	
Figura 3. <i>Total, de consumos energéticos por almacén.</i>	50
Figura 4. <i>Gráfica de total de emisiones</i>	58
Figura 5. <i>Distribución de gases refrigerantes por almacén</i>	59
Figura 6. <i>Porcentajes de consumos energéticos por tipo de refrigerante</i>	61
Figura 7. <i>Total, de emisiones de CO2 por uso de refrigerante HCFC y HFC</i>	67
Figura 8. <i>Cronograma de transición de gases refrigerantes</i>	83
Figura 9. <i>Fotografía proceso de retrofit</i>	87

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Distribución de productos por categoría	22
Tabla 2. <i>Ventajas competitivas de hipermercados</i>	24
Tabla 3. Características de los refrigerantes HCFC Y HFC.....	27
Tabla 4. <i>Características de refrigerante naturales</i>	31
Tabla 5. <i>Indicadores ODP y GWP de gases refrigerantes Naturales</i>	33
Tabla 6. <i>Tipos de refrigerantes usados por almacén</i>	48
Tabla 7. <i>Consumo energético por almacén</i>	49
Tabla 8. <i>Huella de carbono generada por almacén</i>	52
Tabla 9. <i>Relación de costos entre un sistema CO2 y el cambio de refrigerante R22 a R449A</i>	53
Tabla 10. <i>Índices de daños ambientales por refrigerante</i>	54
Tabla 11. Matriz DOFA	69
Tabla 12. <i>Matriz de priorización de almacenes</i>	73
Tabla 13. <i>Evaluación de alternativas tecnológica</i>	75
Tabla 14. <i>Propuesta de plan piloto</i>	76
Tabla 15. <i>Cronograma de implementación</i>	76
Tabla 16. <i>Indicadores de seguimiento ambiental</i>	79
Tabla 17. <i>Indicadores de seguimiento operativo</i>	79
Tabla 18. Matriz de riesgos en el cambio de refrigerantes	81

Introducción

La sostenibilidad empresarial se ha consolidado progresivamente como un eje transversal en la gestión organizacional (Bom Camargo, 2021), especialmente en sectores intensivos en consumo energético, como la industria de manufactura y producción, así como el sector del retail, en este último, los sistemas de refrigeración desempeñan un papel estratégico importante, que garantizan almacenamiento, exhibición y conservación de alimentos perecederos. Sin embargo, a nivel global, el uso de refrigerantes usados para garantizar la conservación de los alimentos perecederos exhibidos para el consumidor, representan el 7,8 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (en adelante, GEI), de las cuales el 37% corresponden a emisiones directas y el 63% de manera indirecta como el consumo de electricidad (IIR, 2024).

Algunos de los refrigerantes que se usan en los almacenes Alkosto para las redes de frío, son compuestos químicos como los hidroclorofluorocarburos (en adelante, HCFC) y los hidrofluorocarbonos (en adelante, HFC), estos refrigerantes poseen un alto potencial de calentamiento global (en adelante, GWP) y un considerable potencial de agotamiento de la capa de ozono (en adelante, ODP), lo cual va en contravía con el Protocolo de Montreal (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MinAmbiente], 2025) y la Enmienda de Kigali (MinAmbiente, 2019,). siendo una transición tecnológica lenta hacia refrigerantes naturales, limitada por barreras técnicas, innovación y falta de infraestructura adecuada (Omri, 2020; Martins et al., 2024). También se evidencia la ausencia de un diagnóstico técnico y ambiental que permita evaluar el desempeño actual de los sistemas de refrigeración de todos los almacenes, cuantificar los impactos ambientales y definir lineamientos técnicos viables para generar un plan de transición de forma ordenada hacia una refrigeración sostenible eficiente y alineada con la normativa y objetivos sostenibles corporativos.

Los sistemas de refrigeración con refrigerantes HCFC y HFC, en grandes superficies como el sector del retail pueden representar entre el 25% al 30% del consumo energético total (utage et al., 2021), incrementando relevancia en la gestión operativa. En la actualidad Alkosto tiene unas emisiones asociadas al uso de refrigerantes que superan las 12136 tCO₂e, según datos de esta investigación lo que evidencia un impacto ambiental considerable y una oportunidad de mejora.

América latina en los últimos años inicio la implementación de sistemas de refrigeración con refrigerantes CO₂ en modo transcrito principalmente en países como Brasil, Argentina, Chile, Perú y Colombia, donde se estima que para el año 2022 se tenía alrededor de 75 instalaciones de sistemas de CO₂ en toda Sudamérica, al igual que el uso de sistemas de refrigeración con amoníaco especialmente para industrias alimentarias y del sector lácteo (Lorentzen, 2022).

Empresas como Weston y Arneg con presencia en varios países de América Latina como Brasil, Chile, Perú, Ecuador y México han incursionado en el mercado instalando sistemas de refrigeración con gases refrigerantes naturales como el CO₂, para el caso de Colombia el primer sistema de gas refrigerante natural CO₂ fue instalado en el año 2017, y la participación del mercado a cierre del año 2024 en países como Ecuador fue de 13%, Argentina con 2,1% y Colombia con 1,7% del total de las tiendas del sector retail (Atmosphere, 2024), siendo un porcentaje muy bajo en la incursión de este tipo de tecnologías. Este atraso tecnológico genera en la actualidad consecuencias directas en los costos operativos, debido al alto consumo energético y la volatilidad en los precios de los refrigerantes tradicionales, al mismo tiempo, repercute en la reputación corporativa. En este sentido, la falta de una transición oportuna no solo afecta el desempeño ambiental, sino también la capacidad de la organización para sostener ventajas competitivas a largo plazo, disminuir riesgos regulatorios y consolidarse como referente en eficiencia y sostenibilidad dentro del sector del retail colombiano. Otro factor de gran

importancia es la escasa cantidad de información y fuentes de últimas tendencias de refrigerantes usados en la industria colombiana y en general a nivel de Latinoamérica y nuevas formas de retrofit para la graduación de refrigerantes de alto impacto climático.

La implementación de sistemas CO₂ pueden evidenciar ahorros energéticos alrededor del 3% al 37% en comparación con unidades de expansión con refrigerante HFC para zonas como Europa y del sector de ventas minoristas de alimentos como el Retail (Gullo et al., 2017). Si bien es cierto que la sostenibilidad ha sido incorporada en la estrategia empresarial global (Polanco, 2016), en la práctica persisten brechas que requieren un diagnóstico integral y la definición de rutas claras de modernización en nuevas tecnologías. Bajo este escenario, surge la necesidad de plantear soluciones que no solo mitiguen el impacto ambiental, sino que fortalezcan la competitividad de la compañía frente a consumidores cada vez más conscientes de la huella ecológica de los productos que adquieren.

La investigación que guía este trabajo se basa bajo la siguiente pregunta o premisa: ¿Cómo diseñar un plan de intervención empresarial técnico, ambiental y financieramente viable para la transición sostenible de los sistemas de refrigeración de los almacenes Alkosto?, para responder a este interrogante, el objeto de diagnóstico empresarial corresponde a la red de frío de 10 almacenes Alkosto ubicados a nivel nacional en ciudades como Villavicencio, Bogotá, Pereira, Cali y Floridablanca.

Asimismo, el estudio busca contribuir a la reducción del impacto ambiental asociado al uso de refrigerantes convencionales, así como al cumplimiento de la normativa ambiental vigente, mediante la adopción progresiva de tecnologías más limpias y ambientalmente responsables. Finalmente, la investigación se desarrolla en coherencia con el enfoque formativo del MBA de la universidad EAN, en el campo de ciencia, tecnología e innovación y grupo de investigación de la gestión ambiental bajo la línea de investigación desarrollo sostenible como

ejes para la formulación de soluciones a nivel empresarial orientadas a la competitividad y transformación organizacional

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un plan de intervención empresarial para la transición sostenible de los sistemas de refrigeración en los almacenes Alkosto, a partir de un diagnóstico técnico, ambiental y financiero.

Objetivos específicos

- A.** Diagnosticar el estado técnico, energético y ambiental de la red de frío en los almacenes seleccionados, mediante el levantamiento de información en campo, análisis de consumos energéticos y caracterización de los refrigerantes utilizados
- B.** Analizar el impacto ambiental y financiero asociado al uso de refrigerantes actuales, mediante el cálculo de emisiones equivalentes de CO₂e, evaluación de costos operativos y revisión de variables económicas relacionadas con la operación de los sistemas de refrigeración.
- C.** Evaluar alternativas tecnológicas sostenibles en términos técnicos, económicos y normativos mediante el análisis comparativo de refrigerantes de bajo GWP y ODP en cero, viabilidad operativa y cumplimiento de regulaciones ambientales vigentes

Justificación

La transición hacia sistemas de refrigeración más sostenibles en almacenes Alkosto constituye una decisión estratégica empresarial, más allá del cumplimiento normativo ambiental, en el sector del retail, caracterizado por un alto consumo energético y una fuerte dependencia de sistemas de refrigeración para la conservación de alimentos, la gestión eficiente de la red de frío impacta directamente la rentabilidad operativa, la continuidad del negocio y la competitividad corporativa. En este contexto, la sustitución progresiva de refrigerantes tradicionales no solo reduce el impacto ambiental asociado a su alto potencial de calentamiento global y agotamiento de la capa de ozono, sino que permite optimizar el desempeño energético de los equipos, disminuir costos operativos y mitigar riesgos financieros derivados de la obsolescencia tecnológica, que se genera por el uso de los gases refrigerantes tradicionales como los HCFC y los hidrofluorocarburos (en adelante, HFC), también se adhiere al cumpliendo con regulaciones ambientales como el Protocolo de Montreal y el acuerdo de Kigali donde se centra en la eliminación progresiva de los refrigerantes HFC y los HCFC, (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2019), que tienen alto potencial de calentamiento global. Además, fortalece la imagen corporativa de la empresa, respondiendo a las expectativas de la responsabilidad ambiental corporativa (Wang & Liu, 2024) y cuyo enfoque va en línea con el programa de Maestría en Administración de Empresas MBA de la universidad EAN.

Desde la perspectiva empresarial la adopción de alternativas tecnológicas más eficientes, pueden generar reducciones en el consumo energético alrededor del 25% a 30% (Utage et al., 2021), mejorando indicadores de eficiencia energética y operativa, fortaleciendo la sostenibilidad económica de la organización, además de contribuir en la reducción de huella de carbono de Colombiana de Comercio, fortaleciendo la imagen corporativa y en línea con la responsabilidad ambiental corporativa (Wang & Liu, 2024).

De esta manera el proyecto se enmarca en los enfoques de sostenibilidad organizacional, innovación y gestión estratégica promovidos por la maestría en administración de empresas MBA de la universidad EAN al desarrollar una propuesta de intervención empresarial orientada a la transición sostenible de los sistemas de refrigeración en los almacenes Alkosto.

Asimismo, la investigación se relaciona con la gestión ambiental y la sostenibilidad empresarial, integrando criterios técnicos, ambientales, económicos y operativos para la toma de decisiones estratégicas, en este sentido, el trabajo aporta a la generación de soluciones empresariales aplicadas y orientadas a la eficiencia operativa, reducción de emisiones y modernización tecnológica de la red de frío.

La viabilidad del proyecto cuenta con disponibilidad de recursos financieros y técnicos y acompañamiento constante del área de ingeniería y proveedores, lo que permite desarrollar un diagnóstico detallado de la red de frío de todos los almacenes de Alkosto. Este estudio contiene el análisis de 10 almacenes con redes de frío de neveras y cuartos fríos, ubicados en distintas ciudades a nivel país, y que operan con gases refrigerantes tradicionales, así mismo, se plantea una implementación estratégica y escalonada con un tiempo de ejecución de 2 años, lo que permite evaluar escenarios de transición sin afectar la operación y suministro de la cadena de frío, además de eliminar las emisiones en un 100% de gases refrigerantes HCFC y reducción de 3179 tCO₂e con el uso de refrigerantes HFC.

Finalmente, el proyecto se articula con las estrategias corporativas de innovación, eficiencia operativa y sostenibilidad de Alkosto, al promover la modernización progresiva de la red de frío mediante tecnologías de menor impacto ambiental. A su vez, aporta al cumplimiento de compromisos internacionales como el Protocolo de Montreal, la Enmienda de Kigali y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2019), alineando la gestión ambiental con la competitividad empresarial.

Marco Institucional

Colombiana de Comercio Corbeta S.A., es una empresa colombiana que opera bajo la marca Alkosto, especializada en la comercialización en volumen, precios competitivos y con un portafolio bastante amplio que contiene electrodomésticos, tecnología, hogar, categoría automotriz y supermercado. A lo largo de su historia Alkosto ha desarrollado una red de tiendas físicas a nivel nacional y una sólida plataforma de comercio electrónico, posicionándose y consolidándose como una de las principales cadenas de retail en Colombia (Alkosto, 2025).

Alkosto cuenta con más de 12.750 empleados (EMIS, 2025), enfocados en el tema logístico, atención al cliente y administración de los puntos de venta de las diferentes ciudades del país, sus ingresos operativos para el año 2024 corresponden a 11,8 billones de pesos (EMIS, 2025), posicionándose Alkosto en el 3 puesto en Colombia como una empresa de gran tamaño dentro del sector comercial y el retail. Su modelo de negocio se basa en ofrecer productos de alta demanda con precios atractivos y estrategias de fidelización que garantizan una relación cercana con sus clientes.

Misión

En colombiana de comercio Corbeta S.A nos especializamos en la comercialización de productos, llegando a los principales canales de distribución, presentando excelentes servicios de venta y posventa a nuestros clientes y proporcionando satisfactorios resultados de crecimiento por la distribución de productos nuestros proveedores (Corbeta, 2025, párr. 1).

Visión

Continuar siendo empresa líder en distribución, a través de la conformación inteligente del portafolio de líneas y del conocimiento profundo de nuestros clientes para satisfacer de la mejor manera sus necesidades, lo cual nos permitirá proporcionar una adecuada una adecuada retribución a nuestro equipo de trabajo humano, proveedores y accionistas (Corbeta, 2025, párr. 2).

Valores

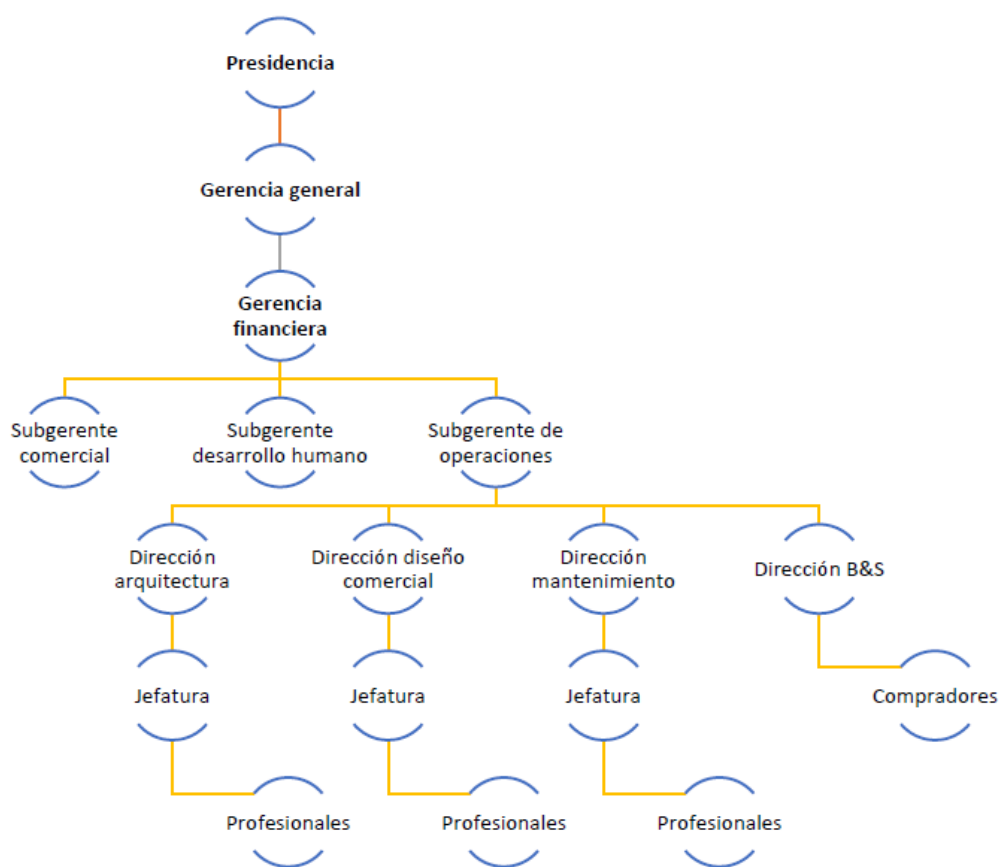
- Ética comercial
- Solidaridad
- Buena fe
- Respeto
- Innovación
- Compromiso
- Honorabilidad
- Conciencia verde (Corbeta, 2025, párr. 3)

Desde el punto de vista organizacional, Alkosto cuenta con una estructura funcional definida que se articula desde la presidencia, gerencia general, área financiera, área comercial, operaciones, mantenimiento, arquitectura y dirección de formatos, lo cual permite integrar la planeación estratégica con la ejecución operativa de cada almacén. La anterior estructura facilita la implementación de proyectos, como la modernización en las redes de frío, al existir direcciones especializadas en infraestructura e ingeniería.

Cada una de las direcciones anteriormente mencionadas, cuentan con un equipo sólido y altamente capacitado, respaldado por jefaturas asignadas que supervisan el funcionamiento de cada área, seguido se encuentran los profesionales clave de cada área, como arquitectos, diseñadores, supervisores y compradores, quienes desempeñan un papel esencial en el desarrollo y la ejecución de proyectos. En la Figura 1 se puede apreciar su estructura.

Figura 1

Estructura Funcional Almacenes Alkosto.



Nota. Elaboración propia con base en información organizacional y estructura funcional suministrada por el área de ingeniería y mantenimiento de Colombiana de Comercio Corbeta.

En el enfoque competitivo, la propuesta de valor de Alkosto se fundamenta en precios competitivos amplio portafolio de productos y cobertura nacional, promociones constantes y una experiencia de compra optimizada; una de las estrategias diferenciadoras y únicas en el mercado del retail, es la de cliente ganador en la que el cliente se gane el 50% de la compra. Esta combinación le permite mantenerse como un referente en el sector retail colombiano, adaptándose a las necesidades y expectativas de sus clientes.

El sector del retail en Colombia se caracteriza por la participación de múltiples cadenas de supermercados, hipermercados y hard discount que compiten en cobertura, precios, portafolios, y eficiencia operativa de acuerdo con cifras reportadas por EMIS (2025), correspondiente al comportamiento financiero del año 2024, las principales cadenas de supermercados registraron unas ventas por 79 billones de pesos con un crecimiento de 6,9%, liderado por los almacenes D1 con unos ingresos de 19 billones de pesos seguido de tiendas Ara con 13,8 billones de pesos (EMIS, 2025). Alkosto al pertenecer a este sector del retail enfrenta un entorno competitivo y dinámico, donde la eficiencia operativa y la innovación son factores clave para el éxito. En este sentido, la compañía busca constantemente mejorar sus procesos internos y optimizar sus operaciones, alineándose con tendencias del mercado como la digitalización, la sostenibilidad, la eficiencia energética, la reducción de huella de carbono y la responsabilidad social empresarial (EMIS, 2025).

Sector Retail

Asimismo, Alkosto desarrolla su operación comercial mediante un portafolio diversificado de productos que abarca categorías como tecnología, electrodomésticos, hogar, automotriz y alimentos (Corbeta, 2025), su modelo de negocio permite a los clientes acceder a productos de reconocidas marcas nacionales e internacionales a precios competitivos, fortaleciendo su

posición en el mercado retail colombiano. En la tabla 1 se observan las diferentes categorías de productos disponibles en los almacenes de Alkosto.

Tabla 1

Distribución de productos por categoría.

Categoría	Productos principales
Electrodomésticos	Neveras, lavadoras, estufas, aires acondicionados
Tecnología	Computadores, celulares, televisores, accesorios
Hogar	Colchones, muebles, utensilios de cocina
Automotriz	Automóviles, motocicletas, repuestos
Supermercado	Alimentos, bebidas, aseo, cuidado personal

Nota. Elaboración propia, basado en información (Corbeta, 2025).

Los supermercados representan uno de los segmentos de mayor participación del retail en Colombia donde las ventas representan el 48,4% del total de las 430 empresas del retail en Colombia (EMIS, 2024), además de aportar un crecimiento del 3,6% en las ventas nominales en los meses de enero a noviembre de 2024 (DANE, 2025) respecto al año anterior. En Colombia la categoría de hipermercados está compuesta por diversas marcas de gran relevancia en el mercado del retail, entre ellas se destaca Grupo Éxito, cuyas ventas alcanzaron los 15,7 billones de pesos en el año 2023 y de 10,4 billones de pesos para el 2024 (EMIS, 2024). Tiendas Olímpica con presencia a nivel nacional reporta unas ventas a cierre del año de 7,1 billones de pesos, Cencosud, que también participa activamente en la oferta de productos de gran consumo a nivel nacional con unas ventas de 4,2 billones de pesos para el mismo año, también se destaca Pricesmart con unos ingresos de 2,3 billones de pesos en 2024. las tiendas Macro Supermayoristas con gran trayectoria en el mercado colombiano muestra una participación en ventas de 1,7 billones de pesos (Superintendencia de Sociedades, 2024). Almacenes Alkosto, un conglomerado empresarial que comercializa más de 70 marcas en diversos sectores de la economía al cierre de 2023, tuvo unas ventas totales de 10,6 billones de pesos (EMIS, 2024) ocupando

el puesto número 4 en el sector del retail, luego de D1, Ara y Grupo Éxito, sin embargo, para el 2024 Alkosto asciende un puesto y se consolida en la tercera posición después de tiendas D1 y tiendas Ara con un registro de ventas de 11,8 billones de pesos (EMIS, 2024).

En la tabla 2 se plasman algunas ventajas competitivas que se observan entre las principales marcas del retail.

Tabla 2

Ventajas competitivas de hipermercados.

Factor	Alkosto	Éxito	Olímpica	Cencosud
Precio / valor	Alkosto tradicionalmente compite mediante precios agresivos en el retail masivo con alimentos y productos de gran consumo, su modelo incluye grandes almacenes y promociones frecuentes, lo que le da ventaja en segmentos sensibles al precio.	Éxito mantiene estrategias de variedad premium y formatos mixtos como supermercado más hipermercado lo que puede implicar precios más altos pero mayor servicio.	Olímpica también juega fuerte en precios, especialmente en canales de proximidad y volumen, compitiendo directamente en precios bajos.	Cencosud apunta a una mezcla de valor más servicio, posicionándose ligeramente más en el sector premium que los discounters.
Innovación	Alkosto puede aprovechar su escala para introducir innovaciones en la operación y en logística de frío que pueden mejorar eficiencia energética y sostenibilidad, generando una ventaja operativa.	Éxito invierte también en omnicanalidad, experiencia digital y formatos de conveniencia, lo que le da ventaja en innovación de servicio.	Olímpica evidencia enfoque en volumen y proximidad, menos en innovación tecnológica de punta, lo que puede ser una vulnerabilidad en su operación.	Cencosud desarrolla iniciativas para innovar mediante alianzas, horarios extendidos, formatos híbridos y podría superar en innovación si actúa rápidamente.
Sostenibilidad	Al llevar efectivamente la transición de gases refrigerantes y tecnológica de sus sistemas de refrigeración con impacto ambiental reducido, menor consumo energético, y cumplimiento normativo, de esta forma puede posicionarse como líder en sostenibilidad dentro del retail colombiano.	Éxito también tiene iniciativas sostenibles de fondo pero que ha tomado iniciativas en renovaciones de tecnologías lo cual es bastante elevada la inversión	Olímpica quizá tenga menor enfoque sistemático en sostenibilidad, lo que podría dejarle rezagado frente a quienes invierten en este factor.	Cencosud, al tener alcance regional, tiene reputación que cuidar y puede invertir en sostenibilidad, lo que lo hace competidor serio en este frente.
Experiencia del cliente	Alkosto ofrece buen valor y conveniencia, pero para diferenciarse en experiencia del cliente puede necesitar fortalecer canales digitales, logística de entrega, personalización y servicio post venta.	Éxito tiende a tener una experiencia más cuidada como ambientación, servicios complementarios, y programas de fidelidad lo que le da ventaja.	Olímpica se apoya en proximidad y volumen, puede sacrificar experiencia premium.	Cencosud tiene posibilidad de ofrecer experiencias superiores como clubes de fidelidad, formatos híbridos, y omnicanalidad si lo ejecuta bien.

Nota. Elaboración propia a partir de información corporativa (Corbeta, 2025), y complementada con reportes (El Tiempo, 2023; Portafolio, 2025; Forbes, 2022; EMIS, 2025).

El análisis comparativo entre Alkosto y sus principales competidores evidencia un mercado altamente dinámico en el que cada empresa fortalece distintos atributos estratégicos. Mientras Alkosto se destaca por su agresiva política de precios, su capacidad operativa y su potencial diferenciación en sostenibilidad e innovación logística (Corbeta, 2025), Éxito se posiciona con una oferta más premium y una experiencia omnicanal robusta, (El Tiempo, 2023), Olímpica mantiene una fuerte presencia basada en precios bajos y proximidad, aunque con menor enfoque tecnológico, y Cencosud equilibra valor y servicio con posibilidades de expansión en innovación y experiencia del cliente (Portafolio, 2025). La presión ejercida por formatos de bajo costo como D1 es especialmente significativa, según (Forbes, 2022), D1 superó en ventas a Alkosto y Éxito, lo que demuestra la intensidad competitiva del retail colombiano.

En contraste, estudios del sector revelan que Alkosto mantiene altos volúmenes operativos y una expansión sostenida, proyectando ventas cercanas a los 11,5 billones (EMIS, 2025). Y aunque Alkosto posee ventajas competitivas relevantes, también enfrenta presiones constantes de actores consolidados y de modelos de bajo costo. En este contexto, resulta pertinente profundizar en el nivel de competitividad del sector a través del modelo de las cinco fuerzas de Porter, que permitirá comprender con claridad las condiciones estructurales que determinan el desempeño estratégico de Alkosto en el retail colombiano, respaldado además por estudios académicos sobre percepción de valor y comportamientos de compra en el mercado (Riveros et al, 2019).

Marco de Referencia

La refrigeración comercial constituye un componente estratégico para la operación de supermercados y grandes superficies, debido a que garantiza la conservación de productos perecederos bajo condiciones controladas de temperatura. En Colombia, la normatividad sanitaria establece condiciones específicas para la conservación de alimentos refrigerados y congelados, definiendo rangos de temperatura orientados a preservar la inocuidad y calidad de los productos (Ministerio de Salud y Protección Social [MinSalud], 2014).

Marco contextual y antecedentes

En este contexto, los sistemas de refrigeración representan uno de los mayores consumos energéticos dentro del sector retail, especialmente en supermercados y cadenas de gran formato (Utage et al., 2021). Por consiguiente, las decisiones relacionadas con tecnologías de refrigeración y selección de refrigerantes no solo poseen implicaciones técnicas, sino también económicas, ambientales y estratégicas.

Los refrigerantes son sustancias químicas o fluidos que se utilizan en los ciclos de refrigeración para lograr el enfriamiento de un espacio para el caso de estudio neveras y cuartos fríos, las cuales funcionan transfiriendo calor desde el interior del sistema hacia el exterior. Este proceso se basa en principios termodinámicos, específicamente en los cambios de fase del fluido refrigerante, que alterna entre estado líquido y gaseoso durante el ciclo de refrigeración. A través de esta transformación, el refrigerante absorbe el calor del ambiente que se desea enfriar y luego lo expulsa en otro punto del sistema (Kubba, 2017). Las familias de los compuestos más comunes utilizadas para este propósito son los HCFC, HFC y los clorofluorocarbonos CFC. Estos refrigerantes se aplican principalmente en equipos como refrigeradores, congeladores, sistemas de aire acondicionado.

Los refrigerantes HCFC están incluidos en los programas de eliminación gradual debido a que contienen cloro, un componente responsable del agotamiento de la capa de ozono. A raíz de su impacto ambiental, su uso fue completamente prohibido en los países industrializados a partir del año 2020. En el caso de los países en desarrollo, se ha establecido un cronograma que prevé su eliminación total para el año 2030, en línea con los compromisos del Protocolo de Montreal, la enmienda de Kigali (MinAmbiente, 2019, 2025). Para comprender el impacto ambiental de los refrigerantes más utilizados tradicionalmente en la industria de la refrigeración, es fundamental analizar sus propiedades clave. En la tabla 3, se presentan las principales características de los refrigerantes pertenecientes a las familias HCFC y HFC, centrándose en dos indicadores ambientales críticos: el Potencial de Agotamiento de la capa de Ozono ODP y el Potencial de Calentamiento Global GWP. Estos parámetros permiten evaluar la sostenibilidad de cada sustancia y sirven como base para la toma de decisiones técnicas en los procesos de transición hacia tecnologías más responsables con el medio ambiente.

Tabla 3

Características de los refrigerantes HCFC Y HFC.

Refrigerante	Familia	ODP (Agotamiento de la capa de Ozono)	GWP (Potencial de calentamiento global)
R22	HCFC	0,055	1810
R123	HCFC	0,012	77
R141B	HCFC	0,11	725
R134A	HFC	0	1430
R404A	HFC	0	3922
R410A	HFC	0	2088
R407A	HFC	0	1774
R507	HFC	0	3985

Nota. Elaboración propia a partir de información técnica reportada y documentación técnica de refrigerantes HCFC y HFC (Chemours, 2026).

A nivel internacional, diversos países han avanzado en la incorporación de tecnologías sostenibles basadas en refrigerantes naturales como CO₂ y amoníaco. En América Latina,

países como Brasil, Chile, Perú, México y Colombia han iniciado procesos de modernización tecnológica mediante la implementación de sistemas transcríticos de CO₂ en supermercados y centros logísticos. Para el año 2024, Colombia registraba una participación aproximada del 1,7% de tiendas retail con sistemas transcríticos de CO₂, reflejando un crecimiento gradual en la adopción de tecnologías sostenibles (Atmosphere, 2024).

De igual manera, investigaciones desarrolladas por Gullo et al. (2017) evidencian que los sistemas de refrigeración transcríticos con CO₂ pueden generar ahorros energéticos entre el 3% y el 37 % frente a sistemas convencionales que utilizan HCFC y HFC. Asimismo, estudios como los de Omri (2020) y Martins et al. (2024), concluyen que la transición tecnológica en refrigeración depende de factores como la inversión inicial, la disponibilidad de conocimiento técnico especializado y la capacidad operativa de las organizaciones.

Marco teórico

Sostenibilidad empresarial

La presente investigación se fundamenta principalmente en el enfoque de sostenibilidad empresarial propuesto por Bom Camargo (2021), el cual plantea que las organizaciones deben integrar dimensiones económicas, ambientales y sociales dentro de sus estrategias corporativas para garantizar competitividad y generación de valor a largo plazo. Desde esta perspectiva, la sostenibilidad no se limita al cumplimiento normativo, sino que se convierte en un elemento estratégico orientado a la eficiencia operativa, la innovación y la reducción de impactos ambientales.

Aplicado al contexto de Alkosto, este enfoque permite comprender la transición de refrigerantes como una decisión estratégica empresarial que contribuye simultáneamente a la reducción de emisiones, la optimización energética y el fortalecimiento de la competitividad organizacional. Sin embargo, esto implica modificaciones en los procesos operativos, protocolos

técnicos y competencias del personal de mantenimiento, ingeniería y proveedores, para minimizar riesgos operativos, financieros, tecnológicos y ambientales facilitando la toma de decisiones y la sostenibilidad empresarial.

Transición tecnológica sostenible

Como complemento al enfoque anterior, el estudio incorpora el concepto de transición tecnológica sostenible, entendido como el proceso mediante el cual las organizaciones sustituyen progresivamente tecnologías convencionales por alternativas más eficientes y ambientalmente responsables. Según Omri (2020), este tipo de transición requiere la articulación de factores técnicos, económicos, regulatorios y operativos para garantizar su viabilidad y sostenibilidad en el tiempo.

En el caso de los sistemas de refrigeración, la transición tecnológica implica la sustitución gradual de refrigerantes HCFC y HFC por refrigerantes de bajo potencial de calentamiento global o refrigerantes naturales, mediante estrategias como retrofit, modernización de equipos y renovación de infraestructura frigorífica.

Como respuesta a la eliminación progresiva de los HCFC, los HFC comenzaron a utilizarse como sus principales sustitutos, debido a que no contienen cloro y, por lo tanto, no afectan directamente la capa de ozono. Su adopción se dio de manera rápida y generalizada en los sistemas de refrigeración y aire acondicionado. Sin embargo, con el tiempo se evidenció que los HFC poseen un alto potencial de calentamiento global GWP como se muestra en la Tabla 2, lo que los convierte en potentes gases de efecto invernadero. Por esta razón, el Protocolo de Kioto de 1997 los incluyó como gases de efecto invernadero sin establecer un control de eliminación (Naciones Unidas [NU], 2025). La Unión Europea toma medidas frente al manejo de refrigerantes HFC, mediante legislaciones con mayor propósito para frenar este tipo de uso de refrigerantes (Unión Europea [UE], 2024).

Además de los compromisos internacionales, Colombia ha adoptado medidas concretas para cumplir con los acuerdos multilaterales sobre sustancias agotadoras de la capa de ozono y gases de efecto invernadero. El país es parte activa del Protocolo de Montreal desde 1993 (MinAmbiente, 2025), y ha implementado su hoja de ruta mediante el Plan Nacional para la Eliminación de los HCFC, liderado por el Ministerio de Ambiente (MinAmbiente, 2025) y Desarrollo Sostenible junto al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Este plan incluye metas específicas para la reducción progresiva del consumo de HCFC y promueve el uso de tecnologías más limpias en los sectores de refrigeración, climatización. A nivel normativo, Colombia expidió la Resolución 1652 de 2007 (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales [ANLA], 2007), la cual establece medidas para el control de las sustancias agotadoras de la capa de ozono, entre ellas la prohibición de fabricación e importación de equipos que contengan o requieran para su producción u operación dichas sustancias. Además, que ratifica y fortalece su compromiso mediante la implementación del Plan de Gestión para la Eliminación de HCFC (HPMP), liderado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (Minambiente, 2026)

Refrigerantes naturales para una transición sostenible

En respuesta a las restricciones sobre los refrigerantes HCFC y HFC, la industria de la refrigeración ha avanzado en la incorporación de alternativas más sostenibles, entre ellas los refrigerantes naturales como el dióxido de carbono (CO₂, R-744) que se posiciona como una opción viable gracias a su nulo potencial de agotamiento de ozono y su bajísimo potencial de calentamiento tal cual como se evidencia en la Tabla 4. Aunque opera a presiones considerablemente más altas que los refrigerantes tradicionales, su baja toxicidad, ausencia de inflamabilidad y su creciente aplicación en sectores como supermercados y sistemas industriales, lo convierten en una alternativa dentro del marco de la sostenibilidad y la eficiencia energética, además de cumplir con las normas a nivel internacional.

Tabla 4*Características de refrigerante naturales.*

Refrigerante	Presiones de trabajo(bares)	Eficiencia energética	Toxicidad	Inflamabilidad	Aplicaciones
R744	45-130	Moderada	Baja	No	Supermercados y sistemas industriales
R717	2 a 16	Alta	Alta	No	refrigeración industrial y planta de alimentos
R290	7 a 10	Alta	Baja	Si	refrigeración comercial neveras y aire acondicionado
R600a	2 a 4	Alta	Baja	Si	refrigeradores pequeños

Nota. Elaboración propia a partir de información técnica y manual de buenas prácticas de refrigeración (Minambiente, 2022).

El amoníaco (NH_3 , R-717) es uno de los refrigerantes naturales más antiguos y eficientes empleados en la industria, y continúa siendo una alternativa altamente eficiente en el contexto de la transición hacia tecnologías más sostenibles. Su elevada eficiencia energética y su nulo impacto en la capa de ozono, junto con un potencial de calentamiento de cero como se muestra en la tabla 3, lo convierten en una opción ambientalmente responsable. Aunque presenta un nivel de toxicidad elevado, su no inflamabilidad y su excelente rendimiento térmico han permitido su uso generalizado en sistemas de refrigeración industrial, especialmente en plantas de procesamiento de alimentos, cavas frigoríficas y centros logísticos de distribución. Por la experiencia acumulada y a los avances en seguridad operativa, el amoníaco sigue posicionándose como un refrigerante competitivo, eficiente y alineado con los objetivos de sostenibilidad a largo plazo.

Dentro del grupo de los refrigerantes naturales, los hidrocarburos como el propano (R-290) y el isobutano (R-600a) se destacan por su excelente desempeño energético y bajo impacto ambiental. Ambos presentan un ODP igual a cero y un GWP extremadamente bajo, lo que los convierte en alternativas ideales para sistemas de refrigeración comprometidos con la sostenibilidad como se observa en la tabla 3. Estos refrigerantes tienen una eficiencia energética alta (Ibrahim et al, 2024) y una toxicidad muy baja, sin embargo, su inflamabilidad exige estrictas medidas de seguridad en diseño, instalación y operación (Danfoss, 2025). El R-290 es comúnmente utilizado en vitrinas refrigeradas y refrigeración comercial con equipos autocontenidos como lo hace Brasil donde el 15% de sus supermercados usan este refrigerante (Lorentzen, 2022), mientras que el R-600a se ha consolidado como el estándar en refrigeradores domésticos y equipos de menor tamaño. Su creciente adopción global refleja una apuesta firme por tecnologías más limpias y compatibles con los objetivos ambientales internacionales.

En la Tabla 5 se observa de manera comparativa el comportamiento ambiental de los refrigerantes naturales en función de dos indicadores clave, todos los compuestos listados presentan un ODP igual a cero, lo que confirma su nula incidencia sobre la capa de ozono. Asimismo, sus valores de potencial de calentamiento se mantienen extremadamente bajos, situándolos como alternativas viables frente a los refrigerantes sintéticos convencionales. Aunque algunos, como los hidrocarburos (R-290 y R-600a), presentan el desafío de la inflamabilidad, y otros como el amoníaco (R-717) requieren protocolos específicos por su toxicidad, todos ofrecen una combinación favorable de eficiencia energética y bajo impacto ambiental. Esto refuerza su relevancia en el contexto actual de transición hacia sistemas de refrigeración más sostenibles y responsables con el entorno.

Tabla 5

Indicadores ODP y GWP de gases refrigerantes Naturales.

Refrigerante	Nombre Químico	Tipo	ODP	GWP	Observaciones
R744	Dióxido de carbono	Natural	0	1	No toxico, no inflamable
R717	Amoniaco	Natural	0	0	Toxico
R290	Propano	Hidrocarburo	0	3	Inflamable
R600A	Isobutano	Hidrocarburo	0	3	Inflamable

Nota. Elaboración propia a partir de información técnica (Minambiente, 2022).

Tecnologías emergentes para una transición sostenible

Sin embargo, una nueva generación de refrigerantes sintéticos los hidrofluoroolefinas (en adelante, HFO) han comenzado a ganar terreno. Estos compuestos mantienen una buena eficiencia energética, no afectan la capa de ozono y tienen un GWP considerablemente más bajo que los HFC tradicionales, lo que los convierte en una opción viable para cumplir con las regulaciones ambientales actuales y futuras. Validar anexo 1 ficha técnica de refrigerante HFO.

La industria de la refrigeración enfrenta entonces el desafío de reducir su impacto ambiental sin comprometer su rendimiento. Por esta razón, muchas empresas están optando por modernizar sus sistemas y reemplazar los HCFC y los HFC por refrigerantes de bajo GWP o naturales, como el CO₂, el amoníaco y los hidrocarburos. Estos nuevos compuestos ofrecen buenas condiciones térmicas y una menor huella ecológica. Las leyes internacionales, como el Protocolo de Montreal (MinAmbiente, 2025) y sus enmiendas, han impulsado la eliminación progresiva de los HCFC, en algunos países, su producción y uso están completamente prohibidos o altamente restringidos. La adaptación a nuevas tecnologías implica inversión, pero también representa una oportunidad para mejorar la eficiencia energética que también es un dato importante a la hora de tomar alguna decisión. La automatización, los controles digitales y los nuevos diseños permiten optimizar el consumo eléctrico como punto a favor adicional que

también va en direccionamiento con la sostenibilidad. Además, una refrigeración más limpia mejora la imagen corporativa frente a consumidores cada vez más conscientes del medio ambiente. La transición debe ser planificada con asesoría técnica y estudios financieros concretos, así se garantiza que los cambios no afecten la operatividad de los almacenes.

En síntesis, el análisis del marco de referencia evidencia que la evolución de los sistemas de refrigeración comerciales e industriales se encuentra directamente vinculada con los compromisos ambientales globales y las exigencias normativas nacionales (Minambiente, 2019, 2025). La revisión de las familias de refrigerantes HCFC, HFC, naturales y refrigerantes de nueva generación los HFO demuestra que la transición hacia tecnologías sostenibles no solo responde a la necesidad de reducir el impacto ambiental el cual es medido a través de indicadores como el ODP y el GWP, sino que también representan una oportunidad estratégica para mejorar la eficiencia energética y optimizar los costos operativos. En este contexto, la propuesta de intervención para Alkosto se fundamenta en la aplicación de soluciones innovadoras y sostenibles que integran criterios técnicos, económicos y ambientales, fortaleciendo su competitividad en el sector retail y alineando su operación con las metas nacionales e internacionales de sostenibilidad y cambio climático.

Es importante mencionar que, actualmente, no se dispone de evidencia técnica ni documentación formal que respalde procedimientos estandarizados para la transición o sustitución de gases refrigerantes hacia mezclas HFO como se plantea en este apartado para sistemas tipo rack de frío. Esta ausencia de información representa una limitante operativa que debe ser abordada mediante pruebas piloto en un sistema de refrigeración tipo rack de cualquier almacén Alkosto, con acompañamiento técnico especializado y validación de compatibilidad con los componentes del sistema, porque si se piensa en realizar cambio de gas refrigerante por alguno de los refrigerantes naturales como el CO₂ y el R290 se requiere de cambiar todos los equipos, empezando desde las neveras de exhibición, lo cual es muy invasivo para la operación.

Eficiencia energética

El estudio también incorpora el enfoque de eficiencia energética aplicado a sistemas de refrigeración comerciales. De acuerdo con Utage et al. (2021), la optimización energética en redes de frío permite reducir costos operativos, disminuir emisiones indirectas de CO₂e y mejorar el desempeño global de los sistemas de refrigeración.

Bajo esta perspectiva, la modernización tecnológica de los sistemas frigoríficos no solo responde a objetivos ambientales, sino también a criterios de rentabilidad y sostenibilidad económica empresarial.

Marco conceptual

La presente investigación se desarrolla alrededor de conceptos asociados con sostenibilidad ambiental, eficiencia energética y transición tecnológica en sistemas de refrigeración comercial. En este contexto, uno de los elementos centrales corresponde a los gases refrigerantes utilizados en las redes de frío de supermercados y grandes superficies, debido a su incidencia directa sobre el desempeño energético y el impacto ambiental de los sistemas.

Los refrigerantes tradicionalmente empleados en refrigeración comercial pertenecen principalmente a las familias HCFC y HFC. Los hidroclorofluorocarbonos HCFC, como el R22, se caracterizan por presentar potencial de agotamiento de la capa de ozono ODP, razón por la cual su eliminación progresiva fue establecida mediante el Protocolo de Montreal. Por su parte, los hidrofluorocarbonos HFC, aunque no afectan directamente la capa de ozono, poseen elevados niveles de potencial de calentamiento global GWP, contribuyendo significativamente al cambio climático.

Frente a este panorama, han surgido alternativas tecnológicas más sostenibles, entre ellas los refrigerantes Los hidrofluoroolefinas (en adelante, HFO) y los refrigerantes naturales.

Los hidrofluoroolefinas representan una nueva generación de refrigerantes con menores niveles de GWP y mejores condiciones de compatibilidad operativa para procesos de transición gradual. Asimismo, refrigerantes naturales como el CO₂ (R744), el amoníaco (R717) y el propano (R290) se han consolidado como soluciones ambientalmente sostenibles debido a sus bajos niveles de impacto climático y ausencia de afectación sobre la capa de ozono.

Dentro de los procesos de transición tecnológica, uno de los conceptos más relevantes es el retrofit, entendido como la adaptación de sistemas de refrigeración existentes para operar con nuevos refrigerantes sin necesidad de reemplazar completamente la infraestructura instalada. Esta estrategia permite reducir costos de inversión y facilitar procesos de modernización escalonada en organizaciones con redes de frío extensas, como es el caso de Alkosto.

Marco legal

La transición hacia refrigerantes sostenibles se encuentra respaldada por diferentes acuerdos y regulaciones internacionales y nacionales orientadas a reducir el impacto ambiental de los sistemas de refrigeración.

A nivel internacional, el principal referente corresponde al Protocolo de Montreal, adoptado en 1987, cuyo objetivo es eliminar progresivamente las sustancias agotadoras de la capa de ozono, especialmente los refrigerantes CFC y HCFC (MinAmbiente, 2025). Posteriormente, la Enmienda de Kigali estableció compromisos para la reducción gradual de los refrigerantes HFC debido a su elevado potencial de calentamiento global (MinAmbiente, 2019).

Asimismo, el Protocolo de Kioto incorporó los HFC dentro de los gases de efecto invernadero sujetos a control internacional, promoviendo estrategias de reducción de emisiones asociadas al sector de refrigeración (Naciones Unidas [NU], 2025).

En Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible ha desarrollado el Plan Nacional para la Eliminación de HCFC, mediante el cual se establecen metas progresivas para la reducción de estas sustancias y la promoción de tecnologías más limpias en refrigeración y climatización (MinAmbiente, 2025).

De igual forma, la Resolución 1652 de 2007 establece medidas para el control de sustancias agotadoras de la capa de ozono, regulando la importación, fabricación y comercialización de equipos que emplean este tipo de refrigerantes (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales [ANLA], 2007).

En consecuencia, el marco normativo evidencia una tendencia global y nacional orientada hacia la transición tecnológica de los sistemas de refrigeración, promoviendo el uso de refrigerantes sostenibles y el fortalecimiento de prácticas empresariales ambientalmente responsables.

Diseño Metodológico

La presente investigación corresponde a un estudio de tipo aplicado, con enfoque mixto y diseño de estudio de caso empresarial, orientado al análisis y formulación de estrategias de transición sostenible para los sistemas de refrigeración de los almacenes Alkosto. Su propósito principal no se centra únicamente en la generación de conocimiento teórico, sino en la formulación de una propuesta de intervención práctica orientada a resolver una problemática real relacionada con el impacto ambiental, la eficiencia energética y la sostenibilidad operativa de la red de frío de la organización.

El estudio adopta un diseño no experimental de alcance descriptivo y propositivo. Es no experimental debido a que las variables analizadas no son manipuladas directamente, sino observadas y evaluadas en su contexto real de operación dentro de los almacenes seleccionados. Asimismo, posee un alcance descriptivo porque caracteriza las condiciones técnicas, energéticas, ambientales y operativas de los sistemas de refrigeración existentes, y un componente propositivo al diseñar un plan de intervención empresarial enfocado en la transición tecnológica hacia refrigerantes sostenibles.

El enfoque metodológico es mixto, integrando herramientas cuantitativas y cualitativas. Desde el componente cuantitativo, se analizaron variables como consumos energéticos, emisiones equivalentes de CO₂, GWP, ODP, costos de inversión, análisis CAPEX y estimaciones de eficiencia energética asociadas a las diferentes alternativas tecnológicas evaluadas.

Por su parte, el enfoque cualitativo permitió incorporar criterios técnicos, operativos y estratégicos mediante el análisis de conceptos de ingeniería, percepción de personal técnico y administrativo, viabilidad operativa, gestión del cambio y evaluación de riesgos asociados a la implementación de nuevas tecnologías de refrigeración.

La metodología de diagnóstico se estructuró mediante la aplicación del modelo (Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas [DOFA]) y el análisis comparativo de huella de carbono GWP, ODP, lo que permitió identificar oportunidades de transición tecnológica en los sistemas de refrigeración de Alkosto. complementado con el análisis comparativo de impacto ambiental de los refrigerantes utilizados en la operación actual. Esta integración metodológica permitió identificar oportunidades de transición tecnológica sostenibles y establecer lineamientos estratégicos para la formulación del plan de intervención empresarial en la red de frío de Alkosto.

Modelo de diagnóstico

La elección del modelo DOFA como la herramienta de diagnóstico empresarial se fundamenta en la capacidad de integrar de manera sistemática, el análisis de variables internas y externas que inciden directamente en la toma de decisiones estratégicas en Alkosto. En este contexto de estudio el modelo DOFA resulta totalmente pertinente evaluar el estado tecnológico de los sistemas de refrigeración en los almacenes de estudio, permitiendo identificar las fortalezas asociadas a la infraestructura existente y experiencia técnica del personal, así como las debilidades relacionadas con la dependencia de refrigerantes convencionales, la obsolescencia de equipos y brechas de conocimiento técnico y normativo.

También el modelo DOFA facilita el análisis del entorno ambiental y regulatorio, al incorporar oportunidades derivadas de los incentivos tributarios, los avances tecnológicos en refrigeración y las políticas de transición energética, junto con amenazas como la evolución normativa ambiental en el país y a nivel global, el incremento de costos en los refrigerantes y riesgos sancionatorio por incumplimiento. En consecuencia, la aplicación del modelo DOFA permite realizar un diagnóstico integral de la situación actual de las redes frías de los almacenes Alkosto, además constituye una base metodológica sólida para la generación de estrategias de transición sostenible, alineada con los objetivos ambientales, económicos y operativos de la organización.

Para lograr la transición hacia gases refrigerantes sostenibles en los almacenes Alkosto y se materialice, y se convierta en un proceso estructurado y viable, es necesario recorrer una serie de fases metodológicas que permiten aterrizar cada objetivo en acciones concretas. Estas fases actúan como una hoja de ruta: primero se entiende la situación actual de los sistemas de refrigeración tradicionales en la cual se realiza un diagnóstico inicial, luego se analizan las implicaciones ambientales, sociales y económicas de migrar hacia alternativas sostenibles, y finalmente se diseñan estrategias de mejora que respondan a las necesidades reales de Alkosto, cada fase no es un ejercicio aislado, sino que se conecta con la siguiente, de modo que el diagnóstico, el análisis y la propuesta formen un camino coherente y práctico para la toma de decisiones tal cual como se puede ver en la figura 2.

Figura 2

Diagrama diseño metodológico.



Nota. Elaboración propia con base en metodología diseñada para la investigación.

Instrumentos de recolección y análisis

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron diferentes instrumentos de recolección y análisis de información orientados al diagnóstico técnico, ambiental y operativo de la red de frío de los almacenes Alkosto, con los siguientes instrumentos de análisis:

- Análisis documental: revisión de normativa ambiental, estudios sectoriales, literatura técnica especializada y documentación corporativa relacionada con sistemas de refrigeración y sostenibilidad.
- Datos técnicos de equipos: inventario de sistemas de refrigeración por almacén.
- Listas de chequeo técnicas: recolección estructurada de información operativa.
- Matrices de cálculo de emisiones: estimación de CO₂ equivalente con base en GWP y también ODP, bajo la metodología de factores IPCC.

- Evaluación de costos: análisis comparativo de escenarios tecnológicos (retrofit vs. Sustitución de gases refrigerantes).

La aplicación de estos instrumentos de recolección y análisis de información permitió consolidar un diagnóstico integral y estructurar el plan de intervención empresarial para la transición sostenible de la red de frío.

Población y muestra

La población objeto de estudio estuvo conformada por los sistemas de refrigeración comercial e industrial operados por Alkosto en los almacenes seleccionados a nivel nacional, donde se incluyen racks de refrigeración, cuartos fríos, neveras y sistemas de congelación.

La investigación utilizó un muestreo censal, debido a que se analizaron la totalidad de los almacenes Alkosto que cumplían con los criterios técnicos definidos para el estudio, correspondientes a diez (10) almacenes con presencia de redes de frío que operaban con refrigerantes HCFC y HFC.

La selección de esta muestra censal se justificó debido a que dichos almacenes concentraban la operación representativa de la red de frío objeto de análisis, permitiendo evaluar las principales configuraciones tecnológicas, tipos de refrigerantes, niveles de emisiones y condiciones operativas existentes dentro de la organización.

El personal técnico, administrativo y proveedores especializados participaron únicamente como fuentes complementarias de información cualitativa para validar aspectos operativos, técnicos y estratégicos relacionados con la transición tecnológica.

Técnicas de análisis de la información

El análisis de la información recopilada se realizó mediante técnicas de análisis descriptivo y comparativo. En el componente cuantitativo se realizó el análisis de indicadores técnicos y ambientales, tales como consumo energético, cantidad de refrigerante utilizado, emisiones equivalentes de CO₂ por almacén bajo la metodología IPCC y costos de inversión para la transición tecnológica, permitiendo comparar el desempeño de los diferentes sistemas y tecnologías de refrigeración.

En el componente cualitativo se realizó un análisis interpretativo de la información obtenida a partir de las listas de chequeo y levantamiento de información, la revisión documental y las percepciones del personal técnico y de los proveedores, orientado a identificar capacidades internas, limitaciones operativas. La integración de estos enfoques permitió consolidar un diagnóstico integral que sirvió de base para la formulación de estrategias mediante el modelo DOFA tabla 10.

Procedimiento metodológico

El procedimiento metodológico del estudio se desarrolló en forma secuencial siguiendo cada una de las fases definidas en el diseño metodológico. En la primera etapa se realizó el levantamiento de la información técnica y consolidación del inventario de equipos e identificación de gases refrigerante operados en cada sistema por almacén. En la segunda etapa se analizan los datos obtenidos para estimar cantidades de refrigerante, y cantidades de emisiones de cada almacén empleando factores como GWP y ODP, permitiendo evaluar el impacto ambiental de los almacenes, y posteriormente el análisis del marco normativo ambiental y tributario aplicable al sector identificando incentivos tributarios y restricciones relevantes en la transición de gases refrigerantes.

Finalmente, se integra la matriz DOFA, del cual se formulan y priorizan las estrategias de transición hacia una refrigeración sostenible, considerando criterios técnicos, ambientales, económicos y operativos.

Ficha técnica de diagnóstico

FICHA TÉCNICA DEL DIAGNÓSTICO	
Tipo de investigación	Aplicada
Enfoque metodológico	Mixto
Diseño metodológico	No experimental, descriptivo y propositivo
Método de análisis estratégico	Modelo DOFA
Unidad de análisis	Sistema de refrigeración de almacenes Alkosto
Cobertura Geográfica	Almacenes Alkosto a nivel nacional
Población	Sistemas de refrigeración de almacenes Alkosto
Muestra	Muestreo censal
Instrumentos	listas de chequeo técnicas, matriz de análisis de emisiones
Técnicas de análisis	análisis descriptivo, comparativo y estratégico
Resultado	formulación de un plan de intervención empresarial para la transición sostenible de refrigerantes

Nota. Elaboración propia.

Aplicación del modelo DOFA como herramienta de diagnóstico empresarial

La aplicación del modelo DOFA en este trabajo de intervención empresarial en Alkosto se desarrolla de manera secuencial y articulada con las fases metodológicas planteadas, con el fin de garantizar un diagnóstico integral que sirva como base para la formulación de estrategias de transición hacia refrigerantes sostenibles en la red de frío de almacenes Alkosto. Este proceso se estructura en las siguientes cuatro etapas.

Primera etapa: Identificación de factores internos (Fortalezas y Debilidades).

En esta etapa se analizan los elementos internos en Alkosto que inciden directamente en la operación de los sistemas de refrigeración para neveras y cuartos fríos. Para esto, se realiza un inventario detallado de los equipos existentes, los tipos de refrigerantes utilizados, los consumos energéticos, así como la evaluación del nivel de conocimiento técnico de personal involucrado en la operación y mantenimiento de estos sistemas del equipo de Alkosto como contratistas aliados. Esta información permite identificar fortalezas como la infraestructura instalada y la experiencia técnica del equipo humano, y debilidades relacionadas con la dependencia de refrigerantes HFC y HCFC, la antigüedad de algunos equipos y la ausencia de protocolos estandarizados para la transición tecnológica.

Segunda etapa: Identificación de factores externos (Oportunidades y Amenazas).

En esta etapa se analizan las variables del entorno que afectan la toma de decisiones estratégicas en materia de refrigeración sostenible. En este análisis se consideraron aspectos regulatorios, ambientales, económicos y de mercado, tales como los compromisos internacionales en materia de protección de la capa de ozono y mitigación del cambio climático como el protocolo de Montreal y la enmienda de Kigali (Minambiente, 2019, 2025), la normativa ambiental vigente en Colombia en la regulación de sustancias que afecten la capa de Ozono (ANLA, 2007), los incentivos tributarios para proyectos de eficiencia energética y reducción de emisiones, así como los riesgos asociados al aumento en los costos, la escasez de refrigerantes convencionales y las posibles sanciones por incumplimiento normativo. Estos elementos permiten identificar oportunidades para la modernización tecnológica las redes de frío y amenazas que podrían afectar la continuidad operativa de la operación de Alkosto y el cumplimiento ambiental de la organización.

Tercera etapa: Análisis de la matriz DOFA.

Identificados los factores internos y externos, se procede a la construcción de la matriz DOFA mediante el cruce de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas. Este análisis cruzado permite definir estrategias de tipo FO, FA, DO y DA, como se observa en la tabla 9, orientadas a potenciar las capacidades internas de Alkosto, mitigar los riesgos externos y aprovechar las oportunidades regulatorias y tecnológicas disponibles en el proceso de transición hacia refrigerantes sostenibles.

Cuarta etapa: Formulación de estrategias de transición tecnológica.

Con el análisis DOFA de la tabla 9, se priorizan estrategias orientadas a la sustitución progresiva de refrigerantes HCFC y HFC por alternativas con menor impacto ambiental, la implementación de sistemas de refrigeración con refrigerantes naturales y refrigerantes con menores impactos negativos a nivel ambiental, el fortalecimiento de las competencias técnicas del personal y el aprovechamiento de los beneficios tributarios existentes. Integrando de manera coherente las fases de diagnóstico técnico, análisis ambiental y normativo, además de la evaluación económica desarrolladas en el estudio.

Diagnóstico Organizacional

El diagnóstico organizacional se desarrolla en cuatro etapas de forma secuencial que permiten caracterizar la parte técnica, energética y ambiental de la red de frío de los almacenes Alkosto. La primera etapa correspondió al levantamiento e inventario de los sistemas de refrigeración de cada almacén, la segunda etapa corresponde a la validación y contraste de la información en el software de gestión del área de ingeniería y mantenimiento, en la tercera etapa se realiza el análisis de consumos energéticos y cálculo de emisiones equivalentes de CO₂e, y la cuarta y última etapa se hace el procesamiento estadístico y análisis comparativo de los resultados, con el fin de identificar la situación actual, fortalezas y oportunidades de mejora para la transición tecnológica hacia refrigerantes ambientalmente responsables.

Diagnostico técnico

La primera etapa de diagnóstico del estado actual es el punto de partida para conocer a fondo cómo funcionan los equipos de refrigeración de los almacenes Alkosto, lo que implica realizar un inventario de equipos, además de identificar cada sistema que opera en cada tienda, con qué tipo de refrigerante funciona, resultado que se muestra en la tabla 6. Con esta información se obtiene una radiografía clara de los sistemas de refrigeración de los almacenes. Donde existen equipos como neveras y rack de refrigeración con una antigüedad de más de 25 años de operación en almacenes más antiguos de la compañía y para los almacenes que han venido creciendo dentro de la organización, se tienen equipos desde su apertura lo que nos da una panorámica de equipos antiguos, que generan altos consumos por el tipo de tecnología usada en el momento de instalación y puesta en funcionamiento.

Como se observa en la tabla 6, los refrigerantes predominantes son los HCFC y los HFC, donde el conocimiento técnico del personal involucrado como contratistas cumple de manera satisfactoria en el desarrollo de la operación diaria en este tipo de gases refrigerantes como fortaleza para la operación de Alkosto.

Tabla 6

Tipos de refrigerantes usados por almacén.

Almacén	Tipo de refrigerante	Cantidad en cilindros 25 libras
ALKOSTO EDEN	R507(HFC)	32
ALKOSTO AV68	R22 (HCFC) Y R507(HFC)	35
ALKOSTO CARRERA 30	R22 (HCFC) Y R507(HFC)	18
ALKOSTO VENECIA	R22 (HCFC) Y R507(HFC)	30
ALKOSTO 170	R22 (HCFC)	30
ALKOSTO VILLAVICENCIO	R22 (HCFC) Y R507(HFC)	20
ALKOSTO FLORIDABLANCA	R507(HFC)	28
ALKOSTO YOPAL	NO TIENE NEVERAS NI CAVAS	
ALKOSTO SINCELEJO	NO TIENE NEVERAS NI CAVAS	
ALKOSTO CALI SUR	R507(HFC)	35
ALKOSTO CALI NORTE	R507(HFC)	35
ALKOSTO PEREIRA	R22 (HCFC) Y R507(HFC)	28
ALKOSTO BARRANQUILLA	NO TIENE NEVERAS NI CAVAS	

Nota. Elaboración propia con información tomada en campo y registrada en anexo 2.

En la fase inicial o de diagnóstico se realiza el levantamiento detallado de la situación actual de los sistemas de refrigeración de almacenes Alkosto, en la cual se incluye la elaboración de un inventario completo de equipos, resultados presentados en la tabla 6, datos validados en el software administrador de mantenimiento de la compañía donde a partir de ello se valida los sistemas con refrigerantes HCFC R22 y HFC con R507, para los almacenes en la ciudad de Bogotá se realiza visita técnica en sitio y se validan las fichas técnicas de los rack de refrigeración presentes en cada almacén, obteniendo como resultado, el tipo de refrigerante que utiliza el sistema y la capacidad de refrigerante que este contiene, para los almacenes que se encuentran fuera de Bogotá y que están ubicados en ciudades en todo el país se realiza un levantamiento

inicial de esta información a través del personal de mantenimiento propio y contratista y luego se valida con visita en campo, obteniendo los resultados como se muestran en la tabla 6.

Adicionalmente, se realizó el análisis de los consumos energéticos expresados en kilovatios hora (kWh) por almacén, cuyos resultados se presentan en la Tabla 7. Los datos evidencian que los almacenes que operan con configuraciones mixtas de refrigerantes HCFC y HFC presentan consumos energéticos superiores en comparación con aquellos que utilizan un único tipo de refrigerante.

Tabla 7

Consumo energético por almacén

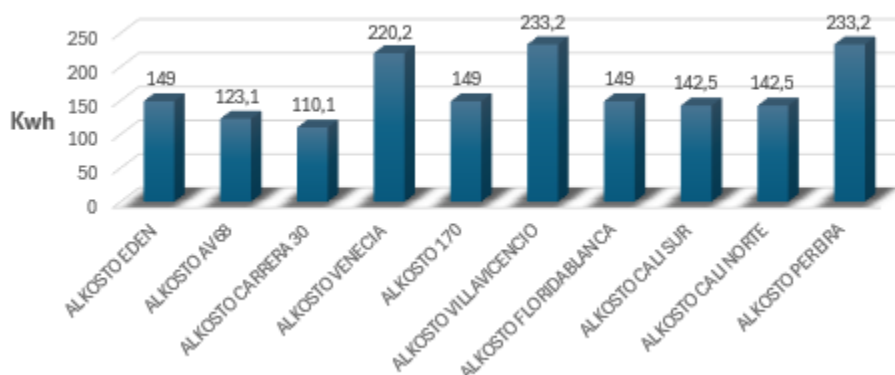
Almacén	Tipo de Refrigerante	Total, kWh
ALKOSTO EDEN	R507(HFC)	149,0
ALKOSTO AV68	R22 (HCFC) Y R507(HFC)	123,1
ALKOSTO CARRERA 30	R22 (HCFC) Y R507(HFC)	110,1
ALKOSTO VENECIA	R22 (HCFC) Y R507(HFC)	220,2
ALKOSTO 170	R22 (HCFC)	149,0
ALKOSTO VILLAVICENCIO	R22 (HCFC) Y R507(HFC)	233,2
ALKOSTO FLORIDABLANCA	R507(HFC)	149,0
ALKOSTO CALI SUR	R507(HFC)	142,5
ALKOSTO CALI NORTE	R507(HFC)	142,5
ALKOSTO PEREIRA	R22 (HCFC) Y R507(HFC)	233,2

Nota. Elaboración propia con datos técnicos obtenidos con visita en campo.

El análisis del consumo energético asociado a los sistemas de refrigeración se evidencia una marcada variabilidad en función del tipo de refrigerante utilizado y de la configuración tecnológica de cada instalación. Los puntos de venta que operan exclusivamente con refrigerantes HFC como el R507, entre ellos las sedes de Edén, Floridablanca y los dos almacenes de Cali, muestran consumos relativamente homogéneos, ubicándose en un rango cercano a los 142–149 kWh. En contraste, los almacenes que aún combinan tecnologías con HCFC R22 y HFC R507 presentan los valores más elevados de consumo, destacándose los almacenes de Villavicencio y Pereira con 233 kWh, así como Alkosto Venecia con 220 kWh.

Figura 3

Total, de consumos energéticos por almacén.



Nota. Elaboración propia, con base en datos técnicos obtenidos de visita en campo.

El análisis estadístico del consumo energético de los sistemas de refrigeración muestra un comportamiento heterogéneo entre los distintos almacenes de Alkosto. El promedio general se ubica en 165,18 kWh, influenciado por varios puntos con consumos notablemente altos, mientras que la mediana, situada en 149 kWh, evidencia que al menos la mitad de los almacenes opera en rangos moderados de demanda energética como se representa en la figura 3. La diferencia entre el mínimo de 110,1 kWh y el máximo de 233,2 kWh refleja una dispersión significativa que sugiere variaciones importantes en eficiencia tecnológica, tipo de refrigerante y condiciones operativas. En particular, los almacenes que aún emplean refrigerantes como R22 menos eficientes en términos energéticos tienden a concentrar los valores más altos de consumo, lo cual resalta oportunidades claras de optimización energética mediante modernización y transición hacia tecnologías más eficientes y sostenibles, en la figura 3 se puede ver el consumo energético por almacén

Impacto ambiental y financiero

En la segunda etapa se realiza el respectivo análisis en términos ambientales y sociales de los datos obtenidos durante la primera etapa donde se obtiene datos relevantes como cantidad y tipos de refrigerantes de los distintos almacenes a nivel nacional. En la tabla 8 se realiza el análisis completo de cada almacén donde muestra con qué tipo de refrigerante trabaja o funcionan los sistemas de cada tienda, se puede observar que existe un común denominador y es la operación de gases refrigerantes HFC y HCFC, para el caso de estudio corresponde al refrigerante R507 con altos niveles de calentamiento global atmosférico y los HCFC que corresponde al refrigerante R22 con capacidad de dañar la capa de ozono, este último gas refrigerante es altamente contaminante y va en contravía con protocolos como el de Montreal y la enmienda de Kigali (Minambiente, 2019, 2025) además de políticas internas que ya regulan el uso de este tipo de sustancias químicas y refrigerantes (ANLA, 2007). En el análisis de esta tabla podemos observar como el refrigerante R507 tiene casi el doble de índice de calentamiento global o GWP sin embargo su capacidad de dañar la capa de ozono es cero, mientras que el gas refrigerante R22 su GWP es apenas de 1810 pero su índice de daño de capa de ozono o en su sigla ODP es de 0.05 lo cual afecta la capa de ozono por su composición en la molécula con Cloro lo cual es dañina.

De esta forma y bajo estos hallazgos encontrados en la lectura del anterior análisis se considera oportuno tomar dos caminos como solución en la transición hacia gases refrigerantes sostenibles que se mencionaran más adelante luego del análisis completo de los datos.

Tabla 8*Huella de carbono generada por almacén.*

Almacén	Tipo de refrigerante	GWP R22	GWP R507	KG R507	KG R22	emisiones CO2 (R507)	emisiones CO2 (R22)	Total, emisiones CO2
ALKOSTO EDEN	R507(HFC)		3985	384		1530240		1.530,24
ALKOSTO AV68	R22 (HCFC) Y R507(HFC)	1810	3985	228	192	908580	347520	1.256,10
ALKOSTO CARRERA 30	R22 (HCFC) Y R507(HFC)	1810	3985	192	144	765120	260640	1.025,76
ALKOSTO VENECIA	R22 (HCFC) Y R507(HFC)	1810	3985	216	144	860760	260640	1.121,40
ALKOSTO 170	R22 (HCFC)	1810			360		651600	651,6
ALKOSTO VILLAVICENCIO	R22 (HCFC) Y R507(HFC)	1810	3985	216	144	860760	260640	1.121,40
ALKOSTO FLORIDABLANCA	R507(HFC)		3985	336		1338960		1.338,96
ALKOSTO CALI SUR	R507(HFC)		3985	420		1673700		1.673,70
ALKOSTO CALI NORTE	R507(HFC)		3985	336		1338960		1.338,96
ALKOSTO PEREIRA	R22 (HCFC) Y R507(HFC)	1810	3985	216	120	860760	217200	1.077,96

Nota. Elaboración propia con información base registrada en campo.

Como se menciona anteriormente el refrigerante R22 su GWP es de 1810 es decir que por cada kilo liberado esto equivale a 1810 kg CO₂e o lo que es equivalente a 1.8tCO₂e y para el caso de del refrigerante R507 su GWP es de 3985 es decir que por cada kg liberado su equivalente es igual a 3.9 tCO₂e teniendo este último más del doble de emisiones en GWP. De esta forma se puede evidenciar que la gran mayoría de los almacenes tienen un elevado número de emisiones y la combinación de los dos tipos de refrigerante lo hace un foco significativo en el impacto climático, adicionalmente se puede observar que los almacenes con refrigerante R507 tiene más del doble de emisiones, adicionalmente la presencia de refrigerantes HCFC es crítica ya que su calentamiento es alto pero su afectación a la capa de ozono es significativa, de esta manera es importante trazar dos rutas en la transición de gases refrigerantes.

Los hallazgos derivados de este análisis ambiental y social permiten identificar de forma clara las oportunidades y amenazas del entorno, particularmente aquellas relacionadas con el impacto climático de los refrigerantes utilizados, los compromisos

internacionales en materia ambiental y los riesgos asociados al uso de sustancias con alto potencial de calentamiento global o agotamiento de la capa de ozono, los cuales son incorporados como variables externas en la matriz DOFA.

Una vez identificadas las opciones técnicas y regulatorias anteriormente mencionadas. En la tabla 9 se observan los costos de inversión CAPEX de un sistema CO2 comparado con el cambio de un refrigerante con cero impactos de agotamiento de la capa de ozono y con bajo nivel de GWP, resaltando que al cambiar el sistema de refrigeración con CO2 su consumo energético baja entre un 25% a 30% (Utage et al., 2021), lo que no ocurre si se cambia el refrigerante o proceso que se le conoce como retrofit donde su consumo energético no tiene el mismo porcentaje de disminución. Lo cual es un dato importante a la hora de cambiar una tecnología logrando eficiencias energéticas considerables.

Tabla 9

Relación de costos entre un sistema CO2 y el cambio de refrigerante R22 a R449A.

Almacén	Costo de sistema CO2 nuevo		Cambio de refrigerante Opteon XP-40(R449A)	
ALKOSTO CARRERA				
30	\$	1.200.000.000	\$	45.000.000
ALKOSTO 170	\$	3.850.000.000	\$	54.000.000
ALKOSTO 68	\$	3.600.000.000	\$	52.000.000

Nota. Elaboración propia con información de cotizaciones realizadas y obtenidas del departamento de ingeniería y mantenimiento.

Como se puede observar la inversión o CAPEX es bastante importante en comparación con la realización de retrofit de manera directa, sin embargo, se deben analizar que un sistema CO2 tiene grandes beneficios tanto tributarios como ambientales, además que se renuevan todos los equipos lo cual es bastante importante para el negocio

Alternativas tecnológicas y normativas

Luego de ver a profundidad las características principales de los sistemas de refrigeración que actualmente cuenta Alkosto podemos generar varias rutas de una transición de refrigerantes HFC y HCFC con opciones más sostenibles, y que a continuación se proponen de tal forma que en todas podemos aplicar a los beneficios tributarios

La primera ruta que se propone es la eliminación del uso de refrigerantes HCFC que agotan la capa de ozono (MinAmbiente, 2019) que corresponde al uso de refrigerante R22, y se puede lograr con varias alternativas, una de ellas es sustituir este gas refrigerante R22 por otro freón que tenga un ODP igual a cero que es una opción económicamente viable y que funciona con los mismos equipos e instrumentación lo cual es bastante atractivo para la operación, bajando incluso el GWP de 1810 del refrigerante R22 a 1282 usando un refrigerante alternativo como el refrigerante opteon XP-40 o refrigerante R449A donde su ODP es cero y su GWP es de apenas 1282 muy por debajo del R22 como se evidencia en la tabla 10.

Tabla 10.

Índices de daños ambientales por refrigerante

REFRIGERANTE	ODP	GWP
R22	0,05	1810
R449A	0	1282

Nota. Elaboración propia, con base a información técnica de fichas técnicas (Chemours, 2026; 2024)

La segunda ruta corresponde a ir sustituyendo refrigerantes HFC de manera paulatina para este caso corresponde a refrigerante R507 que si bien es cierto su ODP es igual a cero, pero su GWP es muy alto con un índice de 3985 lo que nos enfoca en bajar este tipo emisión de alto potencial de calentamiento global y lo podemos realizar

sustituyendo este gas con la opción del freón Opteon XP-40 donde es un sustituto perfecto tanto para media temperatura como para baja temperatura, ya que sus presiones de trabajo están mucho más abajo en comparación con el refrigerante R507, además de bajar en un 67% el GWP, reduciendo así la huella de carbono de la compañía.

Una tercera ruta propuesta, se basa en que para nuevas aperturas es decir para nuevos almacenes o para el reemplazo de equipos que por su vida útil o daño correctivos llegan al final de funcionamiento, estos sean sustituidos por equipos de refrigeración con gases refrigerantes naturales tales como el CO₂ (R744) Y R290, llevando de esta manera los activos a su total depreciación y se actualiza con equipos de última tecnología y amigables con el medio ambiente.

Una cuarta ruta que también se puede contemplar es el cambio de sistemas tradicionales es decir el cambio de refrigerantes HFC Y HCFC directamente por sistemas como el CO₂ y sistemas R290, teniendo en cuenta el análisis de inversión y costo de estos equipos contemplados en la tabla 9.

Plasmadas las anteriores rutas propuestas de sustitución de gases refrigerantes tradicionales y altamente contaminantes por refrigerantes más amigables con el medio ambiente, se puede ver un escalonamiento ordenado, viable y ajustable en el corto y mediano plazo de tal forma que es un proceso progresivo y sostenible, además que se estandariza el uso de refrigerantes naturales dentro de la compañía.

Sin embargo, el plan no termina con la implementación de cualquiera de las anteriores propuestas, sino que allí nacen nuevas metodologías de operación que consiste en el control estricto de posibles fugas además de generar un plan concreto de capacitaciones a todo nivel como auxiliares, técnicos, coordinadores e ingenieros del departamento de ingeniería y mantenimiento. Todo lo anterior es analizado y priorizado bajo la matriz DOFA en la tabla 10.

Como resultado de la integración de las fases de diagnóstico técnico, análisis ambiental y social, y evaluación regulatoria y económica, se construye la matriz DOFA tabla 10 que se presenta a continuación, la cual consolida los principales factores internos y externos identificados, siendo una herramienta primordial para la formulación y priorización de estrategias orientadas a la transición sostenible de los sistemas de refrigeración en los almacenes Alkosto.

En la etapa 3 también se trabaja y ahonda en los beneficios regulatorios y tributarios a los que se pueden acceder a través de políticas establecidas para el sector industrial que se acoge y trabaja desde las eficiencias energéticas y reducción de huella de carbono, para el caso de Colombia existen deducciones tributarias para proyectos donde se reducen las emisiones generadas de procesos industriales y que mediante resoluciones establecidas como la unidad de planeación minero energética (UPME, 2025), en la cual se establecen requisitos mínimos, procedimientos y tarifas para la emisión de certificados que permiten acceder a los distintos incentivos tributarios según la (ley 1715, 2014) (Colombia congreso de la Republica, 2014).

La (resolución 135 de 2025) (UPME, 2025) nos muestra en que aspectos podemos aplicar a estos beneficios tributarios por ejemplo en la adquisición de equipos de refrigeración y compresores tanto para media o baja temperatura y que operan con CO₂ o con refrigerantes con GWP menor a 100, dentro de esto incluyen equipos tales como: compresores, evaporadores, chiller y desde luego neveras que trabajen con el mismo refrigerante (UPME, 2025), entre los principales beneficios que se obtienen son la deducción de la renta, la exclusión del IVA, la exención de derechos arancelarios y la depreciación acelerada de activos en maquinaria y equipos todo esto bajo la (ley 1715 del 2014) (Colombia congreso de la República, 2014).

Con este análisis de los beneficios regulatorios y tributarios aplicables a proyectos de eficiencia energética y reducción de emisiones para Colombia, se integra al modelo DOFA como un conjunto de oportunidades estratégicas, al evidenciar mecanismos que facilitan la viabilidad económica de la transición hacia sistemas de refrigeración sostenibles y respaldan la toma de decisiones desde una perspectiva financiera y normativa.

Procesamiento estadístico de datos

El procesamiento estadístico de los datos permitió organizar, sintetizar y analizar los datos recopilados durante el levantamiento técnico de los sistemas de refrigeración. Para ello se aplicaron técnicas de estadística descriptiva con los valores de la tabla 8, con el fin de identificar tendencias centrales, niveles de dispersión y distribución porcentual de las variables analizadas, particularmente en lo relacionado con emisiones de CO₂ equivalente, consumo energético y tipos de refrigerantes utilizados en cada almacén.

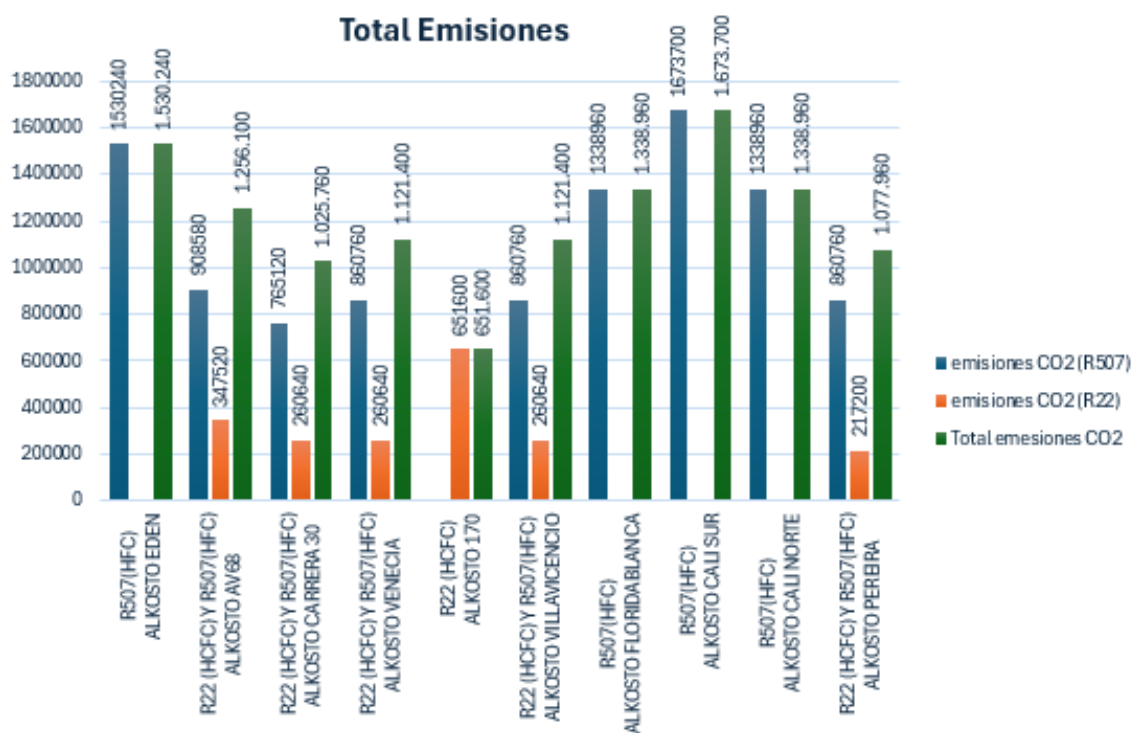
Análisis descriptivo de emisiones

Para esta interpretación, se empleó un análisis descriptivo porcentual basado en los datos de la Tabla 8, en el cual se calcularon los pesos relativos de cada tipo de refrigerante, así como las emisiones equivalentes de CO₂ derivadas de los valores de GWP y la carga de gas instalada en cada almacén, el análisis permitió identificar que solo cuatro almacenes operan exclusivamente con R507, mientras que uno utiliza únicamente R22 y el resto mantiene configuraciones mixtas, situación que incrementa significativamente la huella climática como se puede ver en la figura 4. Los cálculos de emisiones expresados en toneladas de CO₂ equivalente se obtuvieron mediante la fórmula establecida por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), multiplicando la carga de refrigerante expresada en kilogramos por su GWP

correspondiente, lo que permite cuantificar de manera objetiva el impacto ambiental de cada instalación.

Figura 4

Grafica de total de emisiones.



Nota. Elaboración propia, con datos técnicos obtenidos en campo y presentados en tabla 8.

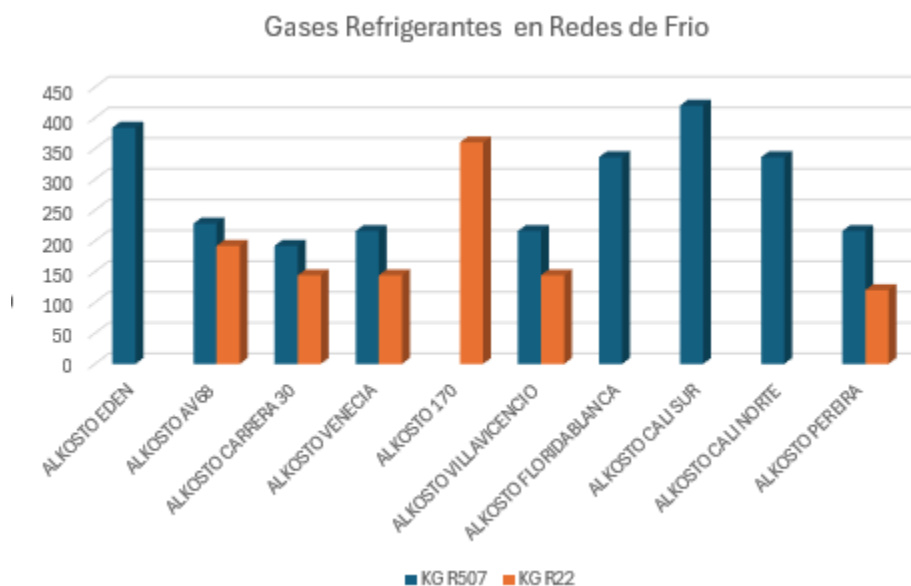
En conjunto, estos resultados evidencian una clara oportunidad de mitigación mediante la sustitución gradual del R22 y la transición hacia alternativas de bajo GWP que reduzcan el impacto climático total de la red frigorífica de cada almacén. En la figura 5 podemos observar que el gas refrigerante R22 o HCFC tiene una participación importante del 41,4% del total de la

red frigorífica lo cual genera un disparador importante por tratarse de un gas con efectos directos en el agotamiento de la capa de ozono, y que con relación al R507 HFC que tiene un porcentaje de 58,6% esto con base a los datos de la tabla 8 representa una gran oportunidad para trabajar y mitigar el efecto que esta causa.

Por otra parte, los almacenes que emplean configuraciones mixtas de R22 y R507 muestran patrones de emisión más equilibrados, aunque no por ello menos relevantes desde la perspectiva climática. En estos casos, la distribución de las cargas entre ambos refrigerantes genera emisiones totales que reflejan el peso conjunto de dos gases con impactos ambientales diferenciados. Almacenes como Villavicencio y Pereira, con emisiones cercanas a 1.100 tCO₂e, demuestran cómo incluso cantidades moderadas de R22 contribuyen de manera considerable a la huella total, dada su capacidad de deteriorar la capa de ozono además de su contribución al calentamiento global.

Figura 5

Distribución de gases refrigerantes por almacén



Nota. Elaboración propia, con datos técnicos obtenidos en campo y representados en tabla 6.

También podemos observar en la figura 5, cómo en 4 almacenes solo se usa refrigerante HFC o R507 y en un almacén como Alkosto 170 se tiene el uso únicamente de refrigerante HCFC R22 en los demás almacenes se tiene un uso mixto de estos dos tipos de gas refrigerante.

También es notable que el almacén que opera únicamente con R22 como Alkosto 170 presenta una carga relativamente baja 360 kg, lo que se traduce en emisiones totales menores que las de instalaciones operadas exclusivamente con R507. Sin embargo, su impacto ambiental no debe minimizarse, pues el uso intensivo de R22 implica un doble efecto negativo: contribuye al calentamiento global y además genera agotamiento de la capa de ozono, un aspecto crítico dentro de las regulaciones internacionales.

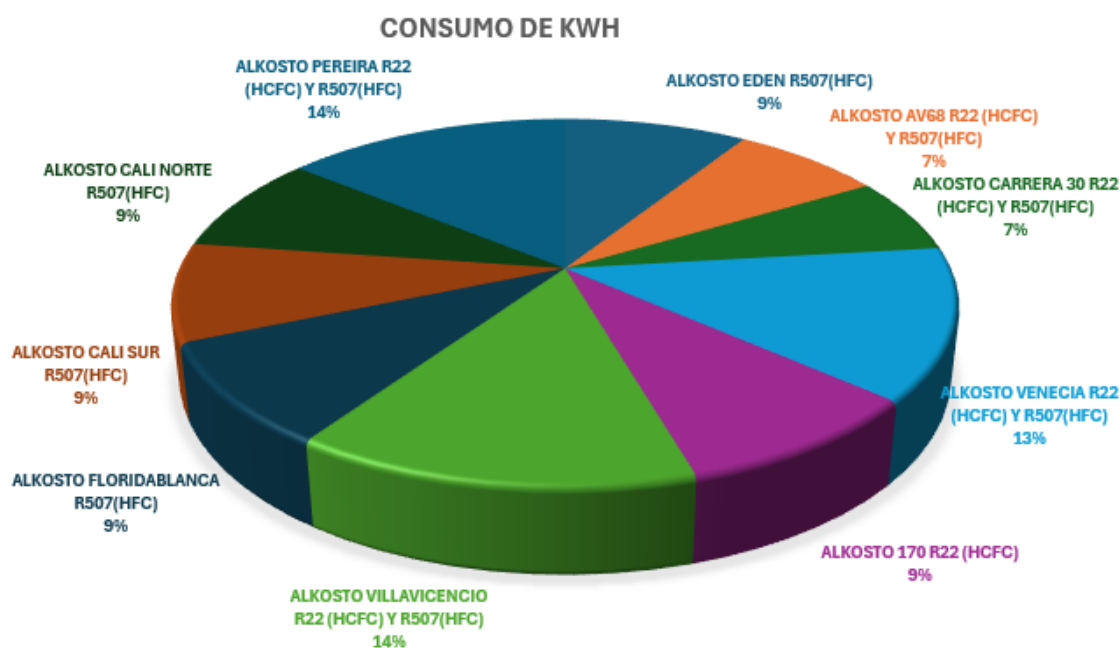
Finalmente, las variaciones entre los almacenes reflejan no solo diferencias en configuración técnica, sino también en la escala operacional y en el estado del sistema frigorífico de cada sede. La heterogeneidad de cargas y combinaciones de refrigerantes evidencia que la red opera bajo un conjunto de condiciones técnicas y operativas variado, lo que subraya la necesidad de una estrategia unificada que priorice tecnologías con menor GWP y mejore las prácticas de gestión del refrigerante en toda la organización.

Análisis descriptivo del consumo energético

Con el fin de evaluar el comportamiento operativo de la red de frío en los almacenes analizados de Alkosto, se realiza análisis comparativo del consumo energético de los sistemas de refrigeración, considerando el tipo de refrigerante utilizado, la capacidad instalada y las condiciones operativas de cada almacén como se ve en la figura 6. Los resultados permiten identificar diferencias significativas en el desempeño energético entre las instalaciones evaluadas.

Figura 6

Porcentajes de consumos energéticos por almacén.



Nota. Elaboración propia, a partir de datos obtenidos de visita en campo y relacionados en tabla 7; el consumo está dado en kilovatios hora (Kwh).

El consumo energético presenta una variación entre el consumo energético mínimo de Alkosto carrera 30 y el máximo como Alkosto Pereira y Villavicencio de 123,1 kWh, evidenciando una dispersión importante entre almacenes, diferencia que se da por la cantidad frigorífica

instalada, tamaño del almacén y antigüedad de equipos, donde el promedio de consumo energético de los sistemas de refrigeración es de 165,2 kWh, para los sistemas de refrigeración que operan con gas refrigerante R507 muestran un consumo homogéneo de 149 kWh, con una variación menor a 7 kWh esto indica que son sistemas estables a nivel operacional, y los sistemas que operan solo con R22 como Alkosto 170 muestra un consumo equivalente al promedio de los sistemas que operan con R507, en la figura 6 podemos ver el porcentaje de consumo energético entre los diez almacenes de estudio.

Análisis de los resultados

Situación actual.

Actualmente, los sistemas de refrigeración de los almacenes Alkosto presentan una distribución heterogénea en el uso de gases refrigerantes R507 y R22, dándonos un punto de partida para la toma de decisiones en la transición de gases refrigerantes. Los resultados también muestran que algunos almacenes, operan exclusivamente con R507, mientras que otros como Alkosto 170 depende completamente del R22 como lo muestra la figura 5, el levantamiento de esta información permitió obtener datos confiables sobre el tipo de refrigerante usado, consolidando una visión clara del panorama actual de la red de frío a nivel nacional.

Almacenes con refrigerante R507

El análisis a nivel porcentual del uso de refrigerantes evidencia una marcada heterogeneidad en la red de almacenes. En primer lugar, se identifica que cuatro tiendas Alkosto Eden, Alkosto Floridablanca, Alkosto Cali Sur y Alkosto Cali Norte su operación frigorífica la

realizan con refrigerante 100% R507, lo que confirma su dependencia absoluta de un refrigerante de muy alto GWP y por tanto con elevada contribución al calentamiento global. En contraste, el almacén Alkosto 170 muestra un comportamiento opuesto, con 100% de R22, lo que lo convierte en el caso más crítico en cuanto a efectos sobre el agotamiento de la capa de ozono, pese a no ser el que más emisiones totales genera.

Almacenes con refrigerantes mixtos

En los almacenes con configuraciones mixtas, los porcentajes permiten identificar diferencias importantes en el nivel de dependencia de cada refrigerante. En Alkosto de la avenida 68 opera con 54,3% de R507 y 45,7% de R22, siendo el establecimiento con mayor proporción relativa de HCFC en esta categoría. Alkosto carrera 30 y Alkosto Venecia presentan composiciones similares, con 57,1% y 60% de R507, respectivamente, mientras que Alkosto Villavicencio replica el mismo patrón con un 60% de R507 y 40% de R22, mostrando un balance aún comprometido desde la perspectiva ambiental. Para el caso de Alkosto Pereira es particularmente relevante, pues, aunque mantiene una operación mixta, registra la mayor proporción de R507 dentro de este grupo con 64,3%, lo que indica una transición parcial hacia refrigerantes con menor impacto en ozono, pero aún con altas emisiones climáticas debido al elevado GWP del gas.

Con este análisis porcentual se confirma que la red frigorífica mantiene una dependencia elevada de refrigerantes con alto impacto climático, reforzando la urgencia de una estrategia corporativa orientada a la reconversión tecnológica hacia alternativas de bajo GWP.

Fortalezas de almacenes Alkosto.

Una de las principales fortalezas obtenidas a través de este proceso es el detalle técnico de los sistemas de refrigeración, además del recurso humano, pilares fundamentales en el paso de una transición sostenible, lo cual como oportunidades de mejora más relevantes se destaca

la necesidad de acelerar la sustitución total de gases refrigerantes HCFC R22 aun presentes en varios de los almacenes reduciendo el impacto ambiental en sustancias químicas que agotan la capa de ozono y que van en contravía del protocolo de Montreal (MinAmbiente, 2025).

El empleo del software de gestión de mantenimiento constituye una fortaleza clave al centralizar la información operativa y permitir una gestión estructurada y confiable del mantenimiento. Esta herramienta facilita el registro histórico de intervenciones, la trazabilidad de los activos y la actualización permanente del inventario técnico, lo que mejora la precisión en la planificación y permite tomar decisiones basadas en datos reales. Además, contribuye a estandarizar los procesos y reducir errores humanos, incrementando la eficiencia y la capacidad de respuesta ante fallas o necesidades de intervención.

Contar con personal técnico altamente capacitado fortalece significativamente la calidad del proceso, ya que garantiza la correcta verificación, interpretación y carga de la información en el sistema de gestión. La experiencia del equipo permite identificar inconsistencias, validar parámetros críticos y asegurar que los registros reflejen fielmente la condición de los equipos en cada almacén. Esto no solo aumenta la confiabilidad del diagnóstico técnico, sino que también favorece la toma de decisiones estratégicas asociadas al mantenimiento, renovación tecnológica y eficiencia operativa de la red frigorífica.

La base técnica sólida para proyectos de reconversión tecnológica en este proceso se genera insumos confiables para evaluar alternativas de transición hacia refrigerantes de bajo GWP, sustitución de equipos o modernización de la red. Esto representa una ventaja estratégica para la toma de decisiones de inversión.

Oportunidades de mejora

Se ve la necesidad también de buscar una alternativa distinta y que tomaría dos rutas, una es la eliminación del uso del R22 y la segunda línea consiste en el cambio de refrigerantes como el R507 ya que este no agota la capa de ozono, pero si nos presenta un alto potencial de calentamiento en la atmosfera aumentando de esta manera la huella de carbono, además se debe generar una cultura de capacitación y formación en buenas prácticas de refrigeración a nuestros técnicos.

Optimización energética

Una estrategia de mejora continua consiste en enfocarse en la optimización energética de los sistemas de refrigeración, implementando tecnologías de bajo consumo y refrigerantes de cuarta generación como los refrigerantes HFO o naturales como el CO2 o el R290, que representen un avance significativo hacia operaciones más sostenibles y eficientes a largo plazo.

profundizar la integración operativa del software de gestión de mantenimiento de manera que no solo funcione como repositorio de información, sino como una herramienta activa de gestión. La incorporación de tableros de indicadores, alarmas automáticas, seguimiento de fugas, control de inventario de gas refrigerante y reportes dinámicos por tienda permitiría aumentar la trazabilidad, mejorar la eficiencia operativa y reducir los tiempos de respuesta ante eventos críticos en los sistemas de refrigeración, pero sobre todo con análisis en control de emisiones de gases refrigerantes a la atmosfera.

Control de fugas

El control de fugas representa también un eje crítico de mejora, lo cual es indispensable implementar rutinas más frecuentes de pruebas de hermeticidad, reforzar el uso de herramientas

de detección temprana y establecer un índice de tasa de fuga por tienda, con el fin de identificar patrones de falla y actuar preventivamente, esto reduce significativamente las pérdidas de gas, los costos operativos y las emisiones emitidas a la atmosfera.

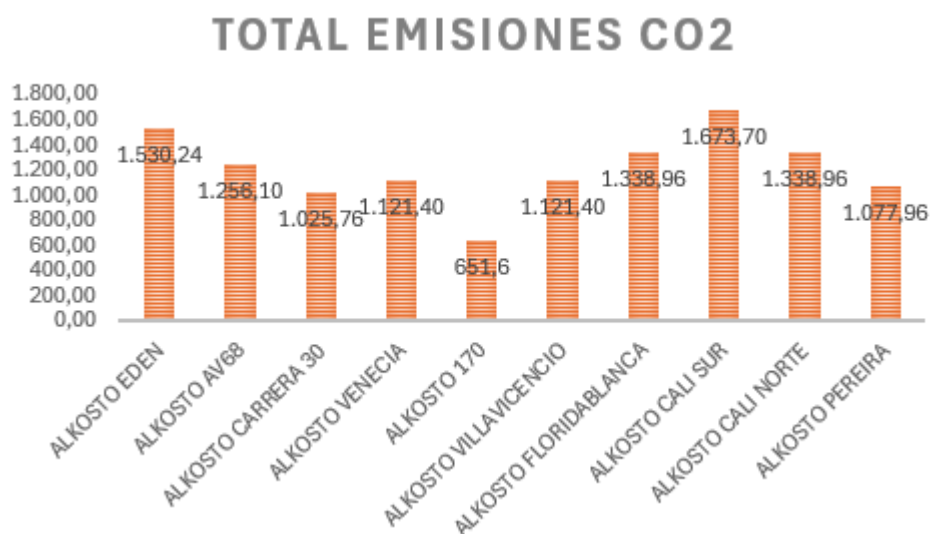
Control y seguimiento de indicadores

Otra oportunidad adicional consiste en fortalecer las metodologías de análisis estadístico y la trazabilidad operativa, mediante el uso de análisis de correlación, normalización de indicadores, series temporales e indicadores comparativos permiten entender mejor el comportamiento de los almacenes y justificar decisiones técnicas con mayor rigor. A esto se suma la necesidad de evaluar el ciclo de vida de los equipos, lo que ayudaría a priorizar renovaciones basadas en impacto ambiental, costos futuros y eficiencia energética.

La figura 4 muestra el comparativo de las emisiones totales de CO₂ generadas por los sistemas de refrigeración en cada uno de los almacenes de Alkosto evaluados, se evidencia una variabilidad entre sedes, que refleja tanto las diferencias en el tipo de refrigerante utilizado como en la cantidad de carga instalada en cada instalación. Almacenes como Cali Sur, Floridablanca y Cali Norte se destacan por registrar los niveles más altos de emisiones, superando ampliamente las 1.300 tCO₂e, teniendo una mayor dependencia de gases con elevado Potencial de Calentamiento Global, a diferencia de Alkosto 170 que muestra el valor más bajo, cerca de 651,6 tCO₂e, representando una operación menos intensiva en términos de impacto climático y gases de efecto invernadero, pero con un alto potencial de agotamiento de la capa de ozono. Este comportamiento visual del gráfico 7, permite identificar con claridad los puntos críticos de la red de frío por cada almacén, facilitando la priorización de intervenciones y el diseño de estrategias de mitigación que sean específicas para cada sede.

Figura 7

Total, de emisiones de CO2 por uso de refrigerante HCFC y HFC



Nota. Elaboración propia, con base en la información obtenida en campo y registrados en tabla 8.

Como resultado del diagnóstico técnico, ambiental y operativo realizado en los diez almacenes objeto de estudio, se construyó la matriz DOFA presentada en la Tabla 11, la cual permitió identificar los principales factores internos y externos que influyen en la transición sostenible de los sistemas de refrigeración de Alkosto. Este análisis estratégico evidencia que la organización cuenta con fortalezas relevantes, como la experiencia técnica del personal, la infraestructura instalada y el compromiso corporativo con la sostenibilidad, las cuales pueden aprovecharse para responder a oportunidades asociadas con incentivos gubernamentales, avances tecnológicos y nuevas tendencias en refrigeración sostenible.

De igual manera, la matriz permitió reconocer debilidades críticas relacionadas con la dependencia de refrigerantes HCFC y HFC, la falta de protocolos estandarizados y las brechas de conocimiento técnico y normativo, así como amenazas derivadas del endurecimiento regulatorio, la obsolescencia tecnológica y el incremento en los costos de los refrigerantes tradicionales. A partir de esta integración estratégica se formularon acciones orientadas a

fortalecer la capacidad de adaptación de la red de frío, reducir el impacto ambiental y garantizar la sostenibilidad operativa y financiera de la organización en el mediano y largo plazo.

Tabla 11*Matriz DOFA.*

OPORTUNIDADES		AMENAZAS
	incentivos gubernamentales para la implementación de sistemas de refrigeración naturales	aumento en los costos de importación de gases refrigerantes HCFC y HFC
	reducción de costos operacionales a largo plazo	escasez de gases refrigerantes HCFC y HFC
	oferta de cursos de capacitación técnica con entidades gubernamentales y entidades especializadas	riesgo de sanciones por incumplimiento en las normas ambientales
	avances tecnológicos en refrigeración sostenible	obsolescencia de equipos
	integración de sistemas inteligentes IoT para monitoreo y control	resistencia interna al cambio
	posicionamiento de marca como líder ambiental en el sector retail	desinformación sobre los beneficios y precauciones de nuevos refrigerantes
FORTALEZAS	ESTRATEGIAS FO	ESTRATEGIAS FA
cultura de innovación	capacitación técnica al equipo humano en sistemas de refrigeración sostenibles	cambio de refrigerantes HCFC y HFC por gases refrigerantes naturales
infraestructura existente de red de frío	desarrollar procesos de actualización de nuevas tecnologías	sustitución de refrigerantes HCFC por refrigerantes por mezclas isotrópicas disminuyendo ODP Y GWP
personal técnico con experiencia en refrigeración	crear programas de divulgación del uso de sistemas de refrigeración sostenibles	capacitación de los beneficios en el uso de nuevos refrigerantes
contacto con proveedores a nivel nacional e internacional		
compromisos corporativos con la sostenibilidad y el medio ambiente	generar proyectos de sistemas de refrigeración sostenibles para aplicar en incentivos gubernamentales	planificar para nuevos proyectos sistemas con gases refrigerantes naturales
equipos con posibilidad de ser compartidos en otras tecnologías		
DEBILIDADES	ESTRATEGIAS DO	ESTRATEGIAS DA
dependencia de sistemas de refrigeración con gases refrigerantes HCFC y HFC	implementar nuevos sistemas que contemplen sistemas de control IoT	validar nuevas alternativas de refrigerantes que tengan ODP cero
infraestructura antigua en varios almacenes	estandarizar procesos para el cambio de refrigerantes reduciendo costos operacionales	implementar planes de capacitación en normatividad
falta de protocolos estandarizados para cambio de refrigerantes	realizar planes de capacitación en nuevas tecnologías	
dificultad para medir el impacto ambiental		
bajo conocimiento en normatividad ambiental	implementar métodos para el seguimiento y control del impacto ambiental	planes de sensibilización a la alta gerencia y parte técnica sobre nuevos tipos de refrigerantes
bajo conocimiento técnico en sistemas de refrigeración con gases refrigerantes distintos		

Nota. Elaboración propia.

Con el propósito de consolidar de manera estructurada los componentes metodológicos, técnicos y operativos del estudio, a continuación, se presenta la ficha técnica de la investigación. Este instrumento resume el alcance del proyecto, las unidades de análisis, la cobertura geográfica, los métodos de recolección y análisis de información, así como los indicadores definidos para la evaluación de la transición sostenible de la red de frío en los almacenes Alkosto.

De igual forma, la ficha técnica permite evidenciar la coherencia entre el enfoque metodológico aplicado, los objetivos planteados y las herramientas utilizadas para el diagnóstico técnico, ambiental y estratégico de los sistemas de refrigeración, facilitando la trazabilidad y validación de los resultados obtenidos durante el desarrollo del estudio.

FICHA TÉCNICA	
	Descripción
Título	Transición de gases refrigerantes HCFC y HFC de la red de frío de neveras y cavas en los almacenes de cadena Alkosto.
Tipo de estudio	Intervención empresarial con enfoque aplicado, técnico y ambiental.
Enfoque metodológico	Metodología mixta (cualitativa y cuantitativa) basada en análisis documental, trabajo de campo y evaluación estadística de emisiones.
Objetivo general	Evaluar la composición de refrigerantes en la red de frío de Alkosto, cuantificar emisiones de CO ₂ e según IPCC y formular un plan de transición hacia tecnologías de bajo GWP.
Cobertura geográfica	Almacenes Alkosto a nivel nacional, con análisis detallado de diez sedes seleccionadas. Alkosto carrera 30, Alkosto Villavicencio, Alkosto Floridablanca. Alkosto cali sur, Alkosto Cali Norte, Alkosto Eden, Alkosto 170, Alkosto 68, Alkosto Venecia, Alkosto Pereira
Unidades de análisis	Equipos de refrigeración comercial, cargas de refrigerante, configuraciones tecnológicas, personal técnico y operativo.
Técnica de muestreo	Muestreo no probabilístico dirigido a equipos y personal crítico del proceso.
Instrumentos de recolección	Listas de chequeo en campo, análisis documental, entrevistas, encuestas y validación cruzada en software de gestión de mantenimiento.
Validación de la información	Revisión técnica con supervisores y contratistas; contraste con datos del sistema de gestión de mantenimiento.
Métodos de análisis	Análisis interno y externo, análisis estadístico descriptivo, cálculo de CO ₂ e mediante fórmula IPCC (kg × GWP).
Indicadores de seguimiento	1. Porcentaje de almacenes con refrigerantes de bajo GWP. 2. Reducción de CO ₂ e tras sustitución del refrigerante. 3. Ratio de equipos adaptables sin reemplazo. 4. Intensidad de emisiones por tienda (tCO ₂ e/kg). 5. Tasa anual de disminución de HCFC/HFC.
Producto final	Plan de Transición Sostenible para la red de frío, con análisis técnico, ambiental, social, económico y cronograma de implementación.

Plan de Intervención

El presente plan de intervención empresarial se orienta al diseño de una estrategia corporativa para la transición sostenible de los sistemas de refrigeración en los almacenes Alkosto, fundamentada en un diagnóstico técnico, ambiental y financiero de la red de frío. La propuesta plantea una implementación escalonada y técnicamente viable para la sustitución progresiva de refrigerantes HCFC y la reducción del uso de refrigerantes HFC con alto potencial de calentamiento global, priorizando criterios de eficiencia operativa, sostenibilidad ambiental y cumplimiento normativo. Asimismo, el plan busca garantizar la continuidad operacional de los sistemas de refrigeración mediante la adopción gradual de tecnologías y refrigerantes de bajo impacto ambiental, alineados con los compromisos corporativos de sostenibilidad y con las disposiciones establecidas en el Protocolo de Montreal, la Enmienda de Kigali y la normativa ambiental colombiana vigente.

Alcance del plan

El presente plan de intervención contempla el análisis y formulación de estrategias aplicables a los diez almacenes Alkosto a nivel nacional, donde se incluye los sistemas de refrigeración, racks de frío, cavas y vitrinas refrigeradas que operan con refrigerantes R22 y R507.

El alcance incluye:

- Diagnóstico técnico, energético y ambiental.
- Evaluación de alternativas tecnológicas sostenibles.
- Priorización de almacenes para intervención.
- Formulación de pilotos de implementación.

- Propuesta financiera y operativa de transición.
- Diseño de indicadores de seguimiento y control.
- Cronograma de implementación escalonada.
- Identificación y mitigación de riesgos empresariales.

Tabla 12*Matriz de priorización de almacenes*

Matriz de priorización de almacenes				
Almacén	Refrigerante principal	Impacto ambiental	Consumo energético	Prioridad
Alkosto Pereira	R507 + R22	Alto	Alto	Alta
Alkosto Villavicencio	R507 + R22	Alto	Alto	Alta
Alkosto Carrera 30	R507 + R22	Medio	Bajo	Alta
Alkosto Cali Sur	R507	Medio	Medio	Media
Alkosto Cali Norte	R507	Medio	Medio	Media
Alkosto Venecia	R507 + R22	Medio	Medio	Alta
Alkosto 170	R22	Alto	Medio	Alta
Alkosto 68	R507 + R22	Alto	Medio	Alta
Alkosto Edén	R507	Medio	Medio	Media
Alkosto Floridablanca	R507	Alto	Medio	Media

Nota. Elaboración propia, con datos obtenidos de tabla 7 y (Chemours, 2026)

Como resultado de esta fase en la tabla 12, se obtiene un ranking de intervención que permite definir el orden estratégico de implementación, priorizando inicialmente los almacenes

con mayor impacto climático, mayores consumos energéticos y sistemas con refrigerantes HCFC.

Evaluación de alternativas tecnológicas

1. Retrofit R22 → R449A

Consiste en la sustitución del refrigerante R22 por mezclas HFO/HFC de menor impacto ambiental, manteniendo parte de la infraestructura existente.

2. Sistemas CO2 transcríticos

Implementación de sistemas de refrigeración natural con refrigerante R744 (CO₂), orientados a nuevas instalaciones o remodelaciones integrales.

3. Sistemas autocontenidos con R290

Tecnología basada en hidrocarburos naturales de bajo GWP, aplicable principalmente a vitrinas y sistemas comerciales autónomos.

Tabla 13*Evaluación de alternativas tecnológicas*

Evaluación comparativa de alternativas tecnológicas			
Criterio	Retrofit R449A	CO2 Transcrítico	R290
Inversión CAPEX	Media	Alta	Alta
Costos operativos OPEX	Medio	Bajo	Bajo
Reducción de CO2e	Media	Alta	Alta
Eficiencia energética	Media	Alta	Alta
Compatibilidad infraestructura	Alta	Baja	Baja
Complejidad técnica	Media	Alta	Alta
Cumplimiento normativo futuro	Medio	Alto	Alto
Continuidad operacional	Alta	Media	Media
Riesgo de implementación	Bajo	Medio	Medio

Nota. Elaboración propia.

El análisis comparativo de la tabla 13, evidencia que los sistemas CO2 transcríticos y tecnologías basadas en refrigerantes naturales representan la alternativa de mayor sostenibilidad ambiental y proyección normativa a largo plazo. Sin embargo, el retrofit mediante mezclas HFO/HFC se presenta como una solución de transición técnicamente viable y financieramente menos invasiva para almacenes con infraestructura existente adaptable.

Implementación piloto

La implementación piloto tiene como finalidad validar técnica, energética, financiera y operativamente las alternativas tecnológicas seleccionadas antes de realizar un escalamiento masivo en la red de frío.

Tabla 14

Propuesta de plan piloto

Almacén	Tecnología piloto	Objetivo
Alkosto carrera 30	Retrofit R449A	Reducir impacto ambiental HCFC
Alkosto Villavicencio	Retrofit R449A	Reducir impacto ambiental HCFC
Alkosto Venecia	CO2 transcrito	Validar desempeño energético

Nota. Elaboración propia, con datos técnicos internos de operación.

La propuesta de estos almacenes mostrados en la tabla 14, específicamente se realiza desde el conocimiento técnico en temas de viabilidad operativa y configuración técnica.

Escalamiento progresivo

Con base en los resultados obtenidos en la fase piloto, se plantea como se muestra en tabla 15, una implementación progresiva y escalonada de la transición tecnológica en los almacenes Alkosto de dos años y ajustes según resultados de prueba piloto.

Tabla 15

Cronograma de implementación

Año	Actividad
2026	Implementación prueba piloto
2027	Escalamiento fase 1
2028	Escalamiento fase 2

Nota. Elaboración propia.

Fase uno

Se propone una fase inicial a corto plazo que corresponde al cambio o sustitución de gas refrigerante R22 cuyo componente es HCFC, por tratarse de un gas refrigerante con alto potencial de agotamiento de la capa de ozono como se ha expuesto a lo largo del documento por ende se deben intervenir prioritariamente todos los sistemas que funcionen con este gas refrigerante, esta sustitución se sugiere se realice de manera escalonada, como se propone en la tabla 15, donde se puede evidenciar que los primeros almacenes a realizar el cambio de refrigerante R22 corresponde a Alkosto 68, Alkosto carrera 30, Alkosto Venecia, Alkosto Villavicencio, Alkosto 170 y Alkosto Pereira, a continuación se describen las fechas de intervención.

Con la implementación de esta fase inicial se garantiza la eliminación total de ODP del uso del refrigerante R22 de los sistemas de refrigeración de Alkosto, yendo en línea con los objetivos de desarrollo sostenible, (ONU, 2019), adicionalmente se disminuiría el GWP o potencial de calentamiento hacia la atmosfera en un 30% menos realizando retrofit directo hacia el refrigerante XP40, además de reducir el consumo energético en un 8%.

Fase dos

En la fase dos o a mediano plazo se propone la transición de gases refrigerantes HFC como el R507 que es uno de los gases refrigerantes que mayor usan los almacenes de Alkosto en sus cadenas de refrigeración y congelación y cuyo gas refrigerante es el responsable del 84% aproximadamente del total tCO₂e de la red de frío de la compañía, se plantea se realice de manera similar que la fase inicial, es decir de manera escalonada con la idea que la operación del negocio no se vea afectada por la intervención, a continuación se dan los almacenes a intervenir Alkosto Eden, Alkosto 68, Alkosto carrera 30, Alkosto Venecia, Alkosto Villavicencio, Alkosto Floridablanca, Alkosto cali sur octubre, Alkosto cali norte noviembre, Alkosto Pereira.

Esta transición se debe realizar con un gas refrigerante de menor impacto en GWP ya que el R507 tiene un alto coeficiente de 3985 lo cual es muy alto y va en contravía con la enmienda de Kigali (MinAmbiente, 2019). Se propone el refrigerante R449A o XP40 el cual tiene unas características frigoríficas similares al R507 para realizar el cambio de refrigerante o retrofit sin sufrir consecuencias en la operación, ya que es un cambio directo sin tener que realizar algún cambio de instrumentación del sistema, con este cambio de refrigerante se reduciría en un 67% el potencial de calentamiento atmosférico lo cual es un beneficio importante en términos de sostenibilidad además de una reducción en el consumo energético del 8% según ficha técnica del refrigerante.

Transformación tecnológica, Largo plazo

Fase tres

Para esta fase a largo plazo se traza el objetivo hacia una transición estructural hacia refrigerantes naturales como CO₂, y R290 para almacenes nuevos, remodelaciones de mayor impacto y sustitución de equipos con operación de más de 18 años de antigüedad, con esta estrategia se eliminarían en más del 95% de emisiones directas y una eficiencia energética entre el 25 y 30%.

Las fases anteriormente planteadas se implementan bajo un enfoque orientado a la operación, garantizando que la funcionalidad del sistema mantenga su desempeño normal durante la ejecución de las actividades y que la operación no se vea afectada de una forma muy invasiva.

Seguimiento y control

El seguimiento y control del plan de intervención se realizará mediante indicadores clave de desempeño, orientados a medir el impacto ambiental, energético, operativo y financiero de la transición tecnológica.

Tabla 16*Indicadores de seguimiento ambiental*

Indicador	Línea base	Meta 2028
% de almacenes sin R22	40%	100%
Reducción de CO ₂ e (t/año)	0	60%
% personal capacitado	0	100%
% de almacenes con R449A	0	100%
Disminución del GWP promedio	0	50%
Actualización a refrigerantes naturales	0	

Nota. Elaboración Propia

Los indicadores tabla 16, permitirán medir la efectividad de la transición tecnológica en términos de mitigación del cambio climático, reducción de emisiones equivalentes de CO₂ y disminución del impacto ambiental generado por los refrigerantes tradicionales.

Tabla 17*Indicadores de seguimiento operativo*

Indicador	Fórmula	Meta
Consumo energético	kWh/año	Reducción 20% – 30%
Tasa de fugas de refrigerante	kilogramos fugados/ kilogramos totales	Menor al 10%

Nota. Elaboración Propia

Los indicadores operativos como se muestran en la tabla 17, realizarán un control en la disminución de consumo eléctrico, evitar pérdidas por fugas y costos operacionales.

Análisis financiero

La evaluación financiera evidencia que la transición tecnológica presenta beneficios económicos asociados a reducción de costos operativos, disminución del consumo energético y mitigación de riesgos regulatorios futuros.

evaluadas.

Figura 8

Análisis financiero.

Almacén	Tarifa Promedio	Costo anual	Implementacion con CO2	Implementacion R449A	ahorro con CO2 del 30%	ahorro de con R449A 8%	Payback CO2	Payback R449A
ALKOSTO EDEN	790	\$ 1.017.014.400	\$ 4.500.000.000	\$ 54.000.000	\$ 305.104.320	\$ 81.361.152	14,7490537	0,663707417
ALKOSTO AV68	790	\$ 840.231.360	\$ 3.600.000.000	\$ 52.000.000	\$ 252.069.408	\$ 67.218.509	14,28178068	0,773596453
ALKOSTO CARRERA 30	790	\$ 751.498.560	\$ 1.200.000.000	\$ 45.000.000	\$ 225.449.568	\$ 60.119.885	5,322698157	0,748504428
ALKOSTO VENECIA	790	\$ 1.502.997.120	\$ 4.200.000.000	\$ 90.000.000	\$ 450.899.136	\$ 120.239.770	9,314721774	0,748504428
ALKOSTO 170	790	\$ 1.017.014.400	\$ 3.850.000.000	\$ 54.000.000	\$ 305.104.320	\$ 81.361.152	12,61863483	0,663707417
ALKOSTO VILLAVICENCIO	790	\$ 1.591.729.920	\$ 4.300.000.000	\$ 58.000.000	\$ 477.518.976	\$ 127.338.394	9,004877745	0,455479281
ALKOSTO FLORIDABLANCA	790	\$ 1.017.014.400	\$ 3.900.000.000	\$ 64.000.000	\$ 305.104.320	\$ 81.361.152	12,78251321	0,786616197
ALKOSTO CALI SUR	790	\$ 972.648.000	\$ 4.200.000.000	\$ 64.000.000	\$ 291.794.400	\$ 77.811.840	14,39369638	0,822496936
ALKOSTO CALI NORTE	790	\$ 972.648.000	\$ 4.200.000.000	\$ 64.000.000	\$ 291.794.400	\$ 77.811.840	14,39369638	0,822496936
ALKOSTO PEREIRA	790	\$ 1.591.729.920	\$ 4.200.000.000	\$ 90.000.000	\$ 477.518.976	\$ 127.338.394	8,795461984	0,706778195

Nota. Elaboración Propia, con datos financieros de cotizaciones aportadas por al área de ingeniería y mantenimiento.

Se proyecta un retorno de inversión estimado para los sistemas de refrigeración con tecnología CO2 del 30% y con periodos de recuperación aproximada en promedio de 11, 5 años y para tecnología con R449A de un 8%, y con periodo de recuperación de 5 a 8 meses.

Gestión de riesgos

Tabla 18

Matriz de riesgos en el cambio de refrigerantes

Matriz de Riesgos			
Riesgo	Probabilidad	Impacto	Estrategias de mitigación
Fallas operativas posteriores al retrofit de refrigerante	Media	Alta	Realizar pruebas diarias, balance de temperaturas, ajuste de válvulas de expansión, calibración de controles y seguimiento técnico durante 30 días 7 24
Incremento temporal del consumo energético tras el cambio	Baja	Media	Optimización de superheat, revisión de setpoints, verificación de fugas y aislamiento térmico y control de encendido de compresores.
Falta de técnicos certificados para manipular refrigerantes naturales	Alta	Alta	Programa intensivo de capacitación interna y certificación de personal propio; contratos marco con proveedores avalados.
Aumento del CAPEX para almacenes con sistemas antiguos	Media	Alta	Implementación por fases, priorización por impacto ambiental CO2e. O por reformas de gran escala
Fugas durante la transición o cambio de aceite	Media	Media	Aplicación de pruebas de presión con nitrógeno, uso de detectores electrónicos, control estricto de torque y juntas, e implementación de rutinas diarias en la búsqueda de posibles fugas, revisión de soldaduras
Paradas operativas no planificadas	Baja	Alta	Programación en horarios de baja afluencia, disponibilidad de equipos backup al igual que repuestos de alta rotación disponible, plan de contingencia operacional.
Retrasos en disponibilidad de refrigerantes alternativos	Media	Media	Compra anticipada, acuerdos con distribuidores homologados, mantener inventarios mínimos de cilindros de refrigerante por seguridad.

Nota. Elaboración Propia

La implementación del plan de transición tecnológica implica riesgos técnicos, financieros y organizacionales que deben ser gestionados de manera preventiva y que se muestran en la tabla 18.

Fortalecimientos de capacidades

El fortalecimiento de capacidades para personal técnico, operativo y administrativo es indispensable para garantizar la correcta ejecución de la transición de gases refrigerantes y la sostenibilidad, estos deben contar con los conocimientos, certificaciones y competencias necesarias para manipular refrigerantes de nueva generación, cumplir con la normativa vigente y operar los sistemas de forma eficiente y segura. El desarrollo de estas capacidades también reduce la dependencia técnica de proveedores externos, mejora la respuesta ante contingencias y se estandarizan los procedimientos en todos los almacenes a nivel nacional.

Se debe capacitar a todo el personal en los siguientes aspectos

1. Capacitación en el manejo de refrigerantes naturales como CO₂ en sistemas subcrítico y transcrito al igual que R290, manejo seguro de hidrocarburos y prevención de riesgos al igual que los protocolos de vacío, carga y ajustes de válvulas.
2. Capacitación en sistemas normativos primordiales como las actualizaciones del protocolo de Montreal, enmienda de Kigali que habla de la reducción gradual de los refrigerantes HFC, y normas colombianas que van en línea con los mencionados.
3. Se debe exigir a los contratistas las certificaciones en el buen manejo de refrigerantes al igual que generar evaluaciones periódicas y auditorías internas para verificar los estándares exigidos
4. Capacitación en protocolos de seguridad para manipulación de refrigerantes A1, A2L y A3, manejo de fugas y ventilación, riesgo eléctrico y químico.
5. Realizar talleres y capacitaciones sobre impacto climático, emisiones de CO₂e y como sus roles impactan, con la intención de generar cultura en sostenibilidad,

además de capacitaciones en operaciones eficientes con temas como sobrecalentamientos, setpoints y rutinas que optimizan los sistemas.

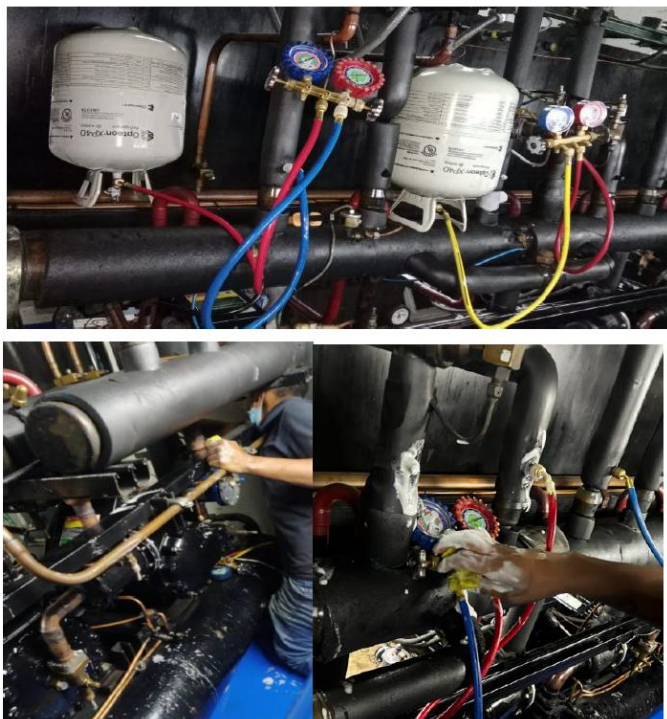
Pruebas Piloto

Luego del estudio de las ofertas encontradas en el mercado, se selecciona al proveedor bajo criterios de conocimiento y experiencia en redes de frío y se genera un plan de trabajo descrito más adelante en el apartado de actividades, y cuyas descripciones a detalle se encuentran en el anexo 2 y como se evidencia en la figura 9. El resultado de esta prueba piloto es satisfactorio generando un cambio de gas de manera directa y obteniendo temperaturas en media y baja, acordes a lo requerido por cada producto, los gastos también se encuentran detallados en el mismo anexo.

Figura 9

Fotografía proceso de retrofit.

Evidencia fotográfica:



Nota. fotografía tomada durante prueba piloto.

Gobernanza del plan de intervención

Este proceso debe ser liderado desde el departamento de ingeniería y mantenimiento, dado que el proceso de desarrollo y ejecución de la transición de refrigerantes requiere de un conocimiento técnico y de ingeniería bastante robusto, a continuación, se dan a conocer las funciones que debe realizar el equipo de ingeniería y mantenimiento.

Director de mantenimiento: la dirección de mantenimiento es la encargada de conseguir los recursos financieros que se necesitan para realizar la correcta transición de refrigerantes que para este caso y según la tabla 7, cada almacén requiere de un recurso de aproximadamente de 50 millones para lograr el cambio de refrigerante o también llamado retrofit , y para el caso de la sustitución completa de equipos por un sistema de CO2 o R290 gases refrigerantes naturales la inversión es aún mayor también relacionada en la misma tabla.

Jefe de Mantenimiento: el área de la jefatura de mantenimiento es la encargada de realizar el respectivo seguimiento a los indicadores propuestos de la transición de gases,

Supervisores de mantenimiento son los encargados de liderar la ejecución y realizar gestión del cambio de refrigerante según las tiendas que tenga asignadas

El área contable de mantenimiento será el encargado de la generación de las órdenes de compra y facturación correspondientes al proceso.

Actividades

Las actividades que se deben contemplar dentro del plan de intervención en la sustitución y cambio de refrigerante y según la figura 5 donde se establece el cronograma de ejecución serán las siguientes

Actividad 1. Cambio de aceite mineral a aceite sintético y filtros a los racks de frío de cada almacén como mínimo 4 días antes de realizar el cambio de refrigerante.

Actividad 2. Tener mínimo dos contenedores de frío para media y baja temperatura de 40 pies para salvaguardar la mercancía mientras dura la maniobra de cambio de refrigerante, esto se debe tener como mínimo un día antes de la intervención.

Actividad 3. El día de la intervención realizar cambio de filtros nuevamente.

Actividad 4. Realizar proceso de recuperación de gas refrigerante R22 o R507 según sea el caso, teniendo la precaución de no enviarlo a la atmosfera por lo cual se recomienda tener la cantidad suficiente de cilindros de refrigerante para almacenarlo, para una recuperación mucho más rápida se requiere de bastante hielo que ayude a recuperar más rápido.

Actividad 5. Al terminar el proceso de recuperación del gas refrigerante se recomienda realizar proceso de vacío al sistema y cuya medida se conserve en los 500 micrones o menos lo cual se debe garantizar para evitar fugas.

Actividad 6. Suministrar nuevo gas refrigerante (XP-40), y validar libras de presión en el sistema e ir prendiendo el equipo de manera secuencial, compresor por compresor e ir validando temperaturas en equipos.

Actividad 7. Cambiar nuevamente filtros y aceite al rack de frío como mínimo 4 veces en el siguiente mes luego de realizar el cambio de refrigerante, practica que se recomienda ya que el sistema arroja sedimentos del antiguo gas.

Lo anterior para un cambio de gas refrigerante directo que consiste en usar los mismo equipos y la misma instrumentación, si caso contrario se realiza el cambio de equipos a sistemas como CO₂ o R290 gases refrigerantes naturales se debe realizar una gestión de proyectos distinto apoyado de herramientas como un diagrama de Gantt en el cual se describen las diferentes actividades ya que la implementación de esta alternativa consiste en el cambio de todo el sistema y equipos e instrumentación como válvulas y tuberías incluso neveras y evaporadores de cuartos fríos lo cual la hace demasiado invasiva para la operación.

Garantizar estas actividades es ideal para el correcto funcionamiento de la red de frío posterior a la intervención, por lo tanto se debe tener un buen respaldo técnico de contratistas certificados en el manejo de refrigerantes y buenas prácticas en refrigeración, además del respaldo técnico del supervisor de mantenimiento, de esta manera se logra la eliminación gradual de refrigerantes con potencial de agotamiento de la capa de ozono y de refrigerantes con alto potencial de calentamiento atmosférico.

El proceso comienza con el cambio de aceite y termina un mes y una semana después, sin embargo, el proceso de recuperación del gas refrigerante R22 y/o R507 y aplicar al sistema el nuevo refrigerante tiene una duración de 24 horas de trabajo continuo, de esta manera no se afecta tanto la operación del negocio como la conservación de temperatura de los productos.

Fichas técnicas para la transición de gases refrigerantes

A continuación, se muestran las fichas técnicas como estudio para la transición de gases refrigerantes para los almacenes de Alkosto entre los cuales se presentan la de varios refrigerantes como principales alternativas, entre ellos el R407a, RS-51, XP-40 y CO2 y R290.

Ficha técnica R407a	
Elemento	Descripción
Justificación técnica	el refrigerante R407A es un refrigerante HFC compuesto por R32, R125 y R134a, diseñado como sustituto del R22 en aplicaciones de media y baja temperatura. Tiene ODP = 0 y un GWP aproximado de 2107. Mejora la capacidad frigorífica en comparación con R22 en algunos sistemas.
Viabilidad operativa	Alta. Requiere reemplazo del aceite mineral por POE y verificación de compatibilidad de sellos. Intervención moderada, pero no implica reemplazo completo del sistema. Adecuado para transiciones ordenadas con control técnico.
Aplicabilidad por almacén	Recomendado para almacenes con equipos que operan en temperaturas bajas o mixtas (refrigeración y congelación) donde el R22 presenta bajo desempeño o altas fugas. Adecuado para cuartos fríos, vitrinas y sistemas de rack medianos.
Inversión estimada	160 millones Aproximadamente por almacén, aceite, mano de obra y cantidad de refrigerante requerido.
Beneficios ambientales	Eliminación total del ODP. Reducción aproximada del 20%–25% de emisiones CO2e respecto al uso de R22. Contribuye a la mitigación del calentamiento global y al cumplimiento de normativas internacionales.
Beneficios energéticos	Se puede lograr entre un 3% y 8% de mejora en eficiencia energética comparado con R22, especialmente en aplicaciones de baja temperatura

Ficha técnica RS-51	
Elemento	Descripción
Justificación técnica	RS-51 es un refrigerante HFC/HFO diseñado como sustituto indirecto del R22. Tiene ODP = 0 y un GWP aproximado de 1888, similar al R22. Compatible con la mayoría de los equipos sin necesidad de cambiar aceite o componentes mayores ya que trabaja con aceite POE.
Viabilidad operativa	Muy alta. Permite realizar el reemplazo sin modificaciones estructurales del sistema. La intervención por equipo suele durar entre 3 y 6 horas. Presenta buen desempeño en sistemas medianos y pequeños.
Aplicabilidad por almacén	Ideal para almacenes que aún utilizan R22 en equipos de media temperatura, vitrinas, cuartos fríos y unidades 1:1. Recomendado donde se requiere una intervención rápida con mínimo impacto operativo.
Inversión estimada	160 millones aproximadamente por almacén, dependiendo del número de unidades y capacidad frigorífica.
Beneficios ambientales	Eliminación completa del ODP. Reducción estimada del 20% al 30% de emisiones CO ₂ e respecto al R22.
Beneficios energéticos	Mantiene eficiencia similar o ligeramente superior (2%–6%) al R22, dependiendo de las condiciones de carga y condensación.

Ficha técnica XP-40	
Elemento	Descripción
Justificación técnica	Refrigerante HFO con ODP = 0 y GWP de 1280, lo que representa una reducción entre 30% y 68% frente a R22 y R507. Compatible con la mayoría de los sistemas existentes con ajustes mínimos.
Viabilidad operativa	Requiere cambios menores (aceite POE en algunos equipos). No se necesita reemplazo completo del sistema. Intervención estimada entre 6 y 10 horas por circuito.
Aplicabilidad por almacén	Todos los almacenes con R22 o R507.
Inversión estimada	45 millones por almacén, según tamaño y número de cuartos y neveras.
Beneficios ambientales	Reducción de 2.5 a 5 toneladas CO ₂ e por tienda al año. Eliminación completa del Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono.
Beneficios energéticos	Ahorro del 8% según condiciones de operación.

Ficha Técnica CO2 y R290	
Elemento	Descripción
Justificación técnica	Refrigerantes naturales con GWP cercano a 1, altamente eficientes y alineados con las normativas internacionales.
Viabilidad operativa	Requiere reemplazo total del sistema de refrigeración. CO2 demanda manejo técnico avanzado debido a las altas presiones. R290 requiere protocolos de seguridad por inflamabilidad.
Aplicabilidad por almacén	Almacenes nuevos, remodelaciones mayores o equipos con más de 15 años. Recomendado para centros logísticos de alta demanda.
Inversión estimada	Esta varía por cantidad de equipos en cada almacén y puede estar entre los 2 mil y 4 mil millones de pesos.
Beneficios ambientales	Reducción del 95%–99% de emisiones frente a HFC/HCFC. Menor fuga debido al diseño hermético.
Beneficios energéticos	CO ₂ : ahorro aproximado del 25 al 30%. R290: eficiencia mejorada especialmente en exhibidores y vitrinas.

Conclusiones y Recomendaciones

1. Diagnosticar el estado técnico, energético y ambiental de la red de frío en los almacenes seleccionados, mediante el levantamiento de información en campo, análisis de consumos energéticos y caracterización de los refrigerantes utilizados.

Se evidenció, a partir del levantamiento técnico realizado en los diez almacenes objeto de estudio, que la red de frío de Alkosto presenta una configuración operativa heterogénea, con diferentes niveles de antigüedad, capacidad frigorífica, eficiencia energética y condiciones de mantenimiento. El diagnóstico permitió identificar que el 84% de los sistemas operan con refrigerante R507 y el 16% con R22, manteniendo una alta dependencia de gases refrigerantes con elevado potencial de calentamiento global y, en el caso del R22, con potencial de agotamiento de la capa de ozono.

Asimismo, el análisis energético evidenció diferencias significativas entre almacenes, asociadas principalmente al tamaño de la instalación, la carga térmica, la tecnología implementada y el estado de conservación de los equipos. Los sistemas que operan con configuraciones mixtas HCFC–HFC registraron mayores niveles de consumo energético y mayores requerimientos operativos, lo que demuestra una relación directa entre obsolescencia tecnológica y pérdida de eficiencia operativa.

De igual manera, el diagnóstico permitió establecer que la organización cuenta con fortalezas relevantes para desarrollar un proceso de transición sostenible, entre ellas experiencia técnica del personal, infraestructura parcialmente adaptable, relación con proveedores especializados y compromiso corporativo con la sostenibilidad. Sin embargo, también se identificaron debilidades críticas relacionadas con la ausencia de protocolos estandarizados para cambio de refrigerantes, limitaciones en monitoreo ambiental, brechas de capacitación técnica y dependencia tecnológica de sistemas tradicionales.

2. Analizar el impacto ambiental y financiero asociado al uso de refrigerantes actuales, mediante el cálculo de emisiones equivalentes de CO₂e, evaluación de costos operativos y revisión de variables económicas relacionadas con la operación de los sistemas de refrigeración.

Se determinó que los sistemas de refrigeración actuales generan un impacto ambiental significativo debido a los altos valores de GWP de los refrigerantes utilizados, especialmente el R507, cuyo potencial de calentamiento global alcanza valores cercanos a 3985. Mediante la metodología de cálculo basada en lineamientos del IPCC, se cuantificaron emisiones equivalentes de CO₂e que evidencian una contribución importante de la red de frío a la huella de carbono corporativa de Alkosto.

El análisis ambiental permitió concluir que la permanencia de tecnologías basadas en HCFC y HFC representa un riesgo creciente frente al endurecimiento de las regulaciones internacionales y nacionales derivadas del Protocolo de Montreal, la Enmienda de Kigali y el Plan de Gestión para la Eliminación de HCFC en Colombia (HPMP). Esta condición puede generar restricciones futuras de abastecimiento, incremento progresivo en los costos de refrigerantes y mayores exigencias regulatorias para el sector retail.

Desde el componente financiero, se comprobó que los sistemas con mayores consumos energéticos y mayores tasas de fuga presentan incrementos considerables en costos operacionales y de mantenimiento correctivo. No obstante, el análisis económico demostró que la transición tecnológica hacia refrigerantes sostenibles puede generar beneficios financieros relevantes mediante reducción de consumo energético, disminución de pérdidas de refrigerante, optimización de mantenimientos y acceso potencial a incentivos tributarios asociados a proyectos de sostenibilidad y eficiencia energética.

Adicionalmente, el modelo financiero desarrollado permitió establecer que una implementación progresiva del plan de transición presenta indicadores favorables de rentabilidad, con un retorno sobre la inversión estimado del 30% y un periodo de recuperación aproximado de 3,3 años, evidenciando que la sostenibilidad ambiental puede integrarse de manera estratégica con la sostenibilidad económica de la organización.

3. Evaluar alternativas tecnológicas sostenibles en términos técnicos, económicos y normativos mediante el análisis comparativo de refrigerantes de bajo GWP y ODP en cero, viabilidad operativa y cumplimiento de regulaciones ambientales vigentes.

Se comprobó que las alternativas tecnológicas evaluadas presentan diferentes niveles de viabilidad técnica y económica según las características operativas de cada almacén y el tipo de infraestructura instalada. En los procesos de retrofit, el refrigerante XP-40 (R449A) se identificó como una alternativa técnicamente viable para reemplazar parcialmente sistemas que operan con R22 y R507, debido a su menor impacto ambiental, facilidad de implementación y compatibilidad relativa con equipos existentes.

Asimismo, se determinó que los refrigerantes naturales como CO₂ (R744) y R290 representan las soluciones de mayor sostenibilidad ambiental a largo plazo, debido a sus valores prácticamente nulos de ODP y bajos niveles de GWP. Sin embargo, su implementación requiere inversiones más elevadas, rediseño de infraestructura, fortalecimiento técnico especializado y adecuaciones normativas y operativas que deben desarrollarse de manera gradual y planificada.

El análisis comparativo permitió concluir que la transición tecnológica no puede abordarse bajo un único modelo de sustitución, sino mediante una estrategia diferenciada según antigüedad de equipos, criticidad operacional, consumo energético, viabilidad financiera y capacidad de adaptación de cada sistema de refrigeración.

En este sentido, se estableció que la implementación de tecnologías sostenibles no solo responde al cumplimiento normativo ambiental, sino que también constituye una oportunidad estratégica para fortalecer la competitividad empresarial, mejorar indicadores de eficiencia energética, modernizar la infraestructura de refrigeración y posicionar a Alkosto como referente en sostenibilidad dentro del sector retail colombiano.

Recomendaciones

Frente al diagnóstico técnico, energético y ambiental.

Se recomienda implementar un sistema corporativo de monitoreo integral de la red de frío, que permita consolidar información técnica, energética y ambiental en tiempo real mediante indicadores de desempeño asociados a consumo energético, fugas de refrigerante, emisiones de CO₂e y estado operativo de los equipos. Esto permitirá fortalecer la trazabilidad de la operación y mejorar la toma de decisiones estratégicas sobre mantenimiento, renovación tecnológica y sostenibilidad.

Asimismo, se sugiere desarrollar protocolos estandarizados para operación, mantenimiento y transición de refrigerantes, incorporando lineamientos técnicos unificados para todos los almacenes, con el fin de reducir variabilidad operativa, mejorar prácticas de mantenimiento y disminuir riesgos asociados a manipulación de gases refrigerantes.

De igual manera, se recomienda fortalecer las competencias técnicas del personal interno y contratistas mediante programas permanentes de capacitación en refrigeración sostenible, normatividad ambiental, buenas prácticas operativas y manejo seguro de refrigerantes naturales y de bajo GWP.

Frente al impacto ambiental y financiero.

Se recomienda priorizar la sustitución progresiva de los sistemas con mayores niveles de emisiones, consumo energético y antigüedad, iniciando por almacenes que operan con configuraciones mixtas HCFC y HFC o que presentan mayores índices de fuga y obsolescencia tecnológica.

Igualmente, se sugiere incorporar indicadores ambientales y financieros dentro de la estrategia corporativa de sostenibilidad, incluyendo métricas como reducción de CO₂e, intensidad energética, tasa de fuga de refrigerante, ROI y payback de proyectos de transición tecnológica, permitiendo evaluar de manera continua el desempeño de las inversiones realizadas.

Adicionalmente, se recomienda estructurar modelos financieros escalonados que faciliten la implementación gradual del plan de transición, aprovechando incentivos tributarios, beneficios asociados a eficiencia energética y posibles mecanismos de financiación sostenible para proyectos ambientales.

Frente a la evaluación de alternativas tecnológicas.

Se recomienda adoptar una estrategia de transición diferenciada según la condición técnica de cada sistema de refrigeración. Para equipos con posibilidad de adaptación, se sugiere implementar procesos de retrofit utilizando refrigerantes de menor GWP como el XP-40 (R449A), mientras que para proyectos nuevos o sistemas de alta obsolescencia se recomienda priorizar tecnologías basadas en refrigerantes naturales como CO₂ y R290.

Asimismo, se recomienda desarrollar pruebas piloto controladas en almacenes estratégicos que permitan validar desempeño energético, comportamiento operacional, costos de mantenimiento y estabilidad de las nuevas tecnologías antes de su implementación masiva a nivel nacional.

De igual manera, se sugiere fortalecer las alianzas con fabricantes, proveedores y entidades técnicas especializadas, con el propósito de garantizar acompañamiento técnico en procesos de migración tecnológica, actualización normativa y adopción de soluciones innovadoras adaptadas al contexto operativo del retail colombiano.

Referencias

Referencias

- Acaire. (2023, 12 de Diciembre) *curso teórico práctico: fundamentos de sistemas de refrigeración con co2 transcrito*. <https://acaire.org/2023/12/12/curso-teorico-practico-fundamentos-de-sistemas-de-refrigeracion-con-co2-transcrito-2/>
- Alkosto. (2025). *Quienes somos*. <https://www.alkosto.com/nuestra-compania/quienes-somos>
- Ashish S. Utage, Kundlik V. Mali, Heramb C. Phadakex. (2021). Performance simulation of HFC-161 as an alternative refrigerant to HCFC-22 for room air conditioner. *Materials Today: Proceedings*, 47(16), 5594-5597. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.474>
- Atmosphere. (2024) Natural Refrigerants: State of the Industry 2025 ATMOsphere All rights reserved. Originally published in February 2025. Report 2024 EDITION Refrigeration in Europe, North America, Japan, Australia and New Zealand, and Latin America. Atmosphere edition 2024. https://atmosphere.cool/wp-content/uploads/2025/02/2024_ATMO_Marketreport-compressed.pdf
- Bom-Camargo, Yomeida Inmaculada, (2021). Hacia la responsabilidad social como estrategia de sostenibilidad en la gestión empresarial. *Revista de Ciencias Sociales*, 130-146. <https://www-scopus-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/pages/publications/85106650129?origin=resultlist#>
- Chemours. (2026). *Refrigerantes Freon* Refrigerantes para aire acondicionado y refrigeración <https://www.freon.com/es/products/refrigerants>
- Chemours. (2024, 2 de noviembre). *Refrigerante Opteon™ XP40 (R-449A)*. <https://www.opteon.com/es/products/refrigerants/xp40>
- Colombia. Congreso de la republica.(2014, 13 de Mayo). *Ley 1715 de 2014: Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional*. Ministerio de Minas y Energía. <https://minenergia.gov.co/documents/11977/norm-ley-1715-2014.pdf>
- Corbeta. (2025, 21 de marzo). *Lo que somos, para donde vamos y nuestra esencia*. <https://www.corbeta.com.co/mision-vision-y-valores>
- DANE. (2025, 17 de enero). Encuesta Mensual de Comercio EMC. <https://www.dane.gov.co/files/operaciones/EMC/bol-EMC-nov2024.pdf>
- Danfoss. (2025, 13 de septiembre). Cambio del límite de refrigerante inflamable según IEC 60335-2-89. <https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/our-businesses/cooling/refrigerants-and-energy-efficiency/refrigerant-faq-iec/>
- El Tiempo. (2023, 21 de Julio). ¿Cuál es el rey de los supermercados en Colombia? Así es la pelea entre Éxito, D1 o Ara. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/amp/economia/empresas/exito-ara-d1-alkosto-olimpica-jumbo-cual-supermercado-que-vende-mas-788536?utm>

- EMIS . (2024, 28 de Agosto). *Mapa del retail en Colombia 2024 - CATEGORÍA: SUPERMERCADOS*. <https://www-emis-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/v2/documents/report/833093074/?keyword=alkosto>
- EMIS. (2023, 31 de diciembre). *Indicadores, Colombiana de Comercio*. <https://www-emis-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/v2/companies/profile/CO/1187383>
- EMIS. (2025, 18 de enero). *Colombiana de comercio S.A.* <https://www-emis-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/v2/companies/profile/CO/1187383>
- EMIS. (2025, 10 de Diciembre). *Mapa del retail en Colombia 2025 - CATEGORIA SUPERMERCADOS* https://www-emis-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/v2/documents/report/925502147/?keyword=alkosto&display_lang=es
- Feng Wang, Jianfang Liu (2024). Green bond and corporate environmental investment: The moderating effect of environmental concern. *Finance Research Letters*, 65, 105607. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2024.105607>
- Forbes. (2022, 12 de abril). D1 vendió más que el Almacenes Éxito y Alkosto en 2021, según Mall & Retail. *Forbes*. <https://forbes.co/2022/04/12/negocios/d1-vendio-mas-que-el-almacenes-exito-y-alkosto-en-2021-segun-mall-retail?>
- IIR. (2014). El impacto del sector de la refrigeración en el cambio climático, Nota informativa sobre tecnologías de refrigeración. *IRR*. <https://iifir.org/en/fridoc/the-impact-of-the-refrigeration-sector-on-climate-change-141135>
- Kubba, S. (2017). Impacto de la Energía y la Atmósfera. En S. Kubba, *Handbook of Green Building Design and Construction* (págs. 443-571). London: Butterworth-Heinemann.
- Lorentzen (2022, junio). Situación actual y tendencias futuras de los refrigerantes naturales en América del Norte y del Sur. *IRR*. <https://iifir.org/fr/actualites/situation-actuelle-et-tendances-futures-des-frigorigenes-naturels-en-amerique-du-nord-et-du-sud>
- Martins, L., Braga, C., Pabon, J., Machado, L., & Duarte, W. (2024). Assessment of total equivalent warming impact (TEWI) of alternative refrigerants for retrofit of R22 in single split air conditioning system. *Journal of Building Engineering*, 88(1), 109085. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.109085>
- Minambiente. (2019, 11 de Junio). *Congreso aprueba ley que ratifica la Enmienda de Kigali*. <https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/4335-congreso-aprueba-ley-que-ratifica-la-enmienda-de-kigali>
- Minambiente. (2022). *Manual de buenas practicas en refrigeracion*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/Manual-Buenas-Practicas-Refrigeracion-1.pdf>
- Minambiente. (2025, 12 de febrero). *Convención de Viena y Protocolo de Montreal*. <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/convencion-de-viena-y-protocolo-de-montreal/>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial & Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2007, 10 de septiembre). Resolución 1652 de 2007: Por la cual se establecen restricciones a la importación de equipos que contengan o requieran sustancias listadas

- en el Protocolo de Montreal. *Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)*.
https://www.anla.gov.co/documentos/normativa/resoluciones/resolucion_1652-2007.pdf
- Ministerio de Ambiente. (2026, 12 de Mayo). HPMP.
<https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/planeacion-y-seguimiento/planeacion-y-seguimiento-de-la-gestion/corporaciones-regionales/54-planeacion-y-seguimiento-articulos/259-plantilla-areas-planeacion-y-seguimiento-10>
- Ministerios Ambiente . (2025, 10 de octubre). *Planes Nacionales de Eliminación SAO*.
<https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/planes-nacionales-de-eliminacion-sao/>
- Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia. (2014). *Orientación técnica para verificación de temperaturas de conservación de alimentos y bebidas en establecimientos competencia de las entidades territoriales de salud*.
https://www.invima.gov.co/invima_website/static/attachments/alimentos_entidades_territoriales/CIRCULAR-EXTERNA-400-1395-17_2.pdf
- Naciones Unidas. (2025, 8 de agosto). ¿Qué es el Protocolo de Kyoto?. *United Nations Climate, Change*. https://unfccc.int/es/kyoto_protocol
- Omri, A. (2020). Innovación tecnológica y desarrollo sostenible: ¿Importa la etapa de desarrollo? *Environmental Impact Assessment Review*, 1-10.
<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106398>
- ONU. (2019). Mensaje del Secretario General. *Naciones Unidas*.
<https://www.un.org/en/observances/ozone-day/messages>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015, 25 de septiembre). *Objetivos de desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- Osama Abd Al-Munaf Ibrahim, Saif Ali Kadhim, Karrar A. Hammoodi, Farhan Lafta Rashid, Ali Habeeb Askar (2024). Revisión de refrigerantes de hidrocarburos como alternativas a refrigerantes de alto PCA en sistemas VCR: el caso del R290. *Cleaner Engineering and Technology*, volumen 23, 100825. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100825>
- Paride Gullo, ,Konstantinos Tsamos, Armin Hafner, Yunting Ge, Savvas A. Tassou (2017). Tecnologías de vanguardia para sistemas de refrigeración transcíticos R744: una evaluación teórica de las ventajas energéticas para la industria minorista alimentaria europea. *Energy Procedia*, 46-53.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217328576>
- Polanco, J. (2016). Incidencia de estándares internacionales en la sostenibilidad corporativa: una perspectiva de la alta dirección Efecto de las normas internacionales en la sostenibilidad corporativa: una perspectiva de los altos directivos. *Estudios Gerenciales*, 181-192. doi:<https://doi.org/10.1016/j.estger.2016.05.002>
- Portafolio. (2025, 30 de junio). D1, Éxito y Ara, en el podio del retail con las mayores ventas. *Portafolio*. <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/d1-exito-y-ara-en-el-podio-del-retail-con-las-mayores-ventas-634265?utm>

- Ramírez J., Peñaflor R, Sanagustín-Fons. (2024). Tendencia de consumo responsable en la Generación Z y millennials: su impacto en el ODS 12. Un caso de estudio peruano. *Academia Revista Latinoamericana de Administracion* (págs. 483-508). 10.1108/ARLA-07-2022-0142
- Rees, S. J. (2016). Advances in Ground-Source Heat Pump Systems. En S. J.Rees, *Advances in Ground-Source Heat Pump Systems* (págs. 1-25). Reino Unido: Editorial Woodhead. doi:<https://doi.org/10.1016/C2014-0-03840-3>
- Riveros Polania, G., Pedraza, C., Barrero, Y., y Aguilar, A. M. (2019). Categorización de los establecimientos según los valores agregados percibidos por el consumidor en niveles socioeconómicos 3 y 4 en Bogotá, Colombia. *Revista GEON (Gestión, Organizaciones Y Negocios)*, 6(2), 63-81. <https://doi.org/10.22579/23463910.156>
- Roberto Hernández Sampieri, C. F. (2006). *Metodología de la investigación*. MacGraw-Hill/Interamericana.
- Superintendencia de Sociedades . (2024, 5 de mayo.). *Sistema integrado de Información Societaria*. <https://siis.ia.supersociedades.gov.co/#/>
- Union Europea . (2024, 7 de febrero). reglamento (ue) 2024/573 del parlamento europeo y del consejo del 7 de febrero de 2024 sobre los gases fluorados de efecto invernadero, por el que se modifica la directiva (ue) 2019/1937 y se deroga el reglamento (ue) n.º 517/2014 European Commission. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/573/oj>
- UPME. (7 de febrero de 2025). Por la cual se establecen los requisitos, el procedimiento y las tarifas a cobrar para evaluar las solicitudes y emitir los certificados que permitan acceder a los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014 .UPME. https://www1.upme.gov.co/Normatividad/135_2025_con_anexos.pdf

A. Anexo. Nombre del Anexo



Opteon™ XP40

Refrigerante

Información del producto

Opteon™ XP40 (R-449A) es un producto que no agota la capa de ozono, además de contar con bajo potencial de calentamiento global (GWP). Es un refrigerante a base de Hidrofluoro-olefina (HFO) con un equilibrio óptimo de propiedades para reemplazar el R-404A / R-507, R-22, o las series de R-407 en sistemas desplazamiento positivo, expansión directa, aplicaciones comerciales e industriales de baja y media temperatura.

Opteon™XP40 es adecuado para las nuevas instalaciones, así como para Retrofit de equipos existentes, ofreciendo una mayor eficiencia energética y mejores propiedades ambientales.

Aplicaciones

Sistemas comerciales e industriales de expansión directa para baja y media temperatura.

- Los supermercados.
- Sistemas centralizados de refrigeración.
- Sistemas distribuidos.
- Cuartos de refrigeración / congeladores, cuartos de preparación, etc.
- Cuartos fríos (por ejemplo, unidades de condensación).
- Los sistemas auto-contenido.
- Se puede utilizar para equipos nuevos / retrofit de equipos existentes.

Beneficios

Bajo GWP: reducción del 65% en comparación con el R-404A / R-507.⁽¹⁾

- El consumo de energía de 8-12% menor en comparación con el R-404A / R-507.
- Seguro y no inflamable (ASHRAE® A1)
- Aprobado por los principales fabricantes de equipos y componentes.
- Se ha realizado extensas pruebas de campo sin necesidad de hacer cambios a los equipos / sin cambiar lubricante/sin cambiar sellos, solo (puede ser necesario el ajuste de sobrecalentamiento).
- Alternativa para la serie de refrigerantes R-407 de baja y media temperatura (capacidad equivalente).
- Es compatible con los equipos existentes y lubricantes existentes.
- Puede ser recargado después de fugas.

⁽¹⁾ Según el Informe de Evaluación 4 (AR4)

⁽²⁾ Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado Ingenieros.