

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA

ACADEMIA DE CIENCIAS AERONÁUTICAS

CAMPUS VITACURA



**PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE LA NORMA ISO 14064-1:2018 EN
AEROLINEAS MENORES A 10 TONELADAS; CASO APLICADO
AEROCARDAL**

MATIAS PALACIOS BRIONES

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERIA EN AVIACIÓN COMERCIAL

PROFESOR GUÍA	:SR.	MARTINUS POTTERS.
PROFESOR CORREFERENTE 1	:SR.	LEONARDO LOBOS.

JULIO DE 2025

**CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE
MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO**

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: PLAN DE IMPLEMENTACIÓN DE LA NORMA ISO 14064-1:2018 EN AEROLINEAS MENORES A 10 TONELADAS; CASO APLICADO AEROCARDAL

Nombre del candidato(a): MATIAS PALACIOS BRIONES.

Carrera / Grado: INGENIERÍA EN AVIACIÓN COMERCIAL

Campus: Santiago Vitacura ; **Departamento:** AERONÁUTICA

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Martinus Potters, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 29/07/2025 ; **Firma:** 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 29/07/2025 ; **Firma:** 

*Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por
estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.*

BIB-FO2385 01

DEDICATORIA

A mi madre, padre y hermano por hacer lo imposible, posible.

Por inculcar la disciplina.

Por el apoyo incondicional.

Por estar conmigo hasta el final.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo central el diseño de un plan de implementación de un sistema de medición, gestión y reporte de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la empresa nacional de aviación ejecutiva Aerocardal, tomando como base la normativa internacional ISO 14064-1:2018. Este proyecto busca abordar una brecha estructural de operadores aéreos no regulares en Chile, los cuales, a diferencia de las aerolíneas comerciales a gran escala, no cuentan con herramientas técnicas ni procesos sistematizados que les permitan cuantificar ni comunicar adecuadamente su huella de carbono organizacional.

La motivación de este trabajo surge a partir de un mercado global creciente en cuanto a presión regulatoria, institucional y comercial hacia la sostenibilidad empresarial. Normativas como el programa CORSIA impulsado por la OACI, la ley Marco de Cambio Climático (Ley N° 21.455), y los compromisos internacionales de carbono neutralidad al 2050, han situado a la gestión ambiental como un eje estratégico para todos los sectores productivos. En este marco, la aviación, pese a representar un 2,4% del total de las emisiones globales, es considerada un sector sensible por su alta intensidad energética y limitada disponibilidad de alternativas tecnológicas limpias. Si bien compañías como LATAM y Sky han incorporado reportes públicos y sistemas de medición bajo estándares como GHG Protocol, operadores más pequeños como Aerocardal no cuentan con una estructura similar, quedando en desventaja ante licitaciones, alianzas, o procesos de fiscalización ambiental.

La metodología de aplicación se estructuró en cinco fases principales: (1) Diagnóstico y preparación, que incluyó la identificación de fuentes de emisión, límites organizacionales, y responsables internos del proceso. (2) Cuantificación y categorizaciones de emisiones, aplicando factores de emisión IPCC y fuentes nacionales. (3) Desarrollo del inventario organizacional conforme a ISO 14064-1, para el año base 2024. (4) Generación del informe organizacional e implementación de controles de calidad y (5) Capacitación interna y diseño de un sistema de mejora continua con definición de indicadores clave de desempeño ambiental (KPI). Las fuentes contempladas se clasificaron según los Alcances 1 y 2 definidos en la norma, considerando consumo de Jet A1 en aeronaves, diésel en vehículos terrestres, uso de GPU, consumo eléctrico en hangares y oficinas, y uso de gases refrigerantes.

Entre los principales resultados, se consolidó un inventario organizacional que estima las emisiones anuales de Aerocardal en aproximadamente 5.828,4 [tCO₂e], de las cuales un 98% corresponde al consumo de combustible aeronáutico. El análisis permitió identificar ineficiencias en los registros de consumo, particularmente, en fuentes menores

como refrigeración y vehículos terrestres, proponiendo mejoras en la trazabilidad de datos y estandarización de formatos de recolección, obteniendo una incertidumbre del 2% en la emisión de gases de efecto invernadero. Asimismo, se definieron indicadores de desempeños como toneladas de CO₂ por hora de vuelo, emisiones por tipo de aeronave, consumo eléctrico por área operativa y eficiencia de flota. También se elaboró una propuesta de roles y responsabilidades internas para sostener el sistema, junto con lineamientos para avanzar hacia una eventual verificación.

Desde una perspectiva estratégica, la implementación de este sistema posiciona a Aerocardal como una empresa pionera en sostenibilidad dentro del segmento de la aviación ejecutiva y no regular en Chile. No solo permite alinearse con marcos técnicos internacionales, sino que también fortalece su competitividad frente a clientes institucionales, financiamiento verde y futuras exigencias regulatorias. La experiencia desarrollada en esta memoria puede, además, ser replicada en otros operadores aéreos de similares características, adaptando las metodologías y herramientas a sus realidades específicas.

Finalmente, el presente trabajo demuestra que la implementación de un sistema de gestión de emisiones GEI, basado en ISO 14064-1:2018 es técnica y operativamente viable para empresas medianas del sector aéreo. La clave radica en adaptar los estándares internacionales a escala operativa, desarrollar capacidades internas y garantizar la trazabilidad y robustez del inventario. En un escenario donde la sostenibilidad ha dejado de ser opcional, este proyecto representa una contribución concreta para cerrar brechas ambientales en el sector aeronáutico chileno, y avanzar hacia una aviación más responsable, eficiente y transparente.

ABSTRACT

This research project aims to design an implementation plan for a system to measure, manage, and report greenhouse gas (GHG) emissions at Aerocardal, a Chilean executive aviation company, based on the international ISO 14064-1:2018 standard. The project addresses a structural gap within the non-scheduled aviation sector in Chile, where, unlike large commercial airlines, operators often lack the technical tools and standardized procedures needed to quantify and properly communicate their organizational carbon footprint.

The motivation for this work stems from a global market increasingly influenced by regulatory, institutional, and commercial pressure for corporate sustainability. Regulatory frameworks such as ICAO's CORSIA program, Chile's Climate Change Framework Law (Law No. 21.455), and international carbon neutrality targets by 2050 have positioned environmental management as a strategic priority for all economic sectors. Although major airlines such as LATAM and Sky have adopted public reports and measurement systems based on standards such as the GHG Protocol, smaller operators like Aerocardal remain without equivalent structures, placing them at a disadvantage in public tenders, strategic alliances, and environmental inspections.

The implementation methodology was structured in five key phases: (1) Diagnosis and preparation, including the identification of emission sources, organizational boundaries, and internal stakeholders. (2) Quantification and categorization of emissions, using IPCC and nationally recognized emission factors. (3) Development of the organizational inventory in accordance with ISO 14064-1, for the 2024 base year. (4) Generation of the organizational report and quality control implementation, and (5) Internal training and the development of a continuous improvement system with defined key performance indicators (KPIs). Emission sources were classified according to Scopes 1 and 2 of the standards, including Jet A1 and Avgas fuel consumption in aircraft, diesel use in ground vehicles, ground power units (GPUs), electricity use in hangars and offices, and refrigerant gases.

Among the main results, an organizational inventory was consolidated estimating Aerocardal's annual emissions at approximately 5,828.4 [tCO₂e], of which 98% correspond to aviation fuel consumption. The analysis revealed inefficiencies in data recording, especially in minor sources such as refrigeration and ground vehicles, and proposed improvements in data traceability and standardization of collection formats, obtaining a 2% uncertainty in greenhouse gas emissions. Performance indicators were also defined, such as CO₂ tons per flight hour, emissions by aircraft type, electricity consumption by operational

area, and fleet efficiency. An internal structure was proposed to sustain the system and provide guidelines for future verification.

From a strategic perspective, implementing this system positions Aerocardal as a pioneer in sustainability within Chile's executive and non-scheduled aviation segment. It enables alignment with international technical standards while also strengthening the company's competitiveness with institutional clients, access to green financing, and readiness for future regulatory requirements. Moreover, the methodology and tools developed in this project can be replicated by similar operators, adapted to their specific operational realities.

Ultimately, this work demonstrates that implementing a GHG management system based on ISO 14064-1:2018 is both technically and operationally feasible for medium-sized aviation companies. The key lies in adapting international standards to the operational scale, building internal capabilities, and ensuring the traceability and robustness of the inventory. In a context where sustainability is no longer optional, this project offers a concrete contribution to closing environmental management gaps in Chile's aviation sector and advancing toward a more responsible, efficient, and transparent industry.

Tabla de contenido

DEDICATORIA.....II

RESUMEN IV

ABSTRACT VI

 TABLAS X

 TABLA DE ILUSTRACIONES XII

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA XIII

1. CAPITULO I: ANTECEDENTES GENERALES - 14 -

 1.1. INTRODUCCIÓN..... - 15 -

 1.2. JUSTIFICACIÓN..... - 16 -

 1.3. OBJETIVOS - 18 -

 1.3.1. OBJETIVO GENERAL..... - 18 -

 1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS..... - 18 -

 1.4. METODOLOGÍA..... - 19 -

 1.5. ALCANCE..... - 21 -

2. CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE..... - 23 -

 2.1. ANTECEDENTES..... - 24 -

 2.1.1. REGULACIONES INTERNACIONALES APLICABLES A LA AVIACIÓN - 25 -

 2.1.2. POLÍTICAS CLIMÁTICAS EN CHILE Y SECTOR TRANSPORTE - 27 -

 2.1.3. SITUACIÓN DEL MERCADO AERONÁUTICO NACIONAL EN GESTIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO - 29 -

 2.1.4. CASOS INTERNACIONALES DE IMPLEMENTACIÓN EN OPERADORES SIMILARES..... - 31 -

 2.1.5. DIAGNÓSTICO DE OPORTUNIDADES PARA OPERADORES NO REGULARES - 33 -

 2.2. MARCO TEORICO - 35 -

 2.2.1. ENFOQUE GENERAL DE GESTIÓN ORGANIZACIONAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO - 35 -

 2.2.2. NORMA ISO 14064-1:2018 - 37 -

 2.2.3. GHG PROTOCOL - 40 -

2.2.4. DIRECTRICES DEL PANEL INTERGUBERNAMENTAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO..... - 43 -

2.2.5. COMPARACIÓN ENTRE ISO 14064-1 Y GHG PROTOCOL - 46 -

2.2.6. ROL DE LOS FACTORES DE EMISIÓN Y ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE - 48 -

3. CAPITULO III: DESARROLLO - 51 -

3.1. DESARROLLO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN AEROCARDAL - 52 -

3.1.1. FASE 1: DIAGNÓSTICO Y PREPARACIÓN - 53 -

3.1.2. FASE 2: CUANTIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE EMISIONES - 61 -

3.1.3. FASE 3: DESARROLLO DEL INVENTARIO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO - 65 -

3.1.4. FASE 4: GENERACIÓN DEL INFORME DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y VALIDACIÓN INTERNA - 76 -

3.1.5. FASE 5: CAPACITACIÓN Y MEJORA CONTINUA..... - 82 -

4. CONCLUSIONES - 95 -

4.1. RECOMENDACIONES..... - 97 -

BIBLIOGRAFÍA - 100 -

ANEXOS 1 - 103 -

A.1. LIMITE ORGANIZACIONAL Y OPERACIONAL. - 104 -

A.2. FUENTES INCLUIDAS - 104 -

A.2.1. ALCANCE 1 - 104 -

A.2.2. ALCANCE 2 - 105 -

A.2.3. ALCANCE 3 - 105 -

A.3. FACTORES DE EMISIÓN UTILIZADOS - 106 -

A.4. RESULTADOS CONSOLIDADOS POR FUENTE Y ALCANCE - 107 -

A.5. KPI’s..... - 108 -

A.6. EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE..... - 108 -

A.7. EXCLUSIONES JUSTIFICADAS - 109 -

ANEXO 2 - 109 -

TABLAS

Tabla 2.2.5.1: Comparación entre ISO14064-1:2018 y GHG Protocol. Fuente: Elaboración Propia. - 47 -

Tabla 2.2.6.1: Niveles de factores que comparten GHG Protocol y la norma ISO. Fuente: Elaboración propia. - 48 -

Tabla 3.1.1.1.1: Resumen de las aeronaves operativas consideradas de Aerocardal. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa Aerocardal. - 53 -

Tabla 3.1.1.4.1.: Cuadro resumen de los cargos en Aerocardal, funciones dentro de la implementación de la ISO y el tipo de alcance. Fuente: Elaboración Propia. - 59 -

Tabla 3.1.2.2.1.: Factores de emisión por cada fuente utilizada en Aerocardal: Fuente: Elaboración Propia..... - 62 -

Tabla 3.1.3.2.1: Total de emisiones de Aerocardal, por tipo y alcance para el año 2024. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de los documentos de Aerocardal. - 68 -

Tabla 3.1.3.3.1.: Justificación del rango estimado de incertidumbre de los datos de la empresa Aerocardal. Fuente: Elaboración propia..... - 70 -

Tabla 3.1.3.3.2.: Resumen de la incertidumbre determinada a partir de los datos de Aerocardal. Fuente: Elaboración propia. - 71 -

Tabla 3.1.5.1.1.: Módulos de Capacitación propuestos para los colaboradores de Aerocardal. Fuente: Elaboración propia. - 84 -

Tabla 3.1.5.2.1.: Tabla resumen de los KPI % Compensado por paneles solares y %Emisiones provenientes de fuentes no controladas. Fuente: Elaboración propia..... - 86 -

Tabla 3.1.5.2.2.: Tabla resumen de los KPI de total de emisiones y emisiones por hora de vuelo, ambos por matrícula y tipo de aeronave. Fuente: Elaboración propia. - 87 -

Tabla 3.1.5.2.3.: Resumen de la cantidad de emisiones por Tipo de Vuelo de Aerocardal. Fuente: Elaboración Propia. - 88 -

Tabla 3.1.5.3.1: Procedimientos que deben ser auditados, junto con los responsables e indicadores de desempeño clave. Fuente: Elaboración propia de acuerdo con la propuesta de implementación..... - 90 -

Tabla A2.1.1.: Resumen de las aeronaves operativas consideradas de Aerocardal. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa Aerocardal. - 104 -

Tabla A.3.1.: Fuentes de emisiones consideradas para realizar el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero. Fuente: Elaboración propia. - 106 -

Tabla A.4.1.: Consolidación de las fuentes de emisión por fuente y alcance para el año 2024. Fuente: Elaboración propia..... - 107 -

Tabla A.5.1: Total de emisiones por Aeronave durante el año 2024 de la flota operativa de Aerocardal. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Aerocarlda..... - 108 -

Tabla A.6.1.: Tabla de los cálculos de incertidumbre según el IPCC. Fuente: Elaboración propia a partir de los estándares del IPCC. - 108 -

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3.1.1.4.1: Organigrama con los principales responsables de Implementar la Norma ISO 14064-1. Fuente: Elaboración Propia..... - 56 -

Ilustración 3.1.5.4.1.: Ciclo PDCA propuesto para la mejora continua con relación a la implementación de la ISO 14061-1:2018. Fuente: Elaboración propia..... - 92 -

Ilustración A.2.1: Organigrama gerencial de Aerocardal. Fuente Aerocardal. - 109 -

Ilustración A.2.2.: Organigrama gerencias comercial y de mantenimiento de Aerocardal. Fuente: Aerocardal..... - 110 -

Ilustración A.2.3: Organigrama de gerencia de operaciones de Aerocardal. Fuente: Aerocardal. - 110 -

Ilustración A.2.4.: Organigrama gerencia de FBO de Aerocardal. Fuente: Aerocardal.- 111 -

Ilustración A.2.5.: Organigrama gerencia de administración y finanzas de Aerocardal. Fuente: Aerocardal..... - 112 -

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

En el desarrollo de la presente memoria se utilizan numerosos términos técnicos, siglas y símbolos asociados a normativas internacionales, conceptos de sostenibilidad, unidades de medida y estándares del sector aeronáutico y ambiental.

Con el objetivo de facilitar la comprensión del documento y garantizar la claridad terminológica, a continuación, se presenta un glosario con las principales siglas y símbolos empleados, junto con su respectiva definición. Este apartado tiene carácter referencial y busca apoyar al lector en la interpretación correcta del contenido técnico expuesto.

- **GEI:** Gases de efecto invernadero.
- **tCO₂e:** Toneladas de dióxido de carbono equivalente.
- **ISO:** International Organization for Standardization.
- **ISO 14064-1:** Norma internacional para cuantificación y reporte de GEI a nivel organizacional.
- **ISO 14064-3:** Norma internacional para la verificación de inventarios de GEI.
- **GHG Protocol:** Greenhouse Gas Protocol.
- **IPPC:** Intergovernmental Panel on Climate Change.
- **OACI:** Organización de Aviación Civil Internacional.
- **CORSIA:** Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation.
- **BCN:** Biblioteca Nacional del Congreso Nacional.
- **Ley 21.455:** Ley Marco de Cambio Climático.
- **Alcance 1:** Emisiones directas de fuentes que pertenecen o son controladas por la organización.
- **Alcance 2:** Emisiones indirectas asociadas a la compra de electricidad u otra energía.
- **Alcance 3:** Otras emisiones indirectas dentro de la cadena de valor.
- **KPI:** Key Performance Indicator (Indicador Clave de Desempeño).
- **SAF:** Sustainable Aviation Fuel (Combustible de Aviación Sostenible).
- **PDCA:** Planificar, Hacer, Verificar, Hacer, (modelo de mejora continua).
- **MRV:** Monitoreo, Reporte y Verificación.
- **t:** Tonelada métrica (1.000 kilogramos).
- **kWh:** Kilowatt hora, unidad de energía eléctrica.
- **CO₂:** Dióxido de carbono.
- **SAP:** Sistema de planificación de recursos empresariales utilizado por Aerocardal.
- **Qlikview:** Herramienta de visualización y análisis de datos utilizada en operaciones.
- **Workflow:** Plataforma web utilizada para la gestión y trazabilidad de datos operacionales en procesos internos.

1. CAPITULO I: ANTECEDENTES GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo aborda el diseño de un plan de sistema organizacional orientado a la medición, gestión y reporte de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), adaptado a la realidad operativa de una empresa chilena de aviación no regular como Aerocardal. La propuesta se sustenta en estándares técnicos reconocidos internacionalmente, como la norma ISO 14064-1:2018, y responde a la necesidad de fortalecer la trazabilidad y el desempeño ambiental de organizaciones que, tradicionalmente, han estado fuera del alcance de las políticas climáticas más estructuradas.

La aviación ejecutiva y los operadores no regulares enfrentan actualmente un entorno donde los criterios de sostenibilidad comienzan a formar parte de las exigencias institucionales, comerciales y regulatorias. En este contexto, contar con un inventario de emisiones robusto, verificable y alineado con estándares internacionales, se transforma en una ventaja competitiva y en una herramienta de gestión estratégica. No obstante, estos operadores suelen carecer de recursos técnicos y humanos suficientes para implementar sistemas complejos, lo que genera una brecha operativa significativa respecto de las grandes aerolíneas. A lo largo de esta memoria se presenta un enfoque metodológico progresivo que permite abordar esta problemática desde una perspectiva práctica. Se analiza el contexto ambiental y normativo que impulsa este tipo de iniciativas, se seleccionan y adaptan marcos metodológicos adecuados a la escala de la organización, y se implementan procesos internos que permiten cuantificar las emisiones, establecer indicadores clave de desempeño, y proyectar acciones de mejora continua.

Este desarrollo no solo entrega resultados técnicos concretos como el inventario base de emisiones y la propuesta de indicadores, sino que también busca posicionar a la organización como un referente dentro de su segmento, promoviendo un modelo replicable para otros operadores del sector que enfrenten desafíos similares. En definitiva, el trabajo busca demostrar que la sostenibilidad ambiental no debe ser exclusiva de grandes empresas, sino que puede y debe ser abordada de manera estratégica también por actores medianos dentro del ecosistema aeronáutico nacional.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La creciente presión internacional por mitigar los efectos del cambio climático ha instalado la necesidad de que todos los sectores económicos cuantifiquen y gestionen sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Según el último reporte del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPPC), las emisiones globales de CO₂ debían reducirse en al menos un 42% antes de 2023 para mantener viva la meta del Acuerdo de París de limitar el calentamiento global a 1,5°C (IPCC, International Panel on Climate Change, 2023). En este contexto, la aviación, si bien representa aproximadamente un 2,4% de las emisiones de CO₂ a nivel global, genera un efecto climático amplificado debido a la formación de estelas de condensación y emisión de óxidos de nitrógeno (NO_x) a gran altitud (Lee et al., 2021).

En Chile, el transporte es responsable de más de 36% de las emisiones de GEI (Ministerio del Medio Ambiente, 2023), y si bien la aviación aún no es el principal emisor dentro del sector, se encuentra en la mira de futuras regulaciones. Esto queda reflejado en la Ley Marco de Cambio Climático (Ley N°21.455) (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022), que establece metas sectoriales de mitigación y exige a las empresas adaptarse a criterios de desempeño ambiental y carbono neutralidad hacia 2050. A nivel global, los actores más grandes de la industria ya están implementando sistemas formales de medición y reporte, como el GHG Protocol, y normas internacionales como la ISO 14064-1:2018, que permite cuantificar y reportar las emisiones de GEI a nivel organizacional, bajo principios de transparencia, consistencia y verificabilidad. LATAM Airlines, por ejemplo, publica anualmente su huella de carbono y participa en programas como CDP (Carbon Disclosure Project), integrando estos datos en sus reportes de sostenibilidad (LATAM Airlines, 2023). Sin embargo, los actores más pequeños como los del segmento de aviación no regular, presentan importantes rezagos en esta materia, principalmente por la falta de herramientas técnicas adaptadas a su escala operativa. Es precisamente, este vacío donde se enmarca la presente investigación. Aerocardal, como empresa chilena especializada en vuelos ejecutivos, ambulancia aérea y chárter corporativo, opera con una flota diversa de jets, turbohélices y helicópteros, y cuenta con más de 30 años de experiencia en el mercado. A pesar de su trayectoria y capacidad técnica, no dispone actualmente un sistema formal de cuantificación ni reporte de emisiones de GEI, lo que representa una debilidad interna en el contexto de las nuevas exigencias climáticas y comerciales. Actualmente, la empresa registra parcialmente su consumo de combustible en la plataforma Workflow, y ha comenzado a estimar emisiones en sus reportes mensuales de operación utilizando referencias básicas del GHG Protocol. Sin embargo, estos cálculos no se realizan con trazabilidad metodológica ni cuentan con respaldo documental suficiente para ser auditables. Esta situación plantea un

problema de gestión: Aerocardal no está en condiciones de acreditar su desempeño ambiental ante licitaciones públicas, clientes institucionales, ni ante posibles fiscalizaciones ambientales futuras.

A su vez, esto genera una oportunidad profesional clara: desarrollar e implementar un sistema de medición, gestión y reporte de emisiones de GEI adaptado a la estructura y capacidad operativa de Aerocardal, basado en la norma internacional válida como lo es la ISO 14064-1:2018. Este proyecto no sólo contribuirá a resolver una carencia interna, sino que habilitará a la empresa para:

- Fortalecer su posición en el mercado mediante criterios ESG (Environmental, Social and Governance).
- Participar de licitaciones que requieren trazabilidad ambiental.
- Acceder a líneas de financiamiento verde.
- Anticiparse a la regulación futura del sector aeronáutico nacional.

Por otra parte, este trabajo puede servir como caso piloto para replicar la experiencia en otros operadores aéreos de características similares, como empresas de taxi aéreo, operadores de ambulancias aéreas o vuelos privados, donde existen las mismas debilidades en materia de gestión ambiental.

Finalmente, esta investigación se justifica tanto por la necesidad práctica de abordar una brecha ambiental en una empresa del sector privado, como por la pertinencia profesional de aplicar conocimientos técnicos a una solución concreta que tenga impacto estratégico, ambiental y operativo. En tiempos donde la sostenibilidad no es una opción sino una exigencia, diseñar un sistema robusto, verificable y alineado con estándares internacionales como contribución real a la mejora de la gestión en la aviación chilena.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar la norma ISO 14064-1 en aerolíneas menor a 10 toneladas caso aplicado Aerocardal para cuantificar, gestionar y reportar sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), mejorando su desempeño ambiental y alineándose con estándares internacionales.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Evaluar el estado actual de la gestión de emisiones GEI en el mercado aeronáutico internacional.
2. Identificar los requisitos y metodologías necesarias para la cuantificación y reporte de emisiones según la norma.
3. Desarrollar un sistema de medición y reporte GEI adaptado a las operaciones de aerolíneas menores a 10 toneladas.
4. Analizar los beneficios operacionales y estratégicos de la implementación de la norma para la aerolínea.
5. Proponer un plan de implementación que permita a Aerocardal gestionar y reportar sus emisiones de manera efectiva.

1.4. METODOLOGÍA

El presente trabajo de investigación se estructura en cinco fases secuenciales, inspiradas directamente en el ciclo de implementación propuesto por la norma ISO 14064-1:2018. Estas fases permiten avanzar desde un diagnóstico del estado actual hasta la construcción de un sistema integral de medición y reporte con capacidad de mejora continua. El diseño de este esquema metodológico tiene como finalidad asegurar la coherencia técnica, la trazabilidad de los resultados y la aplicabilidad real en una empresa de aviación no regular.

Con base en el diagnóstico interno y el análisis contextual, se desarrollará una propuesta metodológica estructurada en cinco fases:

- **Fase 1 – Diagnóstico y Preparación:**
 - Identificación de fuentes de emisiones, definición de límites organizacionales y designación de un equipo responsable del sistema GEI dentro de la empresa.
- **Fase 2 – Cuantificación y Categorización de Emisiones:**
 - Aplicación de metodologías de cálculo, asignación de factores de emisión reconocidos (IPCC, GHG Protocol, bases de datos nacionales) y selección del año base para el inventario.
- **Fase 3 – Desarrollo del Inventario Organizacional:**
 - Consolidación estructurada de los datos recolectados, documentación de exclusiones e incertidumbres y elaboración del inventario GEI conforme a los requisitos técnicos de la norma.
- **Fase 4 – Elaboración del Informe y Validación Interna:**
 - Preparación del informe organizacional de emisiones, con todos los elementos exigidos por la ISO 14064-1:2018, implementación de controles internos de calidad y validación técnica preliminar.
- **Fase 5: Capacitación y Mejora Continua:**
 - Fortalecimiento de las capacidades internas mediante formación diferenciada por área, definición de indicadores clave de desempeño ambiental (KPI), y diseño de un sistema de mejora continua que permita sostener y escalar el sistema a futuro, incluyendo la posibilidad de verificación externa.

Esta propuesta busca ser realista, adaptable a los recursos organizacionales, técnicamente robusta y replicable en otras empresas del rubro con características similares.

Para el desarrollo de cada fase, se emplearán las siguientes técnicas de recopilación y análisis:

La revisión documental para el análisis de la Norma ISO 14064-1, el GHG Protocol, IPCC, legislación nacional Ley Marco de Cambio Climático y reportes de empresas comparables como LATAM, Sky, IATA y OACI.

Hay que considerar además análisis de registros internos de Aerocardal con el levantamiento de información y sistematización de datos operaciones, como el consumo de combustible por vuelo, consumo eléctrico, uso de vehículos terrestres y bitácoras de mantenimiento.

Observación directa y entrevistas informales, esto con la finalidad de comprender los procesos internos, flujos de información y capacidades existentes, se realizarán conversaciones y observaciones con personal operativo, administrativo y técnico.

Análisis metodológico comparado al evaluar diferentes alternativas para cuantificar emisiones (calculadoras, herramientas del GHG Protocol, factores IPCC, con el fin de determinar su aplicabilidad en el contexto real de Aerocardal.

1.5. ALCANCE

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de medición, gestión y reporte de emisiones de gases de efecto invernadero GEI en la empresa Aerocardal, basada en los lineamientos establecidos por la Norma ISO 14064-1:2018. El sistema está orientado a proporcionar una solución técnica aplicable, verificable y escalable, capaz de adaptarse a cualquier realidad operativa de un operador de aviación no regular con flota menor a 10 toneladas de emisiones, y con potencial de replicabilidad en empresas del mismo segmento.

El proyecto se enfoca exclusivamente en la cuantificación organizacional de emisiones, es decir, aquellas que derivan el funcionamiento directo de la empresa, tales como, el consumo de combustible por parte de las aeronaves y vehículos de apoyo, uso de electricidad en infraestructura física, y operación de equipos auxiliares de energía en tierra. Este sistema no incluye otros aspectos ambientales como huella hídrica, generación de residuos o contaminación acústica, ya que se busca construir un modelo específico, centrado en la gestión de carbono.

En cuanto a su aplicación, el proyecto considera únicamente la sede principal de Aerocardal ubicada en el Aeropuerto Arturo Merino Benítez de Santiago, donde se centran las operaciones aéreas, logísticas, administrativas y de mantenimiento. Las demás instalaciones o actividades ocasionales fuera de esta base no serán consideradas en esta etapa, principalmente por la falta de disponibilidad continua de datos operacionales y trazabilidad documental.

Desde el punto de vista de la clasificación de emisiones, el alcance se restringe a aquellas definidas como Alcance 1 y Alcance 2 según ISO 14064-1 y el GHG Protocol. El Alcance 1 incluye las emisiones directas generadas por fuentes bajo control de la organización, como el consumo de Jet A1 en aeronaves, el uso de diésel en vehículos terrestres y los equipos auxiliares como generadores y GPU. Por su parte, el Alcance 2 considera las emisiones indirectas asociadas a la electricidad adquirida por la empresa para alimentar hangares, oficinas, talleres y salas de planificación. Las emisiones de Alcance 3 no serán cuantificadas en esta etapa, debido a la falta de trazabilidad y control directo, pero se reconoce la necesidad de su incorporación futura a medida que el sistema madure.

El periodo considerado para la cuantificación corresponde al año 2024, definido como año base del inventario GEI. Esta elección se fundamenta en que dicho año representa un periodo de operación regular posterior a la pandemia, cuenta con datos operacionales completos y disponibles, y no presenta anomalías que distorsionen la comparabilidad de resultados en futuras actualizaciones. Todos los cálculos, reportes e indicadores se referirán

a ese año base, y servirán como punto de comparación para evaluar el desempeño climático de la empresa en el tiempo.

Desde el punto de vista normativo, el sistema se desarrolla conforme a la norma ISO 14064-1:2018, la cual establece requisitos para la cuantificación y reporte GEI a nivel organizacional. Esta norma ha sido seleccionada por su aplicabilidad, reconocimiento internacional y alineación con los marcos técnicos más utilizados por el sector privado y organismos gubernamentales. No se busca obtener una certificación en esta etapa, pero si construir un sistema técnicamente compatible con procesos de verificación externa a futuro.

El resultado que se espera al final de este trabajo de investigación será un sistema completo de medición diseñado para ser operado por Aerocardal, con indicadores específicos, flujos de información claros, protocolos de registro y cálculo, inventario organizacional trazable y una propuesta de mejora continua. Se espera que este sistema no solo sirva para cumplir expectativas ambientales crecientes, sino también para fortalecer la eficiencia operativa, anticiparse a futuras normativas y posicionar a Aerocardal como un referente en sostenibilidad de la aviación ejecutiva y no regular en Chile.

2. CAPITULO II: ESTADO DEL ARTE

2.1. ANTECEDENTES

La gestión de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se ha transformado en una prioridad estratégica para los distintos sectores económicos a nivel global, y la industria del transporte aéreo no ha estado exenta de esta transformación. Diversas normativas, compromisos internacionales y marcos metodológicos han impulsado a las organizaciones a adoptar herramientas de cuantificación, reporte y reducción de emisiones, siendo la norma ISO 14064-1:2018 uno de los principales estándares a nivel organizacional. Sin embargo, el camino hacia la sostenibilidad en la aviación no es uniforme. Mientras grandes aerolíneas y los fabricantes de aeronaves invierten en combustibles de aviación sostenible SAF, tecnologías de propulsión eléctrica/híbrida y optimización de rutas, las aerolíneas de menor tamaño como Aerocardal, enfrentan desafíos únicos. Sus flotas pueden ser menos modernas, el acceso a SAF puede ser limitado, y los recursos para invertir en tecnologías avanzadas o complejos sistemas de reporte pueden ser escasos. A pesar de estas limitaciones, la presión para ser más sostenibles no es exclusiva de los grandes operadores, los clientes corporativos, las agencias gubernamentales y la opinión pública esperan un compromiso ambiental de todas las empresas, independientemente de su escala.

En este contexto, la capacidad de cuantificar, gestionar y reportar las emisiones de GEI de manera estandarizada y verificable se vuelve una necesidad imperante para todos los actores de la aviación. Un conocimiento preciso de la huella de carbono permite identificar puntos de eficiencia, establecer metas de reducción realistas y comunicar el progreso de forma transparente. Es aquí donde las regulaciones internacionales y los marcos voluntarios adquieren una relevancia crucial, estableciendo las bases sobre las cuales las aerolíneas pueden construir sus estrategias de sostenibilidad.

Este apartado presenta los antecedentes técnicos, normativos y sectoriales que fundamentan la necesidad de implementar un sistema de medición y gestión de emisiones GEI en Aerocardal. Para ello, se revisan los principales desafíos del cambio climático, la situación actual del transporte aéreo, la evolución normativa internacional y nacional, y las oportunidades que emergen operadores del sector que deseen anticiparse a futuras exigencias ambientales y fortalecer su competitividad.

2.1.1. REGULACIONES INTERNACIONALES APLICABLES A LA AVIACIÓN

La aviación comercial internacional ha sido históricamente una fuente relevante de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente dióxido de carbono (CO₂) pero también óxidos de nitrógeno (NO_x) y otros contaminantes atmosféricos emitidos a gran altitud. Si bien el sector representa entre un 2% y 3% de las emisiones globales de CO₂, su impacto climático es mayor debido al efecto amplificador del forzamiento radiativo (Lee et al., 2021). En este contexto los organismos multilaterales han comenzado a establecer marcos normativos y compromisos específicos para el sector aéreo, que coinciden tanto en las grandes aerolíneas como en operadores menores.

La Organización de Aviación Internacional (OACI), organismo especializado de las Naciones Unidas, ha liderado este proceso a través del establecimiento de políticas sectoriales. Su principal programa es el CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), adaptado formalmente en 2016 y en fase de implementación progresiva desde 2021. Este programa busca estabilizar emisiones netas de CO₂ de los vuelos internacionales en los niveles del año 2020, a través de tres mecanismos combinados, *medición, reporte obligatorio, y compensación de emisiones excedentes* mediante créditos de carbono certificados (CORSIA, 2023). Aunque CORSIA se aplica actualmente solo a vuelos internacionales regulares, su arquitectura regulatoria ha servido como referencia para gobiernos y autoridades aeronáuticas que están comenzando a evaluar la inclusión de operadores de aviación general o ejecutiva dentro de planes nacionales de mitigación. Además, las exigencias de monitoreo y reporte establecidas por CORSIA se han alineado con marcos normativos como el GHG Protocol y la norma ISO 14064-1, generando un ecosistema de herramientas estandarizadas que permite a las aerolíneas independiente de su tamaño implementar sistemas internos de gestión de emisiones.

Otro actor relevante en este proceso es la Unión Europea, que ha incorporado a la aviación su Sistema de Comercio de Emisiones (EU ETS) desde 2012. Esta política obliga a los operadores que realicen vuelos dentro del Espacio Económico Europeo a adquirir derechos de emisión por sus emisiones anuales, promoviendo así la eficiencia operativa y la incorporación de tecnologías de menor impacto climático. En 2023, además, la UE aprobó el reglamento RefuelEU Aviation, que establece metas crecientes de incorporación de combustibles sostenibles de aviación SAF, iniciando con un 2% en 2025 y llegando a un 70% en 2050 (European Commission, 2023).

En Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) adoptó por primera vez en 2020 una regulación de emisiones de CO₂ para aeronaves, alineándose con los estándares de OACI. Si bien la norma aplica solo a nuevas aeronaves certificadas después de

2028, refuerza la señal regulatoria de que la aviación deberá alinearse con las metas de carbono neutralidad a largo plazo (EPA, 2020).

Todas estas iniciativas muestran una convergencia normativa internacional hacia la regulación de emisiones del transporte aéreo. Aunque las exigencias actuales se focalizan en operadores de gran escala y vuelos internacionales, existe un efecto de arrastre que ya comienza a incidir en las exigencias comerciales, de financiamiento y reputación de los operadores menores. Por ejemplo, algunas licitaciones públicas o alianzas con clientes corporativos comienzan a requerir que las empresas entreguen reportes ambientales, muestren trazabilidad de sus consumos energéticos o adopten compromisos climáticos mínimos. En este sentido, los operadores de aviación no regular enfrentan un nuevo escenario de riesgo y oportunidad, donde la adopción de herramientas como la norma ISO 14064-1 puede representar una ventaja estratégica anticipada.

2.1.2. POLÍTICAS CLIMÁTICAS EN CHILE Y SECTOR TRANSPORTE

Chile ha sido uno de los países latinoamericanos que ha mostrado mayor compromiso formal en materia de acción climática. En 2022, con la publicación de la Ley Marco de Cambio Climático (Ley N°21.455), el país consolidó su intención de transitar hacia un desarrollo bajo en emisiones, estableciendo como meta nacional la carbono neutralidad al año 2050. Esta ley establece principios, instrumentos y responsabilidades para que todos los sectores productivos contribuyan a esta meta a través de planes sectoriales de mitigación y adaptación (Congreso Nacional de Chile, 2022; Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2022).

Uno de los aspectos más relevantes de esta ley es que obliga a cada ministerio sectorial a elaborar planes de mitigación climática, con metas de reducción específica y mecanismos de seguimiento. En el caso del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones, esto implica evaluar y planificar la reducción de emisiones no solo en el transporte terrestre, sino también en el marítimo y el aéreo. Si bien actualmente no existen aún normas específicas para operadores de aviación no regular, la estructura legal ya está habilitada para incluirlos dentro de futuras exigencias, especialmente en lo relacionado con reporte, trazabilidad energética y planes de eficiencia operativa. Anteriormente, en 2021 se publicó la Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP), instrumento técnico que entrega un marco programático para cumplir con los compromisos climáticos del país, en concordancia con el Acuerdo de París. La ECLP establece metas para todos los sectores emisiones. Para el sector transporte, se proyecta una reducción del 40% de emisiones respecto a los niveles actuales al año 2050, siendo el segundo sector con mayor responsabilidad en la meta nacional, después del sector energía (Gobierno de Chile, Ministerio del Medio Ambiente, 2021). La ECLP desglosa los objetivos nacionales en metas y acciones concretas que contemplan medidas para la electrificación del transporte terrestres, la promoción de la movilidad sostenible (bicicletas, transporte público), y la implementación de tecnologías de bajas emisiones. Si bien la ECLP no detalla medidas específicas para cada subsector de la aviación, si engloba el objetivo general de descarbonización que permea a toda la economía.

El transporte aéreo, aunque representa una fracción menor de las emisiones del sector, es particularmente intensivo en carbono por pasajero-kilometro, y su crecimiento proyectado genera preocupación. Según el último Inventario Nacional de Emisiones de GEI, el transporte total represento un 36% de las emisiones del país, y dentro de ese total, el transporte aéreo doméstico e internacional acumuló más de 1 millón de toneladas de CO₂e anuales, con tendencia al alza (MMA, 2023). Actualmente, el estado no exige a operadores aéreos menores que cuantifiquen o reporten sus emisiones. Sin embargo, la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) ha comenzado a incorporar criterios de sostenibilidad, en algunos

procedimientos, como el uso de combustibles y la operación en aeródromos en zonas protegidas, abriendo la posibilidad de que estos criterios se amplíen a otras dimensiones como eficiencia energética, trazabilidad de emisiones o adopción de estándares internacionales como la norma ISO 14064-1.

Por otra parte, organismos públicos como el Ministerio de Energía, la Agencia de Sostenibilidad Energética y el mismo Ministerio del Medio Ambiente han desarrollado herramientas abiertas para que organizaciones públicas y privadas puedan comenzar a calcular su huella de carbono de forma autónoma, lo que permite que incluso operadores medianos, como Aerocardal, accedan a metodologías oficiales sin necesidad de contratar servicios externos. Estas herramientas son compatibles con la ISO 14064-1 y con el GHG Protocol, lo que fortalece su valor como punto de partida para estructurar un sistema interno más riguroso y replicable.

Finalmente, es importante señalar que los criterios ambientales están comenzando a ser integrados también en licitaciones públicas, financiamiento verde, certificaciones sectoriales como las normas ISO y alianzas comerciales, lo que representa un cambio en el entorno competitivo para operadores aéreos, especialmente en segmentos sensibles como ambulancia aérea, transporte institucional o vuelos de alto perfil. Por tanto, adoptar herramientas de gestión de emisiones podría representar no solo un rezago ambiental, sino una desventaja competitiva concreta en el corto plazo.

El marco político-climático chileno está avanzando rápidamente hacia una integración plena de criterios de sustentabilidad en todos los sectores, y si bien hoy no existen normativas específicas que obliguen a operadores de aviación no regular a reportar sus emisiones, la estructura legal, institucional y técnica ya está disponible y activa, haciendo cada vez más viable y esperable la adopción de sistemas de medición GEI voluntarios u obligatorios.

2.1.3. SITUACIÓN DEL MERCADO AERONÁUTICO NACIONAL EN GESTIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

El mercado aeronáutico chileno presenta un escenario con complejidad creciente en materia de sostenibilidad, especialmente en lo relativo a la gestión de emisiones de gases de efecto invernadero GEI. Este proceso ha estado marcado por avances significativos entre las aerolíneas regulares de gran escala, como LATAM Airlines y Sky Airline, pero también por una notable ausencia de iniciativas sistemáticas en el segmento de la aviación no regular, donde se encuentran operadores como Aerocardal, DAP, Aerovías ATA o empresas de vuelos ejecutivos.

En el caso de LATAM Airlines, la compañía ha desarrollado un sistema avanzado de gestión de emisiones, alineado con los estándares internacionales más exigentes. Desde el año 2014, la aerolínea publica su huella de carbono en el marco del Carbon Disclosure Project (CDP), reportando de manera voluntaria sus emisiones bajo la metodología del GHG Protocol, y siguiendo progresivamente las recomendaciones de la (Task Force On Climate - Related Financial Disclosures, 2017). LATAM ha declarado meta alcanzar la carbono neutralidad para el año 2050, y ha implementado medidas como compensación de emisiones mediante proyectos forestales, incorporación progresiva de combustibles de aviación (SAF), y renovación de flota con aeronaves de menor consumo específico (LATAM Airlines, 2023).

Sky Airlines, por su parte, ha concentrado su estrategia ambiental en la eficiencia energética operativa. La aerolínea migro el 100% de su flota al modelo Airbus A320Neo, reduciendo sus emisiones por pasajero-kilometro en aproximadamente un 20%. Además, ha iniciado procesos de medición interna de emisiones, aunque aún no cuenta con un sistema de reporte público estandarizado ni con verificación externa (Sky Airlines, 2022). No obstante, su posicionamiento como empresa de bajo costo y eficiencia operacional ha favorecido su percepción ambiental en el mercado.

Ambas aerolíneas, al estar sujetas a rutas internacionales y participar en mercados competitivos con normativas ambientales exigentes, han visto en la gestión climática no solo una responsabilidad, sino también un requisito reputacional y comercial. La transparencia ambiental se ha convertido en parte de su estrategia corporativa, y ha sido incluida incluso en sus reportes financieros y memorias anuales.

En contraste, el segmento de la aviación no regular, en Chile, se encuentra en una etapa incipiente en cuanto a gestión de emisiones. La mayoría de estas empresas no cuentan con sistemas formales de medición de GEI, ni con registros estructurados de consumo energético o emisiones por operación. En general, el control de combustible se realiza con fines logísticos y financieros, pero no con un enfoque ambiental. Tampoco existen reportes

de sostenibilidad ni iniciativas voluntarias de compensación, salvo casos puntuales de licitación o proyectos especiales.

La ausencia de regulación específica, la limitada disponibilidad de recursos técnicos y el tamaño acotado de estas organizaciones son factores que explican la situación. Sin embargo, esta brecha también representa una oportunidad estratégica, especialmente para operadores como Aerocardal, que participan en servicios sensibles donde la trazabilidad, la responsabilidad social empresarial y la imagen ambiental comienza a ser relevantes para clientes e instituciones. Aerocardal, por ejemplo, cuenta con sistemas internos como la plataforma Workflow, donde se registra el consumo de combustible por vuelo, pero aún no existe una sistematización que permita convertir estos datos en una huella de carbono organizacional trazable, ni una estructura formal que facilite su integración en reportes operativos o auditorías externas. La empresa ha dado señales de interés en avanzar en esta línea, pero aún no ha implementado un sistema integral ni ha alineado sus prácticas con normas como ISO 14064-1, por lo que la sitúa dentro del conjunto de empresas con alto potencial de mejora en esta materia.

Este sistema de asimetría entre operadores grandes y pequeños en materia de gestión ambiental no es exclusivo en Chile. En diversos mercados, las aerolíneas tradicionales han adoptado estándares ambientales por presión normativa y reputacional, mientras que las más pequeñas han quedado rezagadas, no por falta de interés, sino por la carencia de herramientas técnicas adaptadas a su escala. En este contexto, iniciativas como la desarrollada en esta memoria pueden contribuir no solo a cerrar esa brecha, sino también a generar modelos replicables que fortalezcan la sostenibilidad, del sector en su conjunto.

2.1.4. CASOS INTERNACIONALES DE IMPLEMENTACIÓN EN OPERADORES SIMILARES

Si bien la mayor parte de la literatura y los reportes sobre gestión ambiental de emisiones en aviación están centrados en aerolíneas de gran escala, en la última década han surgido experiencias concretas de implementación de sistemas de cuantificación de gases de efecto invernadero (GEI), en operadores aéreos medianos o no regulares, los cuales enfrentan desafíos similares a los de Aerocardal; limitaciones de escala, restricciones presupuestarias y estructuras organizacionales compactas.

Uno de los casos más documentados es el de Airlink, una empresa de aviación regional con sede en Sudáfrica que opera vuelos comerciales entre ciudades secundarias del sur del continente africano. Con una flota de aeronaves regionales y turbohélices, Airlink inició en 2018 un programa interno de gestión de carbono, en alianza con el Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Witwatersrand. A través de esta colaboración, implementaron un sistema de medición de emisiones basado en la norma ISO 14064-1, sin certificación externa, pero con validación académica y trazabilidad operativa (Mokaena, T., & Smit, J., 2021).

En Europa, la empresa holandesa JetNetherlands, especializada en vuelos ejecutivo y chárter corporativo, implemento un sistema de gestión ambiental con énfasis en la medición de emisiones por operación de vuelo, apoyándose en el GHG Protocol y en herramientas simplificadas de cálculo desarrolladas por European Business Aviation Association (EBA). Si bien no buscaron una certificación inmediata, estructuraron internamente un inventario de emisiones verificables y comenzaron a reportar sus emisiones anuales a sus clientes institucionales como parte de sus compromisos de sostenibilidad (EBAA, European Business Aviation Association, 2022).

Otro ejemplo destacable es el de la empresa canadiense Chartright Air Group, que en 2020 integró un sistema de medición de emisiones bajo la lógica ISO 14064-1 en sus reportes internos, como parte de su estrategia ESG. Utilizando una plataforma digital de gestión de datos operativos (FlightBridge) y factores de emisión del IPCC, Chartright logró calcular sus emisiones organizacionales por tipo de aeronave y operación, generando reportes consolidados que les permiten diseñar una estrategia de reducción basada en eficiencia de vuelo, mantenimiento preventivo y uso de rutas optimizadas (Chartright Air Group., 2021).

Estas experiencias muestran que la adopción de sistemas de medición GEI no están limitadas a aerolíneas con grandes departamentos de sostenibilidad, sino que es perfectamente viable en empresas medianas y pequeñas, que siempre se adapte la

metodología al tamaño, complejidad y capacidad operativa de cada organización. Las claves del éxito han sido:

- La utilización de estándares reconocidos pero flexibles, como ISO 14064-1 o GHG Protocol.
- La elección de metodologías compatibles con sus sistemas internos de registro (bitácoras digitales, ERP, FlightOps).
- La implementación gradual, empezando con alcances 1 y 2, y dejando Alcance 3 para una etapa posterior.
- La incorporación del sistema GEI dentro de su gestión operativa, y no como un proceso aislado.

Estas prácticas permiten que la medición de emisiones se convierta en una herramienta útil para optimizar consumos, mejorar la trazabilidad operativa y responder a nuevas exigencias comerciales, especialmente en contratos corporativos, certificaciones ISO o alianzas con clientes internacionales que demandan trazabilidad ambiental.

En este mismo sentido, la propuesta desarrollada para Aerocardal no solo es técnicamente viable, sino también coherente con una tendencia internacional en operadores similares, que han demostrado que, con voluntad institucional, adaptación metodológica y herramientas accesibles, es posible gestionar sus emisiones de forma rigurosa sin necesidad de recurrir a certificaciones externas de alto costo.

2.1.5. DIAGNÓSTICO DE OPORTUNIDADES PARA OPERADORES NO REGULARES

El análisis del contexto internacional y nacional permite identificar una serie de oportunidades estratégicas para operadores aéreos no regulares que decidan anticiparse a las exigencias climáticas emergentes mediante la implementación voluntaria de sistemas de medición de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Estas oportunidades surgen de una combinación de factores como el avance normativo global, la presión reputacional, la madurez metodológica de los instrumentos disponibles, y la creciente valorización de la sostenibilidad como atributo de competitividad en el sector aeronáutico.

En primer lugar, los marcos normativos internacionales, como el programa CORSIA de la OACI y el ReFuelEU Aviation en Europa, están creando un ecosistema regulatorio que ya no distingue únicamente entre operadores regulares e irregulares, sino que exige estándares mínimos a toda la cadena de valor de la aviación. Aunque hoy en Chile los operadores no regulares no están sujetos a regulaciones específicas sobre emisiones GEI, La Ley Marco de Cambio Climático y la Estrategia Climática de Largo Plazo han habilitado instrumentos para que la situación cambie en el mediano plazo, incorporando criterios de mitigación sectorial al transporte aéreo en su conjunto.

En este escenario, contar con un sistema de medición y gestión de emisiones basado en la norma ISO 14064-1 puede convertirse en una herramienta de anticipación regulatoria, permitiendo a la empresa adaptarse gradualmente y con menor costo a futuras exigencias legales o contractuales. Además, este tipo de sistemas permite que la organización se posicione favorablemente ante clientes institucionales como hospitales, organismos públicos, fundaciones o empresas privadas, que ya incorporan criterios ESG (Environmental, Social and Governance) en sus procesos de compra y selección de proveedores.

Desde una perspectiva operacional, la implementación de un sistema GEI también permite mejorar la trazabilidad y eficiencia energética interna, al contar con datos sistematizados sobre el uso de combustible, consumo eléctrico, eficiencia por tipo de aeronave y huella operativa por servicio. Esta información no solo es útil para fines ambientales, sino también para tomar decisiones operacionales basadas en desempeño, mantenimiento, rutas o consumo por kilómetro volado.

Otro elemento clave es la viabilidad técnica y económica del sistema propuesto. A diferencia de certificaciones como ISO 14001, que requieren auditorías periódicas y ajustes complejos en toda la gestión ambiental, la norma ISO 14064-1 permite desarrollar un sistema de medición de GEI interno, verificable y escalable, sin necesidad de certificación obligatoria, lo que la hace especialmente adecuada para empresas medianas como

Aerocardal. Su estructura modular facilita su implementación progresiva, iniciando con los alcances 1 y 2, y permitiendo en el futuro incorporar el alcance 3 conforme aumente la madurez del sistema.

La experiencia de operadores similares en otros países como los que se mencionaron anteriormente confirma que es posible implementar este tipo de sistemas con estructuras organizacionales compactas, utilizando datos operativos ya disponibles (como bitácoras de vuelo, consumo de energía y reportes logísticos), y sin necesidad de crear departamentos especializados. Esto demuestra que el tamaño no es una limitación, sino una condición que requiere metodologías adaptadas, como la desarrollada en esta memoria.

Por último, la implementación de un sistema GEI puede ser un factor diferenciador en el posicionamiento corporativo. En un entorno donde la sostenibilidad se ha vuelto un atributo valorado en el mercado, especialmente en nichos de alto perfil como vuelos ejecutivos o ambulancia aérea, ser una de las primeras empresas del rubro en Chile en contar con un sistema de gestión de emisiones bajo un estándar internacional puede otorgar ventajas reputacionales, acceso a financiamiento verde, reconocimiento institucional, e incluso apertura a nuevos contratos con actores que exigen transparencia ambiental.

En síntesis, el contexto nacional e internacional actual genera una convergencia de factores que transforman la gestión climática en una oportunidad estratégica para los operadores no regulares. La propuesta desarrollada en esta memoria permite que una empresa como Aerocardal no solo se ponga al día con los estándares ambientales emergentes, sino que se proyecte como un referente sectorial en sostenibilidad operativa, reforzando su competitividad y anticipándose a las demandas de un entorno cada vez más regulado, exigente y consciente.

2.2. MARCO TEORICO

2.2.1. ENFOQUE GENERAL DE GESTIÓN ORGANIZACIONAL DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

La gestión de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel organizacional se ha convertido en un eje fundamental de la sostenibilidad empresarial, impulsada por la creciente presión regulatoria, las expectativas de los grupos de interés y los compromisos internacionales vinculados al cambio climático. En este contexto, medir, reportar y gestionar las emisiones generadas por las operaciones de una empresa no solo es un acto voluntario de responsabilidad ambiental, sino también un requisito técnico y estratégico para competir en un entorno donde la trazabilidad de impacto climático está siendo cada vez más demandada. Va más allá del simple cálculo de las emisiones, implica la integración de consideraciones climáticas en la estrategia y operaciones diarias de la organización. Este enfoque se ha vuelto indispensable en un contexto global donde la acción climática es una prioridad creciente y las expectativas de los stakeholders sobre la responsabilidad ambiental de las empresas son cada vez mayores (UNEP, 2023).

Desde una perspectiva conceptual, la gestión organizacional de emisiones GEI se refiere al conjunto de procesos que permiten a una empresa identificar, cuantificar, categorizar, reportar y eventualmente reducir las emisiones que resultan directa o indirectamente de sus actividades. A diferencia del enfoque producto o servicio, donde se mide la huella de carbono de un bien específico, la gestión organizacional se enfoca en todas las fuentes de emisión bajo control operativo, financiero o legal de la organización (World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2004)

La lógica de este enfoque responde a varios objetivos simultáneos:

- Conocer el perfil de emisiones de la empresa, lo que permite comprender qué procesos son más intensivos en carbono.
- Identificar oportunidades de reducción de emisiones, ya sea mediante eficiencia energética, cambio tecnológico o revisión de procesos.
- Preparar a la organización para exigencias futuras, como auditorías ambientales, licitaciones con criterios ESG o regulaciones obligatorias.
- Mejorar la transparencia y credibilidad, fortaleciendo la relación con clientes, inversionistas, instituciones públicas y la comunidad.

Para implementar esta gestión, se han desarrollado herramientas estandarizadas que permiten a las organizaciones cuantificar sus emisiones de forma homogénea y verificable.

Las más utilizadas a nivel internacional son el GHG Protocol y la norma ISO 14064-1, ambas alineadas en principios fundamentales, aunque con diferencias metodológicas y niveles de profundidad. Estas herramientas proporcionan marcos de referencia para que las empresas estructuren sus sistemas de medición, establezcan límites organizacionales, clasifiquen sus fuentes por tipo de emisión (directa o indirecta), y reporten sus resultados con trazabilidad.

Un elemento central de este enfoque es la clasificación de las emisiones por alcances:

- **Alcance 1:** emisiones directas provenientes de fuentes que son propiedad de la organización o están bajo su control (ej. combustión de combustible en aeronaves, vehículos o generadores).
- **Alcance 2:** emisiones indirectas derivadas del consumo de electricidad, vapor, calefacción o refrigeración adquirida externamente.
- **Alcance 3:** todas las demás emisiones indirectas que ocurren en la cadena de valor de la organización (ej. transporte de terceros, ciclo de vida de productos, viajes de negocios, disposición final).

Esta clasificación es ampliamente utilizada en reportes corporativos, análisis de riesgos climáticos y estrategias de reducción, y constituye la base para la implementación progresiva de sistemas de gestión de carbono. La mayoría de las organizaciones comienzan midiendo sus emisiones de alcance 1 y 2, por ser más trazables y estar bajo control directo, e incorporan el alcance 3 en fases posteriores a medida que se consolida la gestión interna.

En el caso específico de operadores aéreos como Aerocardal, la aplicación de este enfoque permite sistematizar información que ya se encuentra parcialmente disponible (bitácoras de vuelo, consumo de combustible, consumo eléctrico), transformándola en un sistema técnico de medición que habilita a la organización para reportar sus emisiones y tomar decisiones basadas en evidencia.

La adopción de este tipo de herramientas por parte de empresas de aviación no regular representa una oportunidad de alinearse con buenas prácticas internacionales, sin necesidad de implementar sistemas de gestión ambiental complejos o costosos. Como demuestra esta memoria, es posible desarrollar un sistema de medición organizacional de emisiones GEI a escala mediana, basado en estándares reconocidos, y orientado a la mejora progresiva, la transparencia operativa y el posicionamiento estratégico.

2.2.2. NORMA ISO 14064-1:2018

La norma ISO 14064-1:2018 es uno de los principales marcos normativos internacionales para la cuantificación y reporte de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel organizacional. Forma parte de la familia ISO 14000 de normas ambientales, y fue diseñada con el propósito de entregar directrices técnicas y metodológicas claras, consistentes y verificables, permitiendo a organizaciones de cualquier tamaño medir su huella de carbono institucional y reportarla bajo principios universalmente reconocidos (International Organization for Standardization, 2018).

La versión 2018 de la norma que actualiza y reemplaza la edición original de 2006 introduce mejoras sustantivas en cuanto a precisión, transparencia y trazabilidad de los resultados. Se alinea con los avances metodológicos del GHG Protocol, las directrices del (IPCC, 2021), y los requerimientos emergentes en materia de transparencia climática exigidos por organismos como CDP y la (Task Force On Climate - Related Financial Disclosures, 2017).

Estructura general de la norma y requisitos

La definición de los requisitos se da por definir los límites de la organización. Los cuales pueden ser 2 principales, el *enfoque de control*, que básicamente la organización reporta todas las operaciones de las cuales posee control directo, ya sea control operacional o financiero. Y, por otro lado, *el enfoque de participación de capital*, en donde la organización reporta una porción de las emisiones de las entidades en las que tiene una participación de capital, proporcional a su porcentaje de propiedad. Dentro de esto límites, se identifican todas las fuentes de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), clasificándolas en las ya mencionadas anteriormente Alcance 1, Alcance 2 y Alcance 3.

ISO 14064-1:2018 establece un proceso ordenado para cuantificar y reportar emisiones de GEI a nivel organizacional, dividido en nueve secciones principales:

1. *Ámbito de aplicación y términos.*
2. *Principios metodológicos fundamentales.*
3. *Definición de límites organizacionales y operacionales.*
4. *Identificación de fuentes y sumideros de emisiones.*
5. *Recolección de datos y aplicación de factores de emisión.*
6. *Cuantificación de emisiones por alcance (1, 2 y 3).*

7. Tratamiento de incertidumbre y supuestos.
8. Documentación, trazabilidad y verificabilidad.
9. Elaboración del informe de emisiones organizacionales.

Esta estructura permite implementar un sistema paso a paso, que va desde la delimitación del inventario hasta la generación de informes compatibles con auditorías internas o verificaciones externas.

Principios metodológicos

La norma se basa en cinco principios rectores que aseguran la calidad y la confiabilidad del sistema:

- **Relevancia:** se deben incluir todas las fuentes de emisión que puedan influir significativamente en el inventario y se deben reflejar con precisión adaptadas a las necesidades de quienes utilizan los datos.
- **Compleitud:** todas las emisiones relevantes dentro de los límites organizacionales y operacionales deben ser consideradas. Esto garantiza que no se subestime la huella climática de la organización.
- **Consistencia:** se deben aplicar criterios uniformes a lo largo del tiempo, permitiendo comparabilidad entre distintos años.
- **Transparencia:** se deben documentar y justificar los supuestos, metodologías, exclusiones, fuentes de datos y decisiones técnicas. Esto permite la revisión y eventual verificación por terceros.
- **Precisión:** se deben minimizar los errores sistemáticos e incertidumbres en la medida de lo posible, utilizando datos confiables y factores de emisión reconocidos.

Estos principios no solo orientan la elaboración del inventario, sino que también son fundamentales para el diseño de un sistema que sea auditable y mejorable en el tiempo.

Ventajas de su aplicación en operadores medianos

Una de las características más destacables de la norma ISO 14064-1 es su flexibilidad y escalabilidad. A diferencia de otras certificaciones ambientales como ISO 14001 (que requiere un sistema de gestión ambiental completo), esta norma permite desarrollar un sistema de medición de GEI autónomo, sin necesidad de modificar todos los procesos de la

empresa, lo cual resulta ideal para operadores de tamaño medio o empresas no reguladas formalmente.

Para organizaciones como Aerocardal, esta norma entrega una guía clara para construir un sistema interno que:

- Se adapte a la disponibilidad actual de datos operacionales (bitácoras de vuelo, consumo de energía, planillas de combustible).
- Sea compatible con futuras auditorías o procesos de verificación externa.
- Permita comparar resultados en el tiempo y establecer una línea base verificable.
- Sea replicable en otras unidades de negocio o empresas del sector.

Además, al estar basada en estándares internacionales ampliamente reconocidos, su adopción facilita la comunicación con clientes institucionales, entidades públicas o financieras que requieren información ambiental validada.

Compatibilidad con otras herramientas y certificaciones

ISO 14064-1 es totalmente compatible con el GHG Protocol, ya que ambos modelos comparten principios, categorías de alcance y metodología general. También se alinea con las exigencias de plataformas de reporte voluntario como CDP, y con marcos emergentes de divulgación climática como el estándar IFRS S2 de la International Sustainability Standards Board (ISSB).

Esto significa que una empresa que implemente esta norma queda preparada para ampliar sus esfuerzos hacia certificaciones más exigentes en el futuro, si así lo desea, y mejora significativamente su gobernanza climática desde una etapa temprana.

2.2.3. GHG PROTOCOL

El GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol) es el marco metodológico más utilizado a nivel mundial para la contabilización y reporte de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por parte de organizaciones, proyectos y productos. Fue desarrollado a fines de la década de 1990 por el World Resources Institute (WRI) y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), y desde entonces se ha convertido en el estándar de facto en la contabilidad corporativa de carbono, utilizado por empresas, gobiernos, ONGs, inversionistas y certificadoras en más de 90 países (World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development, 2004).

Su relevancia radica en que ofrece una metodología flexible, accesible y ampliamente reconocida, que permite a las organizaciones iniciar procesos de cuantificación de emisiones aún sin tener certificaciones formales. Asimismo, su estructura es completamente compatible con la norma ISO 14064-1, lo que permite a las empresas utilizar el GHG Protocol como punto de partida y escalar posteriormente hacia sistemas más robustos, como el propuesto en esta memoria.

Estructura general del GHG Protocol

El GHG Protocol organiza las emisiones en tres categorías o alcances, que son fundamentales para estructurar un inventario organizacional:

- **Alcance 1: Emisiones directas:** Son aquellas que provienen de fuentes que son propiedad de la organización o que están bajo su control. Incluye la combustión de combustibles fósiles en procesos, vehículos o maquinaria propia, y emisiones fugitivas como las de sistemas de refrigeración o extintores.
- **Alcance 2: Emisiones indirectas por energía adquirida:** Corresponde a las emisiones generadas por la producción de electricidad, vapor, calefacción o refrigeración que la organización compra y consume, aunque no controla su producción. Se contabilizan por el consumo total y se multiplican por el factor de emisión correspondiente al sistema eléctrico del país o proveedor.
- **Alcance 3: Otras emisiones indirectas:** Incluye todas las demás emisiones indirectas que no son propiedad de la organización, pero que están asociadas a sus actividades, como el transporte de insumos y productos, viajes de negocios, disposición final de residuos, uso de productos vendidos, servicios subcontratados, entre otros.

Esta clasificación ha sido ampliamente adoptada en los reportes de sostenibilidad corporativa, ya que permite identificar las fuentes más significativas de emisiones, priorizar acciones de mitigación y establecer indicadores de desempeño ambiental con comparabilidad internacional.

Lineamientos metodológicos

El GHG Protocol establece directrices claras sobre:

- Cómo definir los límites organizacionales (control financiero, control operacional o participación en propiedad).
- Cómo establecer los límites del inventario.
- Qué tipo de datos utilizar (primarios o secundarios).
- Cómo aplicar factores de emisión.
- Cómo manejar la incertidumbre y documentar exclusiones.
- Cómo presentar los resultados de forma clara, transparente y verificable.

Además, el protocolo pone a disposición del público una serie de herramientas sectoriales y hojas de cálculo que permiten calcular emisiones específicas (por tipo de combustible, vehículo, energía, etc.), lo que facilita su aplicación incluso en organizaciones sin experiencia previa en contabilidad de carbono.

Compatibilidad con ISO 14064-1

La relación entre el GHG Protocol y la norma ISO 14064-1:2018 es complementaria. Ambos utilizan la misma tipología de alcances y comparten principios como relevancia, consistencia, transparencia y completitud. Sin embargo, mientras el GHG Protocol actúa como una guía práctica orientada a la acción, la ISO 14064-1 entrega una estructura formal más exigente en trazabilidad y verificabilidad, lo que la hace más apropiada cuando se busca consolidar un sistema interno formal o preparar un proceso de auditoría externa.

En este sentido, muchas empresas como se propone en esta memoria para Aerocardal comienzan midiendo sus emisiones con herramientas del GHG Protocol, para luego estructurar sus sistemas bajo la norma ISO 14064-1. Esta progresión metodológica permite reducir barreras de entrada, ganar experiencia interna y asegurar que los datos recopilados cumplan desde el inicio con estándares internacionales.

Aplicabilidad al caso Aerocardal

En el caso específico de Aerocardal, el GHG Protocol constituye una herramienta fundamental de referencia para:

- Validar las fuentes de emisión más relevantes para Alcance 1 y 2.
- Comparar metodologías existentes con otras empresas del rubro.
- Seleccionar factores de emisión estandarizados para combustibles de aviación, electricidad y transporte terrestre.
- Apoyar la elaboración inicial del inventario GEI en etapas tempranas de desarrollo.

Además, la disponibilidad de recursos gratuitos en español y la compatibilidad con plataformas públicas como HuellaChile, desarrollada por el Ministerio del Medio Ambiente de Chile, refuerza la utilidad del GHG Protocol como base para la implementación local de sistemas de medición de emisiones en empresas medianas del sector aeronáutico (Ministerio del Medio Ambiente, 2022).

2.2.4. DIRECTRICES DEL PANEL INTERGUBERNAMENTAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), por sus siglas en inglés es la principal autoridad científica internacional en materia de cambio climático. Fundado en 1988 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el IPCC proporciona evaluaciones periódicas del estado del conocimiento científico, técnico y socioeconómico sobre el cambio climático, sus causas, impactos y posibles respuestas.

Uno de los productos más relevantes del IPCC en el ámbito de la contabilidad de emisiones es el conjunto de “Directrices para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero”, cuya versión más reciente fue publicada en 2018, complementando la edición base del año 2006. Estas directrices ofrecen una metodología estandarizada para calcular las emisiones de GEI por país, sector y fuente, y son utilizadas por los Estados parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) para reportar sus inventarios nacionales (IPCC, 2021).

Aunque estas directrices están orientadas principalmente a la escala nacional, también son ampliamente utilizadas por empresas y organizaciones para definir los factores de emisión que permiten convertir la actividad operativa (por ejemplo, litros de combustible consumido) en toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_{2e}). Esto se debe a que los factores de emisión del IPCC están respaldados científicamente, son actualizados periódicamente y ofrecen una base técnica coherente con los principios de transparencia, comparabilidad y precisión exigidos por normas como la ISO 14064-1 y el GHG Protocol.

Factores de emisión y aplicabilidad práctica

Un factor de emisión es un coeficiente que expresa la cantidad de GEI emitido por unidad de actividad. En el caso de combustibles, se expresa típicamente en kilogramos o toneladas de CO₂ por litro, galón, kilogramo o metro cúbico consumido. El IPCC ofrece factores para una amplia gama de combustibles y tecnologías, entre ellos:

- **Jet A1:** 3,15 kg CO₂/litro.
- **Avgas (gasolina de aviación):** 3,10 kg CO₂/litro.
- **Diésel:** 2,68 kg CO₂/litro.
- **Gasolina automotriz:** 2,31 kg CO₂/litro.

Estos valores se calculan en base a la composición química del combustible y su poder calorífico inferior, considerando una combustión completa en condiciones estándar. Además, el IPCC entrega factores para otros GEI como metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (NO_x), y proporciona los potenciales de calentamiento global (GWP) de cada gas para su conversión a CO₂ equivalente.

Para empresas del sector aeronáutico, como Aerocardal, estos factores permiten cuantificar con precisión las emisiones generadas por:

- El consumo de Jet A1 y Avgas en aeronaves.
- El uso de diésel y gasolina en vehículos de apoyo terrestre.
- El funcionamiento de generadores y GPU en tierra.

En la presente memoria, los factores del IPCC son utilizados como referencia primaria para la cuantificación de emisiones de alcance 1, ya que permiten calcular directamente el impacto de las fuentes bajo control operacional de la empresa.

Fortalezas del enfoque IPCC

La aplicación de los factores del IPCC presenta varias ventajas metodológicas:

- **Estándar global:** Son utilizados por gobiernos y organismos internacionales, lo que permite comparabilidad internacional.
- **Compatibilidad con normas ISO y GHG Protocol:** Se ajustan a los requisitos de trazabilidad y consistencia de ambos marcos.
- **Accesibilidad:** Están disponibles públicamente y son de fácil aplicación para empresas sin experiencia previa.
- **Actualización periódica:** El IPCC revisa y publica nuevas versiones conforme avanza el conocimiento científico.

En el caso de Aerocardal, utilizar estos factores representa una forma de elevar el rigor técnico de la medición, asegurando que el sistema de cuantificación implementado no dependa de estimaciones arbitrarias o factores locales poco verificados.

Limitaciones y criterios de selección

Aunque los factores del IPCC son ampliamente utilizados, es importante considerar que:

- Representan valores promedio globales, por lo que pueden no reflejar con exactitud condiciones locales o tecnologías específicas.
- En casos donde existan factores nacionales oficiales como los publicados por el Ministerio del Medio Ambiente de Chile, se recomienda priorizarlos si están validados metodológicamente.
- La empresa debe documentar la fuente exacta del factor, el año de publicación y el contexto de aplicación, como exige la norma ISO 14064-1 (Sección 7).

2.2.5. COMPARACIÓN ENTRE ISO 14064-1 Y GHG PROTOCOL

Tanto la norma ISO 14064-1:2018 como el GHG Protocol son los marcos metodológicos más reconocidos y utilizados a nivel global para la cuantificación y reporte de emisiones organizacionales de gases de efecto invernadero (GEI). Ambas herramientas han sido adoptadas por miles de empresas e instituciones, y si bien comparten una base conceptual común como la clasificación de emisiones por alcances y los principios de transparencia y consistencia, presentan diferencias relevantes en su nivel de formalidad, propósito y aplicabilidad.

Similitudes fundamentales

Ambos marcos:

- Promueven el enfoque de gestión organizacional de emisiones.
- Clasifican las emisiones en Alcance 1, 2 y 3.
- Se basan en principios como relevancia, completitud, precisión, transparencia y coherencia.
- Permiten a las organizaciones establecer una línea base, generar inventarios de emisiones y mejorar progresivamente su desempeño climático.
- Son compatibles entre sí, lo que facilita la transición desde uno hacia el otro o su aplicación simultánea.

Diferencias clave

Las principales diferencias radican en su naturaleza, nivel de exigencia técnica, y orientación de uso. Mientras el GHG Protocol funciona como una guía práctica y flexible, pensada para facilitar la adopción inicial por parte de empresas de distintos tamaños, la ISO 14064-1 se presenta como una especificación técnica formal, orientada a la implementación de sistemas robustos que puedan ser verificados interna o externamente.

A continuación, se presenta un cuadro comparativo que resume sus características principales:

Criterio	ISO 14064-1:2018	GHG Protocol
Naturaleza del Documento	Norma Técnica Internacional (ISO)	Guía metodológica desarrollada por WRI y WBCSD
Enfoque	Formal, Estructurado, Orientado a Sistemas Verificables	Práctico, Flexible, Orientado a Autoevaluación
Clasificación de Emisiones	Alcance 1, 2 y 3	Alcance 1, 2 y 3
Principios Metodológicos	Relevancia Completitud, Consistencia, Precisión, Transparencia	Idénticos: Definidos en el Corporate Standard
Requisitos de Documentación	Elevados: Trazabilidad, Suposiciones, Tratamiento de Incertidumbre	Moderados: Énfasis en Claridad y Justificación Básica
Verificabilidad	Totalmente Compatible con Auditorías Externas	Pensado Para Uso Interno, Pero Puede Complementarse con ISO.
Certificación Posible	Si (Voluntaria)	No: No es Certificable, Pero Puede Integrarse a reportes ESG
Aplicabilidad de Aerocardal	Ideal Para Estructurar un Sistema Técnico Institucionalizado	Util Como Herramienta de Apoyo y Como Paso Previo

Tabla 2.2.5.1: Comparación entre ISO14064-1:2018 y GHG Protocol. Fuente: Elaboración Propia.

Justificación metodológica para esta memoria

En el caso de Aerocardal, se ha optado por utilizar la norma ISO 14064-1 como marco principal de implementación, dado que el objetivo del proyecto no es solo realizar una medición puntual de emisiones, sino diseñar e institucionalizar un sistema interno de medición, gestión y reporte GEI que pueda sostenerse en el tiempo, replicarse y eventualmente verificarse o certificarse. La estructura exigente pero adaptable de la ISO 14064-1 permite construir un inventario confiable, trazable y alineado con futuras auditorías internas o externas.

El GHG Protocol, en cambio, se utiliza como herramienta complementaria. Sus hojas de cálculo, ejemplos prácticos y herramientas sectoriales son particularmente útiles para seleccionar factores de emisión, definir límites organizacionales y estimar las emisiones iniciales. Además, su compatibilidad con plataformas como HuellaChile facilita su uso como puente metodológico entre lo operativo y lo normativo.

En definitiva, ambos marcos se integran de forma complementaria: el GHG Protocol aporta la practicidad y herramientas iniciales, mientras que ISO 14064-1 proporciona el marco técnico estructurado sobre el cual se construye el sistema que esta memoria propone implementar en Aerocardal.

2.2.6. ROL DE LOS FACTORES DE EMISIÓN Y ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE

Dentro de los sistemas de medición de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), los factores de emisión y el tratamiento de incertidumbre constituyen elementos técnicos esenciales para asegurar la exactitud, trazabilidad y credibilidad de los resultados obtenidos. Ambos componentes están contemplados explícitamente en la norma ISO 14064-1:2018 (secciones 7 y 8), así como en el GHG Protocol, y son fundamentales para construir inventarios verificables y comparables en el tiempo.

Factores de emisión: definición y jerarquización metodológica

Un factor de emisión (FE) es un coeficiente técnico que permite convertir una actividad (como litros de combustibles o kWh consumidos) en una cantidad estimada de gases de efecto invernadero emitidos, generalmente expresada en toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e).

Estos factores pueden derivarse de diversas fuentes Para ordenar su aplicabilidad y credibilidad, el IPCC establece una jerarquía por niveles o “Tiers”, que también ha sido adoptada por el GHG Protocol y la norma ISO:

Nivel (Tier)	Descripción	Ejemplo
Tier 1	Factores por defecto genéricos, publicados por el IPCC.	Jet A1: 3,15 [kg CO ₂ /litro]
Tier 2	Factores nacionales específicos por tipo de combustible y tecnología	Electricidad en Chile: 0,33 kg [CO ₂ /kWh]
Tier 3	Factores propios, desarrollados con datos medidos directamente por la empresa	Ensayo técnico para determinar FE real de un GPU

Tabla 2.2.6.1: Niveles de factores que comparten GHG Protocol y la norma ISO. Fuente: Elaboración propia.

En el caso de AeroCardal, se utilizarán factores de emisión provenientes del IPCC y del GHG Protocol, por su reconocimiento internacional, solidez científica y compatibilidad

con la norma ISO 14064-1. Asimismo, se considerará el uso de factores nacionales disponibles para el consumo de electricidad, como los publicados anualmente por el Ministerio de Energía, que permiten ajustar los cálculos al mix energético chileno, aumentando la precisión del inventario.

Criterios para la selección de factores en Aerocardal

Para cada fuente de emisión identificada, se ha definido un criterio de selección del factor de emisión aplicable:

Jet A1 y Avgas se utilizarán los factores de emisión por defecto del IPCC (Tier 1), dado que no existe una base de datos nacional con valores más específicos. El Diesel y la Gasolina se utilizarán valores del GHG Protocol (equivalentes al Tier 1 del IPCC), por ser ampliamente utilizados en inventarios organizacionales. Y finalmente en la Electricidad se aplicará el factor de emisión nacional más reciente publicado por el Ministerio de Energía (Tier 2), ajustado al año base.

Tratamiento y estimación de la incertidumbre

La incertidumbre en un sistema de medición GEI se refiere al grado de confianza en los datos y cálculos empleados, y puede tener origen en múltiples dimensiones como los datos operacionales incompletos o estimados, factores de emisión genéricos no ajustados a condiciones locales, supuestos metodológicos sin verificación e incluso errores de registro, transcripción o cálculo.

La norma ISO 14064-1:2018 establece en su sección 8 que las organizaciones deben identificar, evaluar y documentar las fuentes de incertidumbre más relevantes de su inventario, y cuando sea posible, cuantificarlas o clasificarlas cualitativamente.

Existen dos formas principales de abordar esta exigencia:

1. *Enfoque cuantitativo*: se estima la incertidumbre en términos porcentuales o con intervalos de confianza (por ejemplo, $\pm 5\%$). Requiere modelos estadísticos y series de datos amplias.
2. *Enfoque cualitativo*: se clasifica la confiabilidad de cada componente como alta, media o baja, justificando en cada caso. Esta opción es más apropiada para organizaciones que están en etapas iniciales de implementación.

En el caso de Aerocardal, dada la naturaleza y madurez del sistema, se propone iniciar con un enfoque cuantitativo, donde:

- Se considerará una incertidumbre asociada al factor de emisión y otro a la obtención del dato, los cuales, a través de un cálculo simple, que será detallado más adelante se obtiene la incertidumbre total del inventario de gases de efecto invernadero.

El tratamiento formal de la incertidumbre no busca eliminar el error, sino hacerlo visible, controlable y mejorable. De esta forma, la empresa puede establecer estrategias para fortalecer la trazabilidad de los datos, actualizar los factores de emisión utilizados, o implementar controles de calidad interna más rigurosos en etapas futuras del sistema.

3. CAPITULO III: DESARROLLO

3.1. DESARROLLO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN AEROCARDAL

El diseño e implementación del sistema de medición, gestión y reporte de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la empresa Aerocardal, siguiendo los lineamientos establecidos por la norma ISO 14064-1:2018. A partir de los antecedentes normativos, técnicos y contextuales abordados en los capítulos anteriores, se propone una metodología estructurada en cinco fases secuenciales, adaptadas a la realidad operativa de una empresa de aviación no regular en Chile.

El objetivo principal de este capítulo es traducir los principios y requisitos normativos en acciones concretas y aplicables, integrando elementos operacionales, datos reales disponibles, prácticas internas, y criterios técnicos compatibles con procesos de verificación futura. Cada fase contempla elementos de diagnóstico, desarrollo, validación y mejora, permitiendo a Aerocardal construir un sistema robusto, transparente y replicable en el tiempo.

3.1.1. FASE 1: DIAGNÓSTICO Y PREPARACIÓN

La primera fase del sistema propuesto consiste en establecer las bases metodológicas, organizacionales y operativas necesarias para implementar un inventario de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) conforme a la norma ISO 14064-1:2018. Esta etapa tiene por objetivo comprender el estado actual de Aerocardal en relación con la gestión de emisiones, identificar las fuentes significativas, definir los límites del sistema e instalar una estructura mínima de gestión interna, con el fin de asegurar la trazabilidad, viabilidad y mejora continua del sistema.

Esta fase fue esencial para construir un sistema de medición coherente con las operaciones reales de la empresa, y se basó en una estructura progresiva que incluyó la caracterización operativa de Aerocardal, la identificación de fuentes emisoras, la definición de los límites organizacionales y operacionales, y la conformación del equipo responsable para la implementación del sistema.

3.1.1.1. DESCRIPCIÓN OPERATIVA DE AEROCARDAL

Aerocardal es una empresa chilena de aviación no regular con base operativa en el Aeropuerto Arturo Merino Benítez de Santiago. Su modelo de negocio se centra en servicios de vuelos ejecutivos, transporte aeromédico, vuelos chárter corporativos y misiones logísticas para clientes públicos y privados. Su operación se caracteriza por la flexibilidad operativa, diversidad de rutas, y atención personalizada, lo que la distingue de las aerolíneas regulares tradicionales.

La flota aérea de Aerocardal está compuesta por aeronaves de diferentes capacidades y tecnologías:

Helicópteros	Turbohélices	Jets Ejecutivos	Pilatus
2 Agusta A109S	3 Dornier 228	2 Gulfstream G150	1 PC-12
2 Agusta A109	1 Let 410 NG	1 Gulfstream G280	1 PC-24
1 Agusta A109E			

Tabla 3.1.1.1.1: Resumen de las aeronaves operativas consideradas de Aerocardal. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa Aerocardal.

Estas aeronaves presentan perfiles de consumo energético diferenciados, dependiendo del tipo de misión, autonomía, peso de despegue, eficiencia operativa y duración del vuelo. Esta diversidad plantea complejidad adicional para la medición de emisiones, pero también representa una oportunidad para diseñar un sistema flexible y ajustado a las particularidades de cada tipo de aeronave. Adicionalmente, la empresa dispone de una infraestructura terrestre operacional y administrativa que incluye hangares, oficinas, salas de planificación, bodegas, talleres y áreas de descanso, donde se consume energía eléctrica para iluminación, climatización, equipos de cómputo y apoyo técnico.

La operación en tierra de Aerocardal incluye equipos y vehículos que también constituyen fuentes significativas de emisión:

- **Unidades de potencia en tierra (GPU):** 6 unidades eléctricas (uno de 300^a, cuatro de 400^a, uno de 600^a, todos de 28V) y un GPU a petróleo con salidas de 28V y 115V.
- **Vehículos de remolque y tracción:** un mototoc eléctrico autónomo con control remoto, una motoroja¹ a bencina, y un lectro eléctrico².
- **Transporte interno:** un carro de golf eléctrico y una van a petróleo para el movimiento interno de personal y una camioneta que pertenece al CMA.
- **Suministro de combustible:** 3 camiones petroleros de propiedad de la empresa, utilizados para abastecer las aeronaves directamente.

Estos activos operativos, al estar bajo control operacional directo de Aerocardal, deben ser considerados en el sistema de medición GEI, específicamente como fuentes de emisiones de alcance 1, conforme a la clasificación de la norma ISO 14064-1.

3.1.1.2. IDENTIFICACIÓN DE FUENTES DE EMISIÓN RELEVANTES

Con base en la información operativa y en los lineamientos metodológicos del GHG Protocol y la ISO 14064-1, se identifican las siguientes fuentes de emisión agrupadas por alcance:

Alcance 1 Emisiones directas (bajo control de la organización):

- Consumo de combustible aeronáutico Jet A1 en aeronaves propias.
- Consumo de diésel y gasolina en vehículos terrestres y camiones abastecedores.
- Gases refrigerantes utilizados dentro de las instalaciones administrativas de Aerocardal.

¹Se nombra así por la empresa para efectos de identificación.

²Se nombra así por la empresa para efectos de identificación.

Alcance 2 Emisiones indirectas (energía adquirida):

- Consumo de electricidad en oficinas, hangares, talleres y demás instalaciones que utilizan energía de la red nacional. El cálculo se basará en los factores de emisión del sistema eléctrico chileno.
- Hay que mencionar también que Aerocardal posee paneles solares que, si bien no son una fuente de emisión de gases de efecto invernadero, si son una fuente de reducción ya que el consumo se utiliza en las mismas instalaciones de la organización.

Alcance 3 Emisiones indirectas no incluidas:

- Transporte subcontratado, viajes de negocios, servicios de mantenimiento externos, residuos y ciclo de vida de insumos. Estas fuentes serán excluidas en esta fase, pero reconocidas como elementos a integrar en futuras versiones del sistema.

3.1.1.3. DEFINICIÓN DE LÍMITES ORGANIZACIONALES Y OPERACIONALES

La ISO 14064-1 exige definir dos tipos de límites para delimitar correctamente el inventario:

- **Límites organizacionales:** Se adopta el enfoque de control operacional, incluyendo todas las unidades, equipos, instalaciones y procesos en los que Aerocardal tiene autoridad para establecer políticas operativas y de mantenimiento.
- **Límites operacionales:** El inventario se concentrará en las emisiones de alcance 1 y 2, directamente asociadas al consumo de combustible y electricidad.

Las emisiones de alcance 3 no serán consideradas en esta primera implementación debido a la falta de trazabilidad y recursos metodológicos internos para cuantificarlas de forma fiable.

Esta delimitación permite garantizar la consistencia, precisión y completitud del sistema, asegurando que los resultados reflejen únicamente las emisiones que Aerocardal puede gestionar y controlar directamente.

3.1.1.4. CONFORMACIÓN DEL EQUIPO RESPONSABLE DEL SISTEMA DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

La norma ISO 14064-1:2018, en su sección 6.2, establece la necesidad de definir claramente las responsabilidades y autoridades internas asociadas a la implementación y mantenimiento del sistema de gestión de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En el caso de Aerocardal, se propone una estructura funcional adaptada a su tamaño y características operacionales, integrando a las áreas estratégica relacionadas directa o indirectamente con las fuentes de emisión y la disponibilidad de los datos.

Debido a la extensión del organigrama general de la empresa, a continuación, se presentan los principales responsables para la implementación del sistema de gestión de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), y se remite a partir del Anexo N°2 para la visualización completa del organigrama institucional.

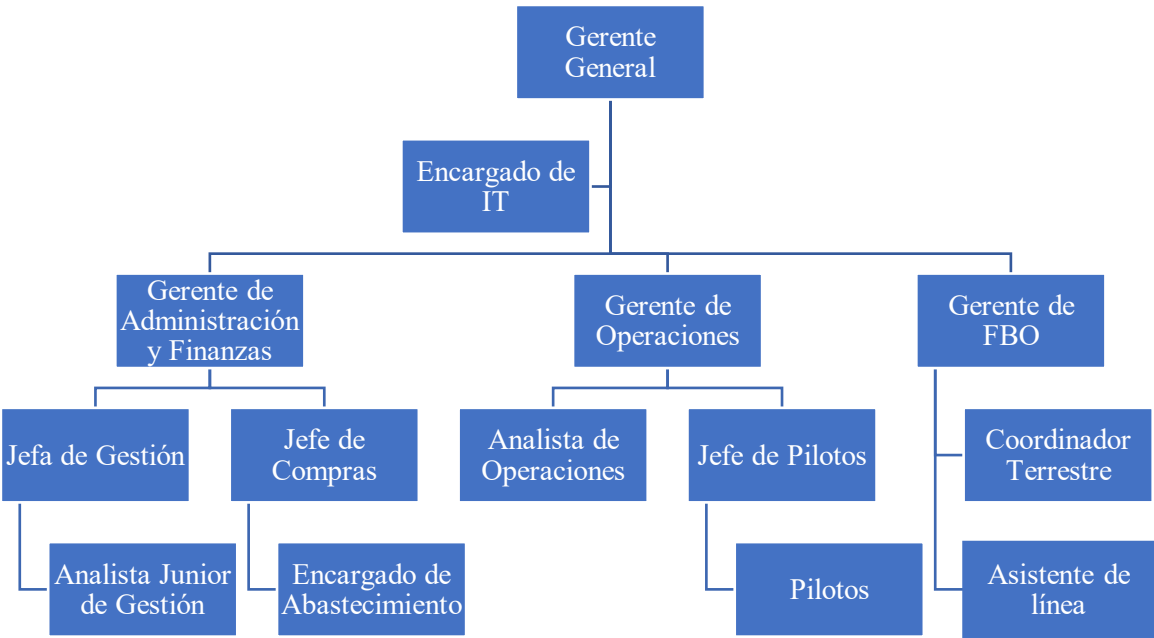


Ilustración 3.1.1.4.1: Organigrama con los principales responsables de Implementar la Norma ISO 14064-1. Fuente: Elaboración Propia.

- El gerente general será el encargado de aprobar el proyecto, definiendo el compromiso organizacional y la provisión de recursos. La alta dirección es responsable de establecer los límites organizacionales y supervisar la veracidad del inventario de GEI.
- El Gerente de Administración y Finanzas tiene la responsabilidad de la validación de los datos financieros y la obtención de consumo eléctrico. Además, puede

apoyar en la gestión documental, consolidación de datos, y análisis de incertidumbres.

- Jefa de Gestión debe ser la encargada de coordinar y gestionar la implementación de la ISO 14064-1 además de validar el informe generado por el analista junior.
- Analista de Gestión Junior es el encargado de generar el inventario de Gases de Efecto Invernadero, junto con elaborar el informe.
- Jefe de Compras es quien debe supervisar los abastecimientos de distintas fuentes de emisión tales como combustible terrestre y gases refrigerantes.
- Encargado de abastecimiento es quien prevé y gestiona combustible para maquinaria menor, además de tener contacto directo con proveedor de los gases refrigerantes.
- El Gerente de Operaciones tiene la responsabilidad de la consolidación de datos de combustibles de Aeronaves y operaciones relacionadas. Debe estar encargado de la verificación de los consumos reales, asignación de fuentes móviles y control de actividades operacionales.
- Analista de Operaciones es el encargado de controlar las bitácoras de vuelo y manipular la correcta introducción al sistema qlikview y workflow utilizados por la empresa.
- Jefe de pilotos debe supervisar que las bitácoras se lleven a cabo de manera correcta en cada una de las operaciones realizadas por Aerocardal.
- El Gerente de FBO tiene la responsabilidad de apoyar en los datos de consumo eléctrico de equipos en tierra. Además, debe ser responsable de la identificación de fuentes fijas y móviles auxiliares, ayudando al soporte del inventario de emisiones indirectas.
- Asistente de línea es el encargado de utilizar el combustible de los vehículos terrestres por lo que debe tener consideración a la hora de recargar estos vehículos en las instalaciones de Aerocardal.
- Encargado IT es quien debe dar soporte en la trazabilidad de datos para el procesamiento de datos.

Para complementar lo descrito anteriormente sea realizó una tabla resumen con roles, responsabilidad y tipo de emisión asociada.

CARGO	RESPONSABILIDADES PRINCIPALES	TIPO DE EMISIÓN ASOCIADA
GERENTE GENERAL	Aprobación del proyecto, provisión de recursos, supervisión de veracidad del inventario	Transversal (todos los alcances)
GERENTE DE ADMINISTRACIÓN Y FINANZAS	Validación de los datos financieros, obtención del consumo eléctrico, gestión documental	Alcance 2 / Apoyo Alcance 1 y 3
JEFA DE GESTIÓN	Coordinación de implementación, validación del informe del inventario	Transversal/ Coordinación General
ANALISTA JUNIOR DE GESTIÓN	Elaboración del inventario, cuantificación de emisiones, elaboración del informe final	Todos los alcances (construcción técnica)
JEFE DE COMPRAS	Supervisión de adquisiciones relacionadas con fuentes de emisión	Alcance 1 y 3.
ENCARGADO DE ABASTECIMIENTO	Gestión de combustibles para maquinaria menor, contacto con proveedores	Alcance 1
GERENTE DE OPERACIONES	Consolidación de consumo de aeronaves, asignación de fuentes móviles, control de operaciones	Alcance 1
ANALISTAS DE OPERACIONES	Gestión de bitácoras de vuelo, introducción de datos a Qlikview y Workflow	Alcance 1 (datos operacionales)
GERENTE DE FBO	Apoyo con consumo eléctrico de GPU y equipos de tierra, identificación de fuentes auxiliares	Alcance 1 y 2
AISTENTE DE LINEA	Uso y registro de consumo de vehículos terrestres	Alcance 1

ENCARGADO DE TI	Soporte en trazabilidad, respaldo y procesamiento de datos	Transversal / Apoyo técnico
-----------------	--	-----------------------------

Tabla 3.1.1.4.1.: Cuadro resumen de los cargos en Aerocardal, funciones dentro de la implementación de la ISO y el tipo de alcance. Fuente: Elaboración Propia.

3.1.1.5. ESTIMACIÓN DE LOS RECURSOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

La implementación de la norma ISO 14064-1:2018 en Aerocardal, orientada a la cuantificación, reporte y mejora del desempeño ambiental asociado a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), requiere una planificación estructurada que contemple tanto los aspectos técnicos como los recursos humanos y financieros involucrados. Si bien esta iniciativa representa un compromiso voluntario con la sostenibilidad, también constituye una inversión estratégica alineada con los desafíos actuales del sector aeronáutico y las crecientes exigencias normativas en materia de cambio climático.

Desde una perspectiva operacional, la implementación se proyecta en un horizonte de aproximadamente tres a cuatro meses. En este periodo deben desarrollarse diversas actividades clave, tales como la preparación organizacional, el levantamiento de información, la cuantificación de emisiones según alcances 1, 2 y eventualmente 3, la elaboración del inventario GEI y la redacción del informe técnico conforme a los lineamientos de la norma. Asimismo, se considera una fase final dedicada a la capacitación interna y la integración del sistema de gestión como parte de la mejora continua.

En términos de recursos humanos, se requiere la participación coordinada de distintas áreas de la empresa, entre ellas la Gerencia de FBO, Administración y Finanzas, Recursos Humanos, Abastecimiento, Contabilidad y Tecnología de la Información. Estos equipos deben colaborar con la recopilación de datos, validación de consumo, estructuración del inventario y análisis de los resultados. Se recomienda además que el Analista Junior y la Jefa de Gestión actúen como los coordinadores ambientales internos liderando el proceso de implementación con el fin de actuar como contraparte técnica ante asesores externos o entidades verificadoras.

Respecto a los costos estimados, se proyecta una inversión total entre 6,7 y 10,8 millones de pesos chilenos. Esta cifra considera gastos relacionados con la capacitación inicial del personal, la contratación de asesoría técnica especializada (en caso de no contar con capacidades internas suficientes), la gestión de datos para la elaboración del inventario, y la eventual validación externa del informe GEI. Adicionalmente, se incluyen recursos menores destinados a la difusión interna de resultados y al diseño de materiales para la

capacitación de los equipos operativos. Es importante destacar que esta inversión no debe interpretarse únicamente como un costo operacional, sino como una herramienta de mejora y posicionamiento estratégico. Asimismo, permite anticiparse a futuras regulaciones nacionales en materia de emisiones, mejora el acceso a licitaciones que exijan cumplimiento ambiental, y reforzar la reputación corporativa frente a clientes institucionales y organismos públicos.

En suma, la implementación de la norma ISO 14064-1 en Aerocardal es una iniciativa que, si bien exige un esfuerzo coordinado y una inversión acotada, abre una importante oportunidad para posicionar a la empresa en la vanguardia de la sostenibilidad operacional dentro del ámbito de la aviación ejecutiva en Chile. El retorno de esta inversión no solo puede observarse en términos económicos, sino también en su contribución a la gestión responsable del impacto ambiental de la organización, elemento cada vez más relevante para la continuidad y competitividad de las empresas del sector aeronáutico.

3.1.2. FASE 2: CUANTIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE EMISIONES

Una vez identificadas las fuentes de emisión y definidos los límites del sistema, la segunda fase del proyecto se enfoca en la cuantificación de emisiones organizacionales, es decir, el cálculo de las toneladas de CO₂ equivalente generadas por las operaciones de Aerocardal en el periodo definido como año base 2024. Esta cuantificación se realiza aplicando factores de emisión estandarizados sobre los datos de actividad recopilados desde las áreas operativas de la empresa. Además, esta fase considera la categorización de las emisiones en función de su tipo y grado de control, utilizando la estructura de alcances 1, 2 y 3 definida por el GHG Protocol e integrada en la norma ISO 14064-1. De esta forma, se construye una base técnica sólida para el desarrollo del inventario en la siguiente fase.

3.1.2.1. RECOLECCIÓN Y VALIDACIÓN DE DATOS DE ACTIVIDAD

El primer paso para cuantificar las emisiones consiste en recolectar los datos operacionales que representan el consumo de energía en cada una de las fuentes identificadas. Para garantizar su trazabilidad, estos datos deben ser obtenidos desde registros oficiales de la empresa, tales como:

- **Bitácoras de vuelo:** donde se consigna el consumo de combustible Jet A1 por aeronave y por ruta.
- **Reportes de abastecimiento y mantenimiento terrestre:** que incluyen consumo de gasolina y diésel en vehículos de apoyo y GPU.
- **Planillas internas de infraestructura:** con los registros mensuales de consumo eléctrico por factura.
- **Documentación de proveedores o servicios tercerizados,** en caso de datos indirectos.

Los datos recolectados deben cumplir con los principios de completitud, precisión y consistencia, y ser validados por las áreas responsables. En esta etapa también se identifican eventuales lagunas de datos, estimaciones necesarias y suposiciones que deberán documentarse en el inventario final.

3.1.2.2. APLICACIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN

Una vez consolidados los datos de consumo, se procede a su conversión a toneladas de dióxido de carbono equivalentes [tCO₂e] mediante la aplicación de factores de emisión seleccionados según criterios de oficialidad, coherencia técnica y compatibilidad ISO 14064-

1. Los principales factores utilizados en esta etapa son los siguientes:

FUENTE	FACTOR DE EMISIÓN	FUENTE
JET A1	3,15 [Kg CO ₂ /Litro]	IPCC
REFRIGERANTE R-410A	2.088 [Kg CO ₂ /Kg]	IPCC
DIÉSEL	2,64 [Kg CO ₂ /Litro]	GHG Protocol
GASOLINA AUTOMOTRIZ	2,31 [Kg CO ₂ /Litro]	GHG Protocol
ELECTRICIDAD EN CHILE	0,330[Kg CO ₂ /kWh]	Ministerio de Energía

Tabla 3.1.2.2.1.: Factores de emisión por cada fuente utilizada en Aerocardal: Fuente: Elaboración Propia.

Estos factores permiten estimar de forma estandarizada las emisiones generadas por las fuentes controladas por Aerocardal. En los casos donde existan fuentes menores o de difícil medición, como fugas de refrigerante o arranque de generadores por emergencia, se podrá aplicar el criterio de significancia y omitirlas si representan menos del 5 % del total estimado.

3.1.2.3. CLASIFICACIÓN POR ALCANCE

Según la estructura metodológica internacional, las emisiones se categorizan por alcance para determinar su grado de control y responsabilidad por parte de la organización:

- **Alcance 1 Emisiones directas:** Corresponden a todas las emisiones generadas por fuentes que son propiedad de Aerocardal o están bajo su control operacional. Esto incluye:
 - Combustión de Jet A1 en aeronaves.
 - Uso de diésel y gasolina en vehículos terrestres y camiones.
- **Alcance 2 Emisiones indirectas por energía adquirida:** Asociadas al consumo de electricidad adquirida de la red nacional, utilizada en las instalaciones de la empresa. Además de los paneles solares que posee Aerocardal para generación de energía sustentable y consumo propio.
- **Alcance 3 Otras emisiones indirectas (no incluidas):** Como se estableció en la fase de delimitación, en esta primera implementación no se cuantificarán emisiones de alcance 3 debido a la falta de datos y control sobre las fuentes (servicios contratados, viajes de negocio, transporte de terceros, etc.).

Esta clasificación permite que el sistema de Aerocardal sea compatible con los reportes exigidos por CDP, regulaciones emergentes y estándares de sostenibilidad (ESG), facilitando su futura integración a procesos de mejora, auditoría o certificación.

3.1.2.4. SELECCIÓN DEL AÑO BASE

La norma ISO 14064-1:2018 establece que cada organización debe definir un año base como punto de referencia para el seguimiento de sus emisiones en el tiempo. Este año sirve como línea de base para evaluar reducciones, tendencias y eficacia de medidas de mitigación.

Para Aerocardal se propone establecer el año 2024 como año base, considerando los siguientes criterios:

- Existencia de registros operacionales completos y validados.
- Estabilidad de las condiciones operativas (postpandemia).
- Representatividad de la actividad anual típica de la empresa
- Representatividad de la situación actual versus la proyección de renovación de flota.

Este año será utilizado como referencia para todos los cálculos y comparaciones futuras, y deberá mantenerse constante salvo que ocurran cambios estructurales significativos en las operaciones de la empresa.

3.1.3. FASE 3: DESARROLLO DEL INVENTARIO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

3.1.3.1. CONSOLIDACIÓN ESTRUCTURADA DE DATOS

Una vez cuantificadas las emisiones generadas por las operaciones de Aerocardal durante el año 2024, se procedió a consolidar los resultados en una estructura de inventario organizacional compatible con los requisitos de la norma ISO 14064-1:2018. Esta consolidación consistió en la organización, validación y presentación de los datos por fuente emisora, tipo de energía utilizada, unidad de consumo, factor de emisión aplicado y resultado final expresado en toneladas de dióxido de carbono equivalente [tCO₂e].

El objeto de esta etapa fue garantizar que el sistema de medición no solo produjera resultados numéricos, sino que los organizara de manera transparente, trazable y verificable. Para ello, se elaboró una matriz técnica que agrupa las emisiones por tipo de actividad, lo que permite su interpretación operativa como su revisión por auditores internos o externos en futuras etapas.

Cada línea se respalda con documentación técnica, para las aeronaves, los consumos fueron extraídos de las bitácoras de vuelo y validación con el área de planificación que están integradas en la plataforma Workflow, para los camiones y GPU's, los datos provinieron de los reportes de abastecimientos o facturas, validados con el área de FBO y el consumo eléctrico se obtuvo desde las facturas de suministro eléctrico mensual, gestionadas por el área administrativa. Las cantidades de gases refrigerantes se pidieron directamente al proveedor. Y finalmente los datos de la generación fotovoltaica a través de los paneles solares se obtuvieron por medio de la plataforma directa del proveedor (COPEC, con Goodwid)

El uso de la estructura tabular permitió detectar discrepancias en datos preliminares, corregir errores de unidades, y asegurar consistencia entre consumo de emisiones estimadas, Por ejemplo, se identificación diferencias entre el consumo declarado en bitácoras y el volumen total de combustible comprado en algunos meses, lo que resultó mediante revisión cruzada de registros con el área de abastecimiento. Además, cada fuente fue etiquetada con su alcance correspondiente (1 o 2), lo que permite en el inventario general separar con claridad las emisiones directas e indirectas. Esta distinción es esencial para reportes futuros ya que, varias plataformas de transparencia climática (como CDP, HuellaChile, o certificaciones ESG) exigen diferenciar claramente estos alcances.

La consolidación también consideró las exclusiones justificadas, que serán detalladas más adelante, como ciertas fuentes menores no trazables, o sin impacto significativo según el criterio de materialidad (<5 % del total estimado). Asimismo, cada cálculo de emisiones

fue documentado en una planilla de trabajo con fórmulas abiertas y referencias cruzadas, cumpliendo con el principio de transparencia establecido en la ISO 14064-1.

Finalmente, este inventario estructurado fue validado internamente por el equipo responsable del sistema GEI, y posteriormente presentado a la gerencia de Aerocardal como producto central del proceso de medición, constituyendo la línea base formal de emisiones de la empresa para el monitoreo futuro y toma de decisiones estratégicas.

3.1.3.2. DOCUMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA APLICADA

El desarrollo del inventario organizacional de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Aerocardal exigió la implementación de una metodología de cálculo técnicamente robusta, pero también una documentación exhaustiva del proceso seguido, en cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma ISO 14064-1:2018, particularmente en su sección 7. Esta documentación no solo permitió garantizar la trazabilidad de los resultados obtenidos, sino también facilitar su validación interna y futura replicabilidad, bajo principios de transparencia, precisión y coherencia metodológica.

Para organizar y calcular las emisiones de forma estructurada, se diseñó una planilla digital compuesta por múltiples secciones interrelacionadas, en la que se consolidaron los datos de actividad, los factores de emisión utilizados y los resultados obtenidos. Cada etapa del proceso de medición fue acompañada por una política de respaldo documental que asegura que los valores ingresados puedan ser auditados posteriormente, tanto por instancias internas como externas.

En relación con la obtención de datos de actividad, se definieron fuentes específicas según el tipo de consumo energético. En el caso del consumo electrónico, se accedió a las facturas mensuales emitidas por el proveedor de energía, descargadas desde el sistema SAP con apoyo del área de finanzas. Estos documentos permitieron registrar de manera precisa los [kWh] consumidos por las instalaciones administrativas, hangares y talleres diferenciados por periodo. Dentro de este consumo energético, se consideraron dos tractores eléctricos y 5 GPU eléctricos, dado que no se tenían registros diferenciados por cantidad de usos, horas de utilización, etc. Con respecto al consumo de combustibles de aeronaves, los registros fueron obtenidos desde Qlikview, una plataforma interna que consolida los datos de vuelo generados a partir de las bitácoras completadas por los pilotos. Esta fuente fue considerada de alta confiabilidad, ya que la bitácora de vuelo es un instrumento obligatorio y supervisado que refleja el consumo real de Jet A1 por parte de cada aeronave, ruta y jornada. Para el consumo de energía renovable generada por los paneles solares instalados en las dependencias de Aerocardal, se accedió directamente a la plataforma digital del proveedor, mediante

credenciales de usuario institucional. Esta herramienta entrego datos de producción energética por día, mes y año, permitiendo estimar la generación eléctrica total compensada durante el periodo de análisis. En cuanto a refrigerantes, se solicitaron los datos de recarga y tipo de gas utilizado directamente al proveedor de mantenimiento, vía correo electrónico. Si bien esta fuente no formaba parte del inventario histórico, fue integrada para ampliar la cobertura de fuentes potenciales de emisión, aunque su inclusión en los resultados se dejó pendiente para futuras mediciones, dado que aún no se contaba con una línea base verificable. Finalmente, el consumo de combustible de la van y la camioneta de uso interno representó un desafío metodológico, ya que estos vehículos no contaban con un registro automático, si bien todo vehículo de este tipo posee un contador de kilometraje, no se tenía la trazabilidad de los datos dentro de la bitácora para poder llevar a cabo el respaldo necesario y realizar la cuantificación de forma particular. Se optó por considerar de forma agregada estos vehículos junto con los 3 camiones abastecedores de combustible que posee Aerocardal, considerando que el combustible que se compra se utiliza.

Todos los datos fueron integrados en una planilla de cálculo estructurada, que contenía hojas específicas para el registro mensual de consumo, la aplicación de factores de emisión, el cálculo automático de [tCO₂e] y la consolidación anual por fuente y por alcance. Se aplicaron validaciones internas de consistencia, verificando que no existieran incongruencias entre unidades, (por ejemplo, litros mal tipificados como [kWh]), y que todos los datos tuvieran su respectivo respaldo en carpeta digital organizada por tipo de fuente y por mes. Asimismo, se implementó un control de versiones del archivo principal, donde se documentó cada modificación relevante realizada durante el proceso: fecha, usuario, sección modificada y motivo del cambio. Este procedimiento permitió realizar un seguimiento transparente del trabajo técnico, fortaleciendo el principio de integridad metodológica.

Toda esta información quedó consolidada en el informe de emisiones organizacionales de Gases de Efecto Invernadero del año base 2024, el cual se anexó formalmente a esta memoria. El informe sigue la estructura recomendada por la ISO 14064-1:2018 y constituye el documento oficial que puede ser utilizado por la empresa para reportes internos, procesos de mejora ambiental, comunicación con partes interesadas o preparación para futuras verificaciones externas.

A partir de la recopilación de datos operacionales, se estructuró un inventario organizacional que integra las fuentes emisoras según los lineamientos de la norma ISO 14064-1:2018. Los resultados consolidados para el año base 2024 se presentan a continuación:

TIPO	UNIDAD	CANTIDAD	FACTOR	TOTAL EMISIÓN [tCO2e]
COMBUSTIBLE AERONAVES JET A1	[LITROS]	1.804.503,7	3,15	5.684,2
REFRIGERANTE R-410A	[KG]	91,1	2.088	190,3
COMBUSTIBLE TERRESTRE	[LITROS]	6.910,0	2,64	18,2
TOTAL ALCANCE 1				5.892,7
ELECTRICIDAD	[kWh]	214.553,0	0,33	70,8
PANEL SOLAR	[kWh]	409.312,6	-0,33	-135,1
TOTAL ALCANCE 2				-64,3
TOTAL AEROCARDAL				5.828,4

Tabla 3.1.3.2.1: Total de emisiones de Aerocardal, por tipo y alcance para el año 2024. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de los documentos de Aerocardal.

Se observa que el 98% de las emisiones totales de Aerocardal corresponden al consumo de combustible Jet A1 en aeronaves, mientras que el uso de refrigerantes, vehículos terrestres y consumo eléctricos representan consumos marginales en comparación. Es relevante destacar que el sistema de paneles solares instalados en dependencias de la empresa permitió generar una reducción neta de emisiones en el alcance 2, generando más energía que la que se compra. La suma total de emisiones organizacionales del año 2024 fue de 5.828,4 [Toneladas de CO₂e].

La documentación de la metodología no fue una tarea administrativa complementaria, sino una parte integral del sistema de medición. A través de la combinación entre fuentes confiables, cálculo sistemático, respaldo digital y control documental. Aerocardal quedó no solo con un sistema operativo, sino verificable, transparente y replicable, con miras a su consolidación como organización comprometida con la sostenibilidad climática.

3.1.3.3. ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE

La estimación de la incertidumbre es una etapa fundamental dentro de la construcción de un inventario organizacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI), ya que permite evaluar la confiabilidad de los resultados obtenidos y establecer criterios de mejora para las futuras mediciones. Conforme a lo establecido en el capítulo 8 de la norma ISO14064-1 (International Organization for Standardization, 2018), se incorporó un análisis de incertidumbre asociado a la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el inventario organizacional de Aerocardal para el año base 2024. El objetivo de este análisis es identificar las fuentes con mayor variabilidad potencial, evaluar la robustez de los resultados y proponer oportunidades de mejora en la calidad de los datos para ciclos futuros.

En esta etapa inicial de implementación, se adoptó un enfoque cuantitativo simplificado, basado en metodologías reconocidas internacionalmente, como las Directrices del IPPC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006), complementado por los lineamientos del GHG Protocol y prácticas comunes de gestión en organizaciones que se encuentran en etapas tempranas de implementación de sistemas de reporte.

Dado que no se dispone de datos estadísticos completos al ser la primera edición del inventario (como desviaciones estándar, márgenes de error históricos, o modelos de simulación de Montecarlo), se optó por asignar rangos de incertidumbre porcentual estimada para cada categoría principal del inventario, en función de tres criterios:

- Calidad y trazabilidad del dato de actividad.
- Precisión del factor de emisión utilizados.
- Método de estimación empleado (directo o indirecto).

A continuación, se presenta un resumen de los rangos asignados:

FUENTE DE EMISIÓN	TIPO DE DATO	RANGO	JUSTIFICACIÓN
		ESTIMADO DE INCERTIDUMBRE (DA)	
COMBUSTIBLE JET A1	Bitácora / Qlikview	±2%	Medición precisa, fuente principal y digitalizada
ELECTRICIDAD EN INSTALACIONES	Factura Proveedor (SAP)	±5%	Facturas reales con posibles estimaciones
DIÉSEL	Factura Proveedor (SAP)	±5%	Facturas reales con posibles estimaciones
REFRIGERANTES R-410A	Datos de proveedor	±10%	Declaración única, sin trazabilidad de fugas o recargas menores.
PANELES SOLARES	Estimación Directa. (Web Proveedor)	±10%	Declaración única.

Tabla 3.1.3.3.1.: Justificación del rango estimado de incertidumbre de los datos de la empresa Aerocardal. Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, para desarrollar el cálculo de la incertidumbre total se asignan rango de incertidumbre porcentual estimada para cada fuente de emisión, considerando dos dimensiones fundamentales:

- Incertidumbre del factor de emisión (FA): Corresponde a la variabilidad asociada al valor que transforma el dato de actividad en emisiones. Estos valores fueron obtenidos de la literatura técnica como el IPCC y base de datos nacionales.
- Incertidumbre del dato de actividad (DA): representa el nivel de confianza sobre la calidad del dato recopilado en el campo, según su método de recolección (directa, indirecta, facturación, etc).

La fórmula empleada para estimar la incertidumbre combinada por fuente de emisiones es la siguiente:

$$U_{total} = \sqrt{(U_{FA})^2 + (U_{DA})^2} \tag{1}$$

Donde:

- U_{FA}= Incertidumbre porcentual del factor de emisión.
- U_{DA}= Incertidumbre porcentual del dato de actividad.
- U_{Total}= Incertidumbre combinada estimada para cada fuente.

Finalmente, para conocer la incertidumbre total del inventario se aplica la siguiente formula:

$$U_T = \frac{\sqrt{\sum E_i^2 * U_i^2}}{\sum E_i} \tag{2}$$

Donde:

- U_T= Incertidumbre total del inventario (%).
- E_i= Emisiones de la fuente i (en tCO₂e).
- U_i= Incertidumbre total de la fuente i (en decimal)
- ΣE_i= Total de emisiones del inventario.

Tipo	Incertidumbre FA (%)	Incertidumbre DA (%)	Incertidumbre total
Combustible Jet A-1	1	2	2%
Refrigerante R410A	10	10	14%
Combustible Terrestre	15	5	16%
Electricidad	5	5	7%
Panel Solar	5	10	11%
Total Inventario			2%

Tabla 3.1.3.3.2.: Resumen de la incertidumbre determinada a partir de los datos de Aerocardal. Fuente: Elaboración propia.

La estimación de la incertidumbre no fue una obligación técnica cumplida en esta fase del proyecto, sino que también un ejercicio de autodiagnóstico valioso. Permitió a la organización identificar las fortalezas del sistema implementado, reconocer sus limitaciones y establecer un plan concreto de mejora continua en el monitoreo y gestión de sus emisiones organizacionales.

3.1.3.4. EXCLUSIONES JUSTIFICADAS

Durante la elaboración del inventario de emisiones organizacionales de Aerocardal correspondiente al año base 2024, se aplicó el principio de materialidad, recomendado tanto por la norma ISO 14064-1:2018 como por el GHG Protocol, el cual establece que pueden excluirse ciertas fuentes de emisión siempre que representan una fracción poco significativa del total (generalmente inferior al 5%), o cuando no sea posible cuantificarlas razonablemente por falta de datos verificables o por limitaciones metodológicas justificadas. En ese contexto, se realizó una revisión exhaustiva de todas las actividades operativas energéticas y logísticas de la empresa para determinar qué fuentes de emisión podrían potencialmente formar parte del inventario, aunque no estuviesen incluidas en esta primera versión. El resultado de ese análisis dio origen a una serie de exclusiones justificadas, las cuales se documentan a continuación con su respectiva fundamentación técnica.

Una de las principales exclusiones corresponde a las emisiones indirectas de alcance 3 que incluyen aquellas asociadas a actividades no controladas directamente por Aerocardal pero que se relacionan con su funcionamiento, tales como el transporte de proveedores, viajes de negocio, servicios subcontratados (por ejemplo, mantenimiento externo o limpieza industrial), disposición final de residuos, y emisiones derivadas de la cadena de suministro de combustible o insumos. Si bien estas emisiones son relevantes desde una perspectiva de ciclo de vida, no fueron incorporadas en este primer inventario debido a que actualmente no existen sistemas internos para registrar o estimar estos datos con un nivel de precisión aceptable. Asimismo, se excluyeron emisiones fugitivas provenientes de gases refrigerantes utilizados en sistemas de climatización de oficinas, salas técnicas y equipos móviles. Esta decisión se basó en el hecho de que, si bien se solicitó información al proveedor responsable del mantenimiento de los sistemas de aire acondicionado, la información está acumulada en 5 años, donde se muestran los gramos de cada máquina, pero no se tenían fugas contabilizadas. Al no tener datos consistentes ni una línea base confiable, se optó por dejar su cuantificación para una futura etapa del sistema, cuando se pueda establecer un protocolo de medición más riguroso, especialmente en lo relativo a HFC y otros gases de alto potencial de calentamiento global.

Otra fuente excluida corresponde a la operación de generadores eléctricos auxiliares (back up), utilizados únicamente en condiciones de emergencia o cortes de energía, cuyo uso en 2024 fue esporádico y marginal. Dado que no existen registros sistematizados de sus encendidos, y considerando su baja frecuencia de uso, se determinó que su impacto potencial sobre el total de emisiones del año es insignificante, y su exclusión está justificado bajo el criterio de no materialidad. También se excluyeron de la cuantificación las posibles emisiones derivadas de la fabricación, transporte y disposición de equipos e infraestructura

de larga vida útil, como aeronaves, GPU o paneles solares. Este tipo de emisiones corresponde a lo que el GHG Protocol denomina “Upstream Embodied Emissions”, y si bien son consideradas en análisis de ciclo de vida (LCA), no forman parte del enfoque organizacional de emisiones operativas adoptado en esta medición.

Por último, se identificaron algunas fuentes menores como herramientas motorizadas (por ejemplo, compresores portátiles o equipos de corte) y equipos eléctricos menores que, aunque presentes en las operaciones de la empresa, no cuentan con sistemas de registro de uso ni consumo eléctricos separados del total de la instalación. Su inclusión requeriría estimaciones muy generales, poco representativas y de baja trazabilidad, por lo que fueron igualmente excluidas en esta etapa, dejando constancia de su existencia para una eventual inclusión futura si se implementan mecanismos de control más específicos. Estas máquinas de menor tamaño.

En todos los casos, las exclusiones fueron documentadas en el informe de Gases de Efectos Invernadero y en la planilla de cálculo general, con comentarios técnicos que indican su naturaleza, el motivo de su exclusión y la evaluación de su impacto potencial sobre el total del inventario. Ninguna de estas exclusiones representa, de forma individual o agregada, una fracción superior al 5% de las emisiones estimadas para 2024, y su omisión no compromete la integridad metodológica del sistema.

3.1.3.5. VALIDACIÓN INTERNA DEL INVENTARIO

Finalizada la construcción del inventario organizacional de emisiones de Gases de Efecto Invernadero para Aerocardal correspondiente al año base 2024, se procedió a realizar una validación interna del sistema, con el objetivo de asegurar la integridad, trazabilidad y coherencia técnica de los resultados obtenidos. Esta instancia no solo responde a las buenas prácticas recomendadas por la norma ISO 14064-1:2018, sino que además prepara a la empresa para una eventual verificación externa o para la utilización del informe GEI en procesos estratégicos como licitaciones, auditorías o reportes de sostenibilidad.

La validación fue llevada a cabo por el equipo técnico responsable del sistema, compuesto por representantes de las áreas de operaciones, planificación, mantenimiento, administración y asesoría metodológica. La revisión contempló distintos niveles: desde la revisión puntual de datos operativos hasta la revisión general del enfoque metodológico y la consistencia global del inventario.

Uno de los primeros pasos se basó en revisar la consistencia de los datos de actividad, contrastando los valores utilizados en la planilla de cálculo con sus respectivos respaldos documentales. En el caso del consumo de combustible de aeronaves, se verificó la coincidencia entre los datos extraídos desde Qlickview y las bitácoras de vuelo originales. Para la electricidad, se contrastaron los kWh registrados en la planilla con las facturas emitidas por el proveedor, descargadas desde SAP. También se aseguró que los supuestos utilizados estuvieran técnicamente justificados y avalados por personal técnico. Posteriormente, se revisó la correcta aplicación de los factores de emisión asegurando que cada uno correspondiera al tipo de energía utilizado, que estuviera expresado en unidades compatibles, con los datos de actividad, y que proviniera de fuentes reconocidas internacionalmente. En este sentido, se confirmó que todos los factores utilizados fueron extraídos de publicaciones oficiales del IPCC, el GHG Protocol o el Ministerio de Energía de Chile, y que fueron documentados en una hoja separada de la planilla de cálculo, protegida contra edición accidental.

Otro elemento clave de la validación fue el control de las fórmulas utilizadas en los cálculos. Se verificó que todos los valores de emisiones se obtuvieran mediante la fórmula estándar:

$$Emisiones (tCO_2) = \frac{Consumo \times FE (kg CO_2/u)}{1000} \tag{3}$$

Y que no existan errores de redondeo, referencias erróneas o celdas con valores incompletos. También se comprobó que las emisiones estuvieran correctamente clasificadas por alcance (1 o 2) y agrupadas por tipo de fuente (aeronaves, vehículos terrestres, electricidad).

Además de la validación técnica, se realizó una revisión metodológica general, para confirmar que el sistema respetara los principios fundamentales de la contabilidad de emisiones: relevancia, integridad, consistencia, transparencia y precisión. Se constató que las exclusiones estuvieran debidamente justificadas, que los niveles de incertidumbre fueran razonablemente estimados, y que el sistema estuviera suficientemente documentado para ser comprendido y replicado en futuras mediciones.

El resultado de este proceso fue una versión final del inventario y del informe GEI, revisada y aprobada internamente. Esta versión se encuentra registrada digitalmente en los sistemas de Aerocardal, con respaldo de los documentos fuente y con un historial de modificaciones que permite reconstruir la evolución del trabajo desde su etapa inicial hasta la consolidación final. Este proceso de validación, si bien fue de carácter interno, permitió fortalecer la confianza organizacional en los resultados obtenidos y dejó a la empresa en condiciones de avanzar, si así lo requiere en el futuro, hacia una versión externa independiente conforme a la norma ISO 14064-2 y 14064-3, o hacia su uso de reportes públicos, plataformas como HuellaChile o licitaciones con requerimientos ambientales explícitos.

3.1.4. FASE 4: GENERACIÓN DEL INFORME DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y VALIDACIÓN INTERNA

El desarrollo de un sistema organizacional de medición de Gases de Efecto Invernadero (GEI), no está completo sin la elaboración de un informe que sintetice, documente y proyecte los resultados del proceso. En Aerocardal, la creación del informe GEI correspondiente al año base 2024 no fue tratada como un mero trámite técnico, sino como una instancia crítica para consolidar el trabajo realizado y abrir un espacio formal de reflexión organizacional en torno al desempeño ambiental de la empresa.

3.1.4.1. CONTENIDOS MÍNIMOS DEL INFORME DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

El informe de emisiones organizacionales desarrollado para Aerocardal no solo fue concebido como un documento de cierre técnico, sino como el primer paso hacia la institucionalización de una práctica ambiental sistemática y compatible con los desafíos del sector aeronáutico en el contexto del cambio climático. La elaboración de este informe no se limitó a cumplir con los requerimientos formales establecidos por la sección 9 de la norma ISO 14064-1:2018, sino que fue diseñado como un instrumento de gestión, comunicación y toma de decisiones.

Desde una perspectiva metodológica, el informe cumplió con todos los contenidos mínimos exigidos por la norma, pero se amplió además en función de las necesidades internas de Aerocardal y de su visión de sostenibilidad a largo plazo. Estos contenidos no se desarrollaron como secciones aisladas, sino como un cuerpo integrado que permite comprender la lógica del sistema, sus resultados, y su proyección hacia el futuro.

El informe también definió explícitamente los límites organizacionales y operacionales del inventario. En cuanto a lo organizacional, se aplicó el enfoque de control operacional, abarcando todas las operaciones bajo dirección técnica y administrativa de Aerocardal, incluyendo aeronaves propias, vehículos terrestres y consumos eléctricos en instalaciones. En cuanto a lo operacional, se delimitaron las fuentes a incluir, diferenciando entre emisiones directas (alcance 2), dejando fuera en esta etapa las emisiones de alcance 3 por falta de trazabilidad suficiente. Otro componente central fue la descripción de fuentes incluidas y excluidas, con su correspondiente justificación. El informe detalla qué fuentes de emisión fueron consideradas en el inventario, y cuáles fueron excluidas aplicando el principio de materialidad (es decir, que su omisión no altera significativamente los resultados del total). Esto incluyó, por ejemplo, la exclusión de emisiones fugitivas de gases refrigerantes y

generadores de respaldo, así como servicios subcontratados, todos documentados con razones técnicas claras.

Respecto a la metodología de cuantificación, se detalló el origen de los datos utilizados, la forma en que fueron recolectados (por ejemplo, bitácoras de vuelo ingresadas en Qlikview, facturación eléctrica desde SAP, estimaciones validadas por el área técnica), y los factores de emisión aplicados, con sus fuentes bibliográficas, unidades y año de referencia. Se explicó también la fórmula base de cálculo utilizada, y se dejó explícita la clasificación de cada fuente según su alcance.

Uno de los aspectos distintivos del informe fue la incorporación de un análisis cuantitativo de incertidumbre, en el que se clasificó cada fuente de incertidumbre, según su origen, trazabilidad y validación. Este análisis no solo fortalece la transparencia del informe, sino que entrega información clave para definir prioridades de mejora en versiones futuras del inventario.

Los resultados del inventario fueron presentados de manera estructurada, tanto por fuente de emisión (aeronave, vehículos terrestres, electricidad), como por alcance (1 y 2), y se incluyeron gráficos de participación relativa de cada categoría. Este desglose permite comprender no solo el volumen total de emisiones, sino su distribución operativa, lo que es esencial para orientar acciones de reducción de manera focalizada.

3.1.4.2. CONTROL DE CALIDAD Y TRAZABILIDAD DE DATOS

La calidad de los datos utilizados en la elaboración del informe GEI de Aerocardal no fue abordado como una validación aislada, sino como una extensión natural del sistema de medición descrito en capítulos anteriores. Como se detalló anteriormente, todos los consumos energéticos y operacionales fueron recolectados desde fuentes verificables, tratados bajo procedimientos de validación cruzada y almacenados en un repositorio que garantiza su trazabilidad documental.

Uno de los principales aprendizajes que dejó el proceso de elaboración del informe fue comprender que la trazabilidad no solo es un requisito normativo de la ISO 14064-1:2018, sino una condición habilitante para que el informe tenga valor estratégico. En la industria aeronáutica donde la trazabilidad no solo es esencial para la seguridad operacional y el cumplimiento regulatorio, trasladar ese mismo estándar al ámbito de sostenibilidad no fue solo lógico, sino coherente con la cultura organizacional de Aerocardal.

El equipo encargado del sistema GEI tomó la decisión de no depender de una única planilla de cálculo, sino de respaldar cada resultado con evidencia directa. Este enfoque permitió que el informe no solo reflejara cifras, sino también decisiones consientes basadas en datos válidos. La implementación de una estructura digital ordenada, con carpetas por fuente y mes, facilitó que cualquier resultado del informe pueda ser auditado sin necesidad de rehacer el inventario completo. Asimismo, se mantuvo un registro transparente de versiones del sistema, con control de cambios, justificando técnica y fechas de edición. Esta práctica, heredada de los protocolos de mantenimiento aeronáutico, asegura que futuras actualizaciones del inventario puedan construirse sobre una base clara, sin pérdida de información ni ruptura metodológica. Más allá de lo técnico, este control de calidad permitió detectar mejoras internas en los procesos de generación y archivo de datos. Por ejemplo, se identificó la necesidad de sistematizar el registro de consumo de GPU a petróleo y vehículos terrestres, y se propuso una ruta de mejora que ya fue comunicada con el área técnica. Es decir, el proceso de trazabilidad no solo sirvió para construir un informe robusto, sino que también activó un ciclo de mejora operativa.

Desde una perspectiva profesional, este trabajo valida que la calidad y trazabilidad de los datos no son tareas aisladas del equipo de sostenibilidad, sino que involucra la gestión transversal de áreas técnicas, administrativas y operacionales. Y más importante aún posicionan a Aerocardal como una empresa que, sin obligación externa, implementa prácticas propias de empresas líderes en responsabilidad ambiental.

3.1.4.3. PREPRACION PARA VERIFICACIÓN EXTERNA

A lo largo de esta memoria se ha detallado como Aerocardal desarrolló un sistema de medición de gases de efecto invernadero GEI, conforme a los lineamientos de la norma ISO 14064-1:2018, desde la recopilación de datos hasta la elaboración del inventario y el informe organizacional. Como se describió anteriormente, este sistema fue diseñado con trazabilidad técnica, documentación metodológica y estructura modular, elementos fundamentales no solo para construir un inventario válido, sino también para preparar la organización ante una eventual verificación externa independiente.

La preparación para ese tipo de proceso no se limita a la existencia de respaldo o formulas correctas. Requiere un diseño que permita a un tercero recorrer el sistema, entenderlo, auditarlo y validar que cada resultado tiene soporte empírico y metodológico. En este sentido, Aerocardal no desarrolló un sistema cerrado, sino una plataforma abierta a revisión y mejora y rendición de cuentas, incluso en ausencia de obligación regulatoria actual.

Desde el inicio se optó por alinear el sistema con los principios y requisitos establecidos en la norma ISO 14064-3, que regula los procedimientos para la verificación y validación de informes GEI. Esto implicó decisiones concretas, como: utilizar únicamente factores de emisiones oficiales y actualizados, registrar toda modificación en la planilla principal con su justificación técnica, y generar carpetas organizadas por fuentes, mes y tipo de respaldo, de forma que una revisión por muestreo pudiera replicar cualquier resultado sin necesidad de rehacer el sistema completo. Además, el enfoque adoptado en la documentación del sistema privilegió la metodología por sobre la complejidad técnica. Se evitó el uso de supuestos sin justificación y se documentaron explícitamente las decisiones tomadas en cada caso: desde la exclusión de fuentes por baja materialidad, hasta la clasificación cuantitativa de la incertidumbre. Esta claridad no solo facilita una futura auditoria, sino que refuerza la credibilidad del informe frente a nuevos clientes, instituciones y plataformas de reporte climático.

La posibilidad de someter el sistema GEI a Aerocardal a una verificación externa no es un fin en sí mismo, sino una decisión estratégica con valor proyectivo. En un contexto donde los criterios ambientales se vuelven crecientemente relevantes en licitaciones, certificaciones, reportes ESG, e incluso en acuerdo con instituciones públicas o alianzas con clientes internacionales, contar con un sistema verificable posiciona a la empresa con ventaja frente a operadores que aún no han dado este paso. Desde una perspectiva profesional, la preparación para la verificación externa no es solo una demostración de madurez técnica, sino una muestra de liderazgo anticipatorio. Permite a Aerocardal responder proactivamente a los cambios normativos que ya están en marcha, como los avances del esquema CORSIA a nivel internacional, o los lineamientos de Huella Chile a nivel nacional, sin esperar a que

la regulación obligue, sino construyendo una cultura organizacional basada en datos, evidencia y mejora continua.

3.1.4.4. COMUNICACIÓN INTERNA Y EXTERNA DE RESULTADOS

La comunicación de resultados no es un acto administrativo final, sino una fase estratégica que define como una organización transforma un informe técnico en un instrumento de gestión y posicionamiento. En Aerocardal, el informe de emisiones de gases de efecto invernadero elaborado para el año base 2024 no fue concebido solo como un documento para archivo institucional o cumplimiento técnico. Desde el inicio del proyecto se asumió que este informe debía comunicar valor, tanto hacia el interior de la organización como hacia sus grupos de interés externos, con un enfoque alineado a su actividad en el rubro aeronáutico.

En lo interno, la socialización del sistema GEI y de los resultados obtenidos cumplió un doble objetivo. Primero, validar técnicamente el trabajo desarrollado, asegurando que las distintas áreas, operaciones, planificación, mantenimiento y administraciones, se vieran reflejadas en el inventario y comprendieran como su quehacer cotidiano índice directa o indirectamente en el perfil de emisiones de la empresa. Segundo, generar conciencia organizacional sobre el rol de Aerocardal en el contexto del cambio climático, y sobre el hecho de que, en la actualidad, la sostenibilidad ya no es un valor agregado, sino una expectativa creciente por parte de autoridades, clientes y sociedad.

Desde el punto de vista externo, el informe se posiciona como una herramienta de credibilidad institucional. En un mercado donde las exigencias ambientales avanzan a mayor velocidad que la normativa, contar con un inventario de GEI validado internamente, trazable y alineado con estándares internacionales, otorga a Aerocardal una ventaja competitiva. Este informe no solo está listo para ser incluido en procesos de licitación donde se valoran criterios de sostenibilidad, sino también para ser presentado ante clientes corporativos, organismos del Estado y plataformas de reporte ambiental como HuellaChile. Además, el desarrollo de este informe permite a la empresa comunicar de forma proactiva su compromiso climático, no desde el discurso, sino desde los datos. Aerocardal puede mostrar no solo que reconoce su impacto, sino que ha iniciado un proceso serio para medirlo, controlarlo y eventualmente reducirlo. Esto cambia radicalmente el tipo de conversación que la organización puede sostener con autoridades, proveedores, operadores de aeropuertos y actores del sector, al contar con un respaldo técnico difícil de refutar. Por otro lado, al tratarse de una empresa del sector aeronáutico, un rubro que es tradicionalmente visto como intensivo en emisiones, la existencia de un informe GEI riguroso y replicable representa una señal clara de liderazgo dentro del segmento de aviación no regular en Chile. Aún son pocas las

compañías que, sin obligaciones regulatorias, optan por implementar sistemas de medición voluntaria bajo ISO 14064-1. Esta decisión sitúa a Aerocardal en una posición pionera frente a sus pares, y le abre la puerta a futuras colaboraciones, certificaciones o alianzas donde se valore la trazabilidad climática como un estándar mínimo.

Desde una perspectiva profesional, la forma en que se comunica este informe, su estructura, lenguaje y respaldo, define su impacto. Un informe ambiental pobremente presentado pierde su valor incluso si sus cálculos son correctos. En cambio, un informe bien elaborado y comunicado puede ser la puerta de entrada a nuevas oportunidades comerciales, regulatorias e institucionales. Por eso se puso especial cuidado en que el documento estuviera escrito en lenguaje técnico accesible, con gráficos claros, criterios metodológicos explícitos y una lógica que refleja la madurez del sistema implementado.

3.1.5. FASE 5: CAPACITACIÓN Y MEJORA CONTINUA

El desarrollo de este sistema de medición y reporte de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) dentro de la empresa Aerocardal no se limitó solo a construir una herramienta técnica orientada al cumplimiento normativo. Desde su concepción, se entendió que un sistema de este tipo solo alcanza su madurez cuando logra instalarse como una práctica transversal, replicable y sostenible en el tiempo, con participación de los distintos niveles de la organización. Por ello, esta última fase del proceso contempla la implementación de un modelo de capacitación estructurado, la definición de indicadores de desempeño ambiental (KPI), la incorporación de un ciclo formal de mejora continua, basado en la metodología PDCA, y la proyección estratégica del sistema hacia etapas superiores de integración, incluyendo la posibilidad de verificación externa y expansión hacia fuentes indirectas de emisiones.

Esta fase representa un paso clave en la transición desde un sistema técnico a una capacidad organizacional consolidada, donde la medición de emisiones ya no es una tarea aislada, sino parte del modelo de gestión de Aerocardal.

3.1.5.1. CAPACITACIÓN INTERNA

Como parte fundamental de la fase de mejora continua del sistema de gestión de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), se identificó la necesidad de establecer un plan de capacitación interna orientado a fortalecer las competencias técnicas, operativas y estratégicas del personal de Aerocardal en materia de gestión climática.

Esta iniciativa responde tanto a los principios de la norma ISO 14064-1:2018, que promueve la mejora continua y la trazabilidad de los procesos, como al contexto operacional de la empresa, donde diversos actores participan en la generación, registro y validación de los datos que componen el inventario de emisiones organizacionales.

El objetivo general de desarrollar un programa sistemático de capacitación interna es que permita:

- Garantizar la correcta comprensión e implementación del sistema de gestión de GEI.
- Fortalecer la trazabilidad y calidad de los registros operativos.
- Promover una cultura de sostenibilidad ambiental dentro de la organización.
- Habilitar al personal para enfrentar futuras auditorías o proceso de verificación externa.

El programa de capacitación está dirigido a colaboradores y áreas que, directa o indirectamente, intervienen en los procesos asociados al consumo energético, recopilación de datos, mantenimiento de flota, operación de aeronaves, logística terrestre y gestión administrativa. En particular:

- Área de Operaciones áreas (pilotos, jefe de pilotos, analistas).
- Área de Mantenimiento aeronáutico (jefe de producción, supervisores).
- Área de Administración y finanzas (control de gestión, contabilidad, compras)
- Área de FBO y servicios en tierra (despachadores, logística).
- Encargados de infraestructura, abastecimiento y TI.

Los módulos de capacitación propuestos se organizan en torno a los siguientes ejes temáticos:

<i>Módulo</i>	<i>Contenido</i>
<i>1. Introducción al cambio climático</i>	Causas, consecuencias y marco regulatorio global y nacional (Ley 21.455, OACI, CORSIA)
<i>2. Fundamentos de la Norma ISO 14064-1:2018.</i>	Estructura de la Norma, definiciones clave, alcance, límites organizacionales y operacionales.
<i>3. Categorización de emisiones</i>	Diferenciación entre alcance 1,2 y 3: ejemplos prácticos aplicados a Aerocardal
<i>4. Registro y trazabilidad de datos</i>	Buenas prácticas para el levantamiento de información: bitácoras, consumo energético, refrigerantes, etc.
<i>5. Factores de emisión y calculo GEI</i>	Aplicación de factores IPCC y nacionales; interpretación de los resultados.
<i>6. Indicadores clave de desempeño</i>	Definición, calculo y uso en gestión operativa.
<i>7. Reportabilidad y verificación</i>	Preparación para auditorías internas o externas bajo ISO 14064-3.
<i>8. Eficiencia energética y medidas de mitigación</i>	Identificación de oportunidades de mejora en consumo eléctrico, combustible y refrigeración.

Tabla 3.1.5.1.1.: Módulos de Capacitación propuestos para los colaboradores de Aerocardal. Fuente: Elaboración propia.

La capacitación se diseñará en modalidad presencial, con sesiones teóricas complementadas con ejercicios prácticos y simulaciones de registro. Se contempla una inducción anual general, más capacitaciones específicas por área al menos una vez por semestre.

Se sugiere el uso de distintas herramientas como: manuales operativos y fichas de registros simplificadas, presentaciones estandarizadas y casos de estudio, evaluaciones breves para validar el aprendizaje.

Se recomienda que la jefatura de control de gestión corporativa, en coordinación con las áreas de Operaciones, Mantenimiento y Administración, lidere el diseño y ejecución del programa con posibilidad de apoyo externo para módulos técnicos especializados.

Finalmente, para asegurar la efectividad del plan, se propone implementar mecanismos de seguimiento y evaluación tales como, encuestas de satisfacción post capacitación, indicadores de mejora en la calidad y completitud de los registros, auditorías internas aleatorias de trazabilidad.

3.1.5.2. INDICADORES DE DESEMPEÑO AMBIENTAL KPI

En el marco de la mejora continua del sistema de gestión de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) implementado en Aerocardal, se definieron una serie de indicadores clave de desempeño KPI que permiten monitorear, analizar y gestionar el impacto climático de las operaciones de forma estructurada, periódica y en foco estratégico. Estos indicadores fueron diseñados no solo para reflejar los resultados del inventario en términos cuantitativos, sino también para traducir dichos resultados en herramientas prácticas de gestión, integradas a la realidad operativa y organizacional de la empresa.

Para asegurar la utilidad de los KPI, se consideraron cinco criterios clave en su diseño: relevancia operativa, trazabilidad, capacidad de comparación temporal, adaptabilidad al crecimiento del sistema y, especialmente que sean accionables, es decir, que permitan activar decisiones concretas a nivel técnico o gerencial. Así, se evitó caer en métricas meramente declarativas, priorizando aquellas que aporten información significativa para la toma de decisiones y la mejora de procesos internos.

Uno de los primeros indicadores definidos fue la *intensidad de emisiones por hora de vuelo*, que relaciona el total de emisiones derivadas del uso de combustible Jet A1 con el total de horas voladas durante el año base. Este KPI, que para 2024 fue de 2,08 [tCO₂e/hr], permite evaluar la eficiencia climática de las operaciones aéreas y comparar tanto entre aeronaves como a lo largo del tiempo. Asimismo, se propuso desarrollar una *métrica de emisiones por tipo de servicio*, diferenciando entre vuelos ejecutivos, ambulancia aérea y vuelos chárter, entre otros servicios de la empresa desglosados en la tabla 3.1.5.2.3, lo que permitiría priorizar acciones de mitigación según el perfil de operación. Aunque este indicador requiere una segmentación detallada aun en desarrollo representa una línea de análisis clave para futuras versiones del inventario. Otro KPI relevante es la *variación porcentual anual respecto al año base*, que permitirá monitorear el progreso ambiental de la empresa año a año. Para el año 2024, esta variación se establece como punto cero (0%), y cualquier reducción o aumento futuro podrá ser cuantificada con relación a esta línea base.

De manera complementaria, se calculó un indicador de *emisiones por tipo de aeronave*, considerando el consumo de combustible por matrícula, lo que permite evaluar el impacto relativo de cada aeronave y orientar decisiones futuras sobre renovación de flota, redistribución operativa o mantenimiento. En cuanto a la gestión energética, se incorporó un KPI que mide el *porcentaje de energía eléctrica compensada por paneles solares*, el cual alcanzó un 190% durante el año base, evidenciando el aporte de la autogeneración fotovoltaica al balance eléctrico total de la empresa. Esta métrica resulta especialmente relevante considerando el contexto nacional de transición energética y representa una fortaleza ambiental concreta que puede ser comunicada ante clientes, licitaciones o auditorías externas. Finalmente, se propuso un indicador orientado a evaluar la calidad del sistema de trazabilidad interna: *el porcentaje de emisiones provenientes de fuentes no controladas directamente*, tales como refrigerantes, vehículos terrestres y consumo eléctrico de terceros. Para 2024, estas fuentes representaron un 2,5% del total, lo que sugiere que el sistema aún requiere mejoras en los mecanismos de captura, control y documentación de fuentes menores.

La implementación de estos KPI se plantea como una herramienta de gestión que debe integrarse progresivamente a los sistemas existentes de Aerocardal, tales como los reportes mensuales de operaciones, control de gestión y planificación estratégica. Además, su seguimiento permitirá preparar informes de sostenibilidad, responder a exigencias ESG y avanzar hacia eventuales procesos de verificación bajo la norma ISO 14064-3. En una segunda etapa, se contempla la posibilidad de ampliar estos indicadores incluyendo métricas como emisiones por pasajero transportado, intensidad de emisiones por hora de servicio médico o emisiones por unidad de ingreso económico.

En conjunto, estos indicadores representan un paso decisivo hacia la consolidación de una gestión ambiental moderna, basada en datos y orientada a la mejora continua, alineada tanto con los estándares internacionales como con la realidad operativa de Aerocardal.

A continuación, se presentan tablas resumen de los KPI propuestos.

KPI	Cantidad
% Compensado por paneles solares	190%
% Emisiones provenientes de fuentes no controladas directamente	2,5%

Tabla 3.1.5.2.1.: Tabla resumen de los KPI % Compensado por paneles solares y %Emisiones provenientes de fuentes no controladas. Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, a continuación, se presenta el resumen de los KPI que faltan, esto por el tamaño de la tabla.

FACTOR DE EMISIÓN				[KG CO2e]	
				3,15	
IPO	MATRÍCULA	HORAS VOLADAS	CANTIDAD [KG]	TOTAL EMISIÓN [tCO2e]	EMISIONES POR HORA DE VUELO [tCO2e/hr]
HELICÓPTEROS	CC-ACK	14,8	3.284,1	10,3	0,7
	CC-ANZ	33,6	7.465,9	23,5	0,7
	CC-AKD	5,8	1.390,2	4,4	0,8
	CC-DBA	54,0	12.603,7	39,7	0,7
	CC-AHY	49,0	12.876,8	40,6	0,8
SUBTOTAL		157,2	37.620,7	118,5	0,8
TURBOPROP	CC-AAQ	293,1	109.233,6	344,1	1,2
	CC-CWC	105,5	38.892,0	122,5	1,2
	CC-CWX	241,4	78.805,4	248,2	1,0
	CC-DLI	72,2	24.663,0	77,7	1,1
SUBTOTAL		712,1	251.594,0	792,5	1,1
GULFSTREAM	CC-AOA	566,1	489.798,4	1.542,9	2,7
	CC-CWK	579,1	511.464,8	1.611,1	2,8
	CC-AYY	403,8	428.304,8	1.349,2	3,3
SUBTOTAL		1.548,9	1.429.568,0	4.503,1	2,9
PILATUS	CC-ANY	282,2	66.507,3	209,5	0,7
	CC-DRS	34,2	19.213,6	60,5	1,8
SUBTOTAL		316,4	85.720,9	270,0	0,9
TOTAL		2734,6	1804503,7	5684,2	2,08

Tabla 3.1.5.2.2.: Tabla resumen de los KPI de total de emisiones y emisiones por hora de vuelo, ambos por matrícula y tipo de aeronave. Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 3.1.5.2.2. se pueden apreciar los valores de emisión por matrículas de aeronaves y categorías de aeronaves, donde en particular la categoría de helicópteros obtuvo 118,5 [tCO₂e] y con la cantidad de horas voladas durante el año 2024, se obtuvo un KPI de 0,8 [tCO₂e/hr], el cual es el más bajo de todos los tipos de aeronaves que posee Aerocardal. Luego, la categoría Turboprop tuvo durante el año 2024, 792,5 [tCO₂e] con 1,1 [tCO₂e/hr], en esta categoría se encuentra la aeronave de matrícula CC-DLI que es la última adquisición de Aerocardal, la cual corresponde a la Let 410NG. Luego la categoría de Gulfstream, es la que mayor cantidad de emisiones aporta a este sistema, con 4.503,1 [tCO₂e] y una cantidad de 2,9 [tCO₂e/hr] de vuelo. Finalmente, la categoría de Pilatus, que tuvo una emisión de 270 [tCO₂e] y 0,9 [tCO₂e/hr] durante el año 2024.

A continuación, se presenta la tabla resumen de emisiones por tipo de vuelo para Aerocardal.

Factor de emisión	3,15 [kg Co2e]	
Tipo de vuelo	Combustible utilizado	Emisiones por Tipo de vuelo [tCo2e]
Transporte Ejecutivo	719.721,75	2.267,12
Ambulancia	449.814,40	1.416,92
Carga	244.592,88	770,47
MLP	196.970,24	620,46
Socios	98.162,13	309,21
Interno	65.811,05	207,30
Clínica Alemana	17.946,34	56,53
Transporte Juan Fernández	9.805,60	30,89
Clínica Las Condes	1.679,27	5,29
Total	1.804.503,65	5.684,19

Tabla 3.1.5.2.3.: Resumen de la cantidad de emisiones por Tipo de Vuelo de Aerocardal. Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla anterior se puede apreciar el conteo de emisiones por tipo de vuelo que realiza la empresa Aerocardal, siendo mayor cantidad de emisiones concentradas en el Transporte Ejecutivo. La tabla está ordenada de mayor a menor en cuanto a la cantidad de emisiones. Estos indicadores son de relevancia para el control y gestión del impacto ambiental que tiene Aerocardal en el mundo, pudiendo indicar donde tomar medidas para mejorar este impacto.

3.1.5.3. PLAN DE TRAZABILIDAD, AUDITORIA INTERNA Y SEGUIMIENTO DEL SISTEMA DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

En el marco de la implementación de la norma ISO 14064-1:2018 en Aerocardal, se ha elaborado la siguiente tabla que resume los procesos clave del sistema de gestión de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), indicando para cada uno el procedimiento o actividad a auditar, el responsable designado según el organigrama de la empresa, el proceso o área involucrado (destacando la trazabilidad del dato o fuente de emisión), y el indicador clave de desempeño (KPI) cuando el procedimiento lo requiera y se pueda aplicar. Esta estructura permite asignar de forma clara las responsabilidades y asegurar la integridad de los datos, cumpliendo con los requisitos de la norma en cuanto a trazabilidad y transparencia de la información. Cada KPI ha sido definido para monitorear, analizar y gestionar el impacto climático de las operaciones de manera estructurada y periódica, facilitando la mejora continua tal como promueve ISO 14064-1. La tabla sirve como una herramienta de control interno que integra el ciclo PDCA al sistema, al auditar regularmente cada proceso, Aerocardal podrá detectar desviaciones, verificar la calidad de los datos y aplicar acciones

correctivas, consolidando un inventario robusto, confiable acorde a estándares internacionales.

<i>Procedimiento / Actividad a Auditar</i>	<i>Responsable Designado</i>	<i>Proceso / Área (Trazabilidad del dato)</i>	<i>KPI Asociado</i>
<i>Registro y Control del Consumo de Combustible Aeronáutico</i>	Gerente de Operaciones	Operaciones de vuelo (bitácoras de vuelo y registro de abastecimiento: datos de combustible, horas voladas, trazabilidad desde la carga hasta el cálculo de emisiones).	Intensidad de emisiones por hora de vuelo [tCO2e/hr[
<i>Monitoreo del consumo de combustible en los vehículos terrestres</i>	Encargado de Abastecimiento	Operaciones terrestres (vehículos de servicios y equipos auxiliares en tierra: registros de carga de combustible.	Emisiones de GEI de fuentes terrestres [tCO2e] anuales y % del total.
<i>Registro del consumo eléctrico en instalaciones y seguimiento de la generación fotovoltaica</i>	Gerente de Administración y Finanzas	Estructura y Energía (facturación Electrónica y monitoreo de sistemas solares; datos de consumo energético por área operativa.	Porcentaje de energía eléctrica compensada con paneles solares (%).
<i>Control de uso y reposición de gases refrigerantes en sistemas de climatización</i>	Jefe de Compras	Mantenimiento e infraestructura (sistemas de climatización; registros de recargas	Tasa de fuga de refrigerante anual (proporción de gas repuesto vs carga

		y eventuales fugas de refrigerante, con trazabilidad de compras y stock).	total, indicador de emisiones).
		Gestión Ambiental (sistema de gestión de GEI:	
Elaboración y validación del inventario corporativo de GEI	Analista Junior de Gestión. (Supervisión: Jefa de Gestión)	Consolidación de todas las fuentes en una plataforma documental unificada, con control de versiones y evidencias)	Incertidumbre total del inventario de GEI (%) precisión del cálculo).
Auditoría interna y revisión del desempeño del sistema GEI	Jefa de Gestión	Sistema de Gestión (todos los procesos y áreas, verificación cruzada de registro de emisiones, cumplimiento de procedimientos y trazabilidad conforme a ISO 14064-1)	Porcentaje de emisiones de fuentes no controladas directamente (fracción de emisiones de fuentes sin control operacional, indicador de brechas de trazabilidad).

Tabla 3.1.5.3.1: Procedimientos que deben ser auditados, junto con los responsables e indicadores de desempeño clave. Fuente: Elaboración propia de acuerdo con la propuesta de implementación.

La tabla anterior sintetiza el plan de implementación del sistema de gestión de GEI en Aerocardal, vinculando cada proceso crítico con un responsable definido y un indicador de desempeño medible. Esto asegura que, para cada actividad relevante (desde el consumo de combustible aeronáutico hasta la auditoría interna del inventario, exista responsabilidad asignada y métricas de control que permite evaluar su efectividad en el tiempo. Esta tabla refuerza, como Aerocardal quiere adoptar un enfoque sistemático y proactivo en la gestión de emisiones al disponer de KPI estratégicos y trazables, la empresa puede monitorear tendencias, identificar ineficiencias y orientar decisiones de mejora con base de datos objetivos. Este proceso de auditoría interna, se llevará a cabo con una periodicidad anual para

la realización del informe, no obstante, como procesos internos, Aerocardal puede realizar un monitoreo a los procesos con el objetivo de informar por ejemplo, las horas de vuelo realizadas mensualmente, las emisiones realizadas mensualmente, el combustible utilizado y la electricidad consumida, pero eso no excluye que se vuelva a realizar una auditoria con el motivo de realizar el informe anual de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. En resumen, esta herramienta de resumen contribuye a institucionalizar la mejora continua de la organización – un principio central de la norma ISO 14064-1 y a consolidar la transparencia y robustez del inventario de GEI, posicionando a Aerocardal a la vanguardia de las buenas prácticas ambientales en el sector aeronáutico.

3.1.5.4. SISTEMA DE MEJORA CONTINUA

La implementación del sistema de gestión de emisiones GEI en Aerocardal no constituye un ejercicio aislado, sino el inicio de un proceso cíclico y progresivo que debe sostenerse en el tiempo. En este contexto, se establece un sistema de mejora continua, estructurado en base al modelo de gestión PDCA (Plan–Do–Check–Act), el cual permite revisar periódicamente el desempeño ambiental de la empresa, detectar oportunidades de mejora y aplicar ajustes orientados a la eficiencia y sostenibilidad operativa.

Este enfoque, ampliamente adoptado por normas internacionales de gestión como la ISO 14064-1, se adapta a la escala y naturaleza de Aerocardal, permitiendo una implementación realista y funcional. La aplicación del ciclo PDCA se encuentra representada a continuación la cual, sintetiza las acciones clave propuestas para cada una de sus fases.



Ilustración 3.1.5.4.1.: Ciclo PDCA propuesto para la mejora continua con relación a la implementación de la ISO 14061-1:2018. Fuente: Elaboración propia.

La primera etapa, *planificar*, consiste en la revisión anual de los resultados del inventario GEI, el análisis del cumplimiento de los indicadores clave de desempeño ambiental (KPI), y la definición de metas específicas de reducción de emisiones o mejoras en eficiencia. Esta fase debe considerar también los cambios operacionales planificados para el año, como incorporación de nuevas aeronaves o modificaciones en la infraestructura energética. En la etapa de *hacer*, se ejecutan las acciones planificadas, tales como la mejora de los registros internos de consumo, la implementación de capacitaciones técnicas, la optimización de rutas de vuelo, o la incorporación de fuentes de energía renovable. La tercera etapa, *verificar*, contempla el análisis detallado de los resultados obtenidos a través de la medición de los KPI, la validación de los datos recopilados y la identificación de desviaciones significativas. Esta fase es clave para garantizar la confiabilidad del sistema, detectar errores y mantener la trazabilidad requerida por la norma. Finalmente, en la etapa de *actuar*, se aplican medidas correctivas o preventivas en función de los hallazgos detectados en la etapa anterior, incluyendo la actualización de procedimientos, el rediseño de formatos de registro, o el fortalecimiento de procesos de formación interna. También puede incluir la preparación del sistema para futuras auditorías externas bajo la norma ISO 14064-3.

Para garantizar la implementación efectiva de este ciclo, se recomienda la conformación de una comisión interna de sostenibilidad, liderada por el área de Control de Gestión Corporativa e integrada por representantes de las áreas de Operaciones, Mantenimiento y Administración. Esta comisión debe reunirse trimestralmente para analizar el cumplimiento de las metas establecidas, evaluar los indicadores ambientales y proponer ajustes estratégicos o técnicos en función del desempeño observado.

En síntesis, este sistema de mejora continua proporciona una estructura práctica y verificable para asegurar la evolución del sistema GEI en Aerocardal, consolidando su posicionamiento como una empresa de aviación ejecutiva comprometida con la sostenibilidad, la eficiencia y la transparencia ambiental.

3.1.5.5. PROYECCIONES ESTRATÉGICAS FUTURAS

La implementación del sistema de gestión de emisiones GEI en Aerocardal no debe entenderse como una acción estática, sino como una plataforma estratégica para el desarrollo de capacidades técnicas, operativas y organizacionales que permitan evolucionar hacia una gestión ambiental más robusta, integral y alineada con estándares internacionales. En este marco, se proyectan una serie de líneas de acción futuras, orientadas tanto a ampliar el alcance del sistema como a reducir su incertidumbre y mejorar el desempeño climático de la empresa.

Una primera línea de proyección corresponde a la incorporación de emisiones de Alcance 3, es decir, aquellas indirectas que no son controladas directamente por la organización, pero que están vinculadas a su cadena de valor. Esto incluiría, por ejemplo, el transporte terrestre contratado, servicios tercerizados críticos, viajes de negocios del personal, consumo de bienes adquiridos o servicios logísticos. Si bien estas emisiones presentan una mayor complejidad metodológica y trazabilidad limitada, su integración progresiva permitirá avanzar hacia un inventario más completo y comparable con estándares como el GHG Protocol. Otra proyección relevante es el desarrollo de medidas concretas de reducción de emisiones, con foco en aquellas fuentes que actualmente concentran el mayor impacto. En particular, se propone avanzar en estrategias operativas para reducir el consumo de Jet A1, tales como la optimización de planes de vuelo, mejoras en el mantenimiento de aeronaves para maximizar eficiencia, análisis de carga útil, reducción de peso no esencial y evaluación técnica de rutas alternativas. Asimismo, se contempla explorar el potencial uso de combustibles sostenibles de aviación (SAF), en la medida que el mercado nacional comience a ofrecerlos, considerando su costo, disponibilidad y compatibilidad con la flota actual.

En paralelo, se proyecta una disminución de las incertidumbres del sistema, especialmente en fuentes menores que actualmente presentan limitaciones de medición o registros incompletos. Para ello, se prevé mejorar los formatos de registro interno, integrar tecnologías de medición automática (sensores, plataformas digitales), estandarizar las declaraciones de proveedores, y capacitar a las áreas responsables sobre la importancia de la trazabilidad y completitud de los datos operacionales. Una mejora en la precisión de las fuentes de emisión no solo fortalece la calidad del inventario, sino que también facilita auditorías externas y procesos de verificación bajo la norma ISO 14064-3. Adicionalmente, se considera la verificación externa del inventario GEI, lo que permitiría validar formalmente los resultados obtenidos y fortalecer la credibilidad del sistema ante clientes, instituciones y procesos de licitación. Esta verificación requiere una adecuada preparación documental, trazabilidad técnica de cada fuente, y cumplimiento riguroso de los requisitos de la norma ISO 14064-3.

Por último, se contempla una integración más amplia del sistema GEI con otras dimensiones de sostenibilidad organizacional, tales como gestión hídrica, residuos, indicadores ESG, eficiencia energética y reputación corporativa. Esta convergencia permitiría a Aerocardal construir una estrategia ambiental integrada, transversal y alineada con las tendencias internacionales en materia de sostenibilidad empresarial.

En conjunto, estas proyecciones permiten visualizar el sistema GEI no solo como una herramienta de cumplimiento, sino como una base estratégica para el crecimiento responsable de Aerocardal, promoviendo una aviación ejecutiva más eficiente, consciente y preparada para los desafíos climáticos y regulatorios del futuro.

4. **CONCLUSIONES**

Este presente trabajo tuvo como objetivo general implementar un sistema de gestión de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) conforme a la norma ISO 14064-1:2018 en la empresa Aerocardal, con el propósito de cuantificar, gestionar y reportar sus emisiones, fortaleciendo su desempeño ambiental y alineándose con estándares internacionales. Este objetivo fue cumplido de manera integral, mediante un plan estructurado en cinco fases que permitió avanzar desde el diagnóstico inicial hasta la consolidación del inventario organizacional y el diseño de mecanismos de mejora continua.

Con relación al primer objetivo específico, que consistía en evaluar el estado actual de la gestión de emisiones de Aerocardal y su alineación con la norma, se diagnosticó que la empresa no contaba previamente con un sistema formal para cuantificar sus emisiones GEI, aunque disponía de plataformas útiles como SAP, Qlikview y Workflow, las cuales fueron aprovechadas para estructurar el sistema de medición. Se definió como límite organizacional la sede operativa ubicada en el aeropuerto Arturo Merino Benítez y se adoptó el criterio de control operacional, excluyéndose el Alcance 3 por falta de trazabilidad, conforme a la sección 7.1 de la norma ISO 14064-1.

Respecto al segundo objetivo específico, que plantea identificar los requisitos y metodologías necesarias para la cuantificación y reporte de emisiones, se aplicó un enfoque alineador con la norma ISO 14064-1 y se utilizaron factores de emisiones oficiales del IPCC y del Ministerio de Energía de Chile. Se consideraron fuentes de Alcance 1 y 2 incluyendo el consumo de gasolina, electricidad de la red, energía solar y refrigerantes R-410A. La selección de fuentes se realizó conforme al principio de relevancia y materialidad, excluyendo emisiones no significativas o sin trazabilidad.

En cuanto al tercer objetivo específico, enfocado en desarrollar un sistema de medición y reporte adoptado a la operación de la empresa, se elaboró un inventario organizacional, que integra todos los datos recolectados, aplicando la fórmula estándar de cuantificación. El resultado fue un total de 5.828,4 [tCO₂e] emitidas durante el año 2024 con una incertidumbre del 2% del total del inventario, permitiendo evaluar la confiabilidad del inventario, y siendo con consumo de combustible aeronáutico Jet A1 la principal fuente, representando el 97,5% del total. Las emisiones por electricidad, gasolina, y refrigerantes representaron una fracción menor, aunque igualmente documentadas.

Respecto al cuarto objetivo específico, que apuntaba a analizar los beneficios operacionales y estratégicos de la implementación, se identificaron beneficios como la disponibilidad de datos ambientales trazables, la proyección hacia verificaciones futuras bajo ISO 14064-1 y el posicionamiento competitivo en licitaciones o contratos que exijan

desempeño ambiental demostrado. Se diseñó de manera sólida una estructura de responsabilidades, una tabla de indicadores KPI para evaluar el sistema, y un plan de auditoría interna que permite la mejora continua conforme al ciclo PDCA.

Por último, el quinto objetivo específico, orientado a proponer un plan de implementación que permita gestionar y reportar emisiones de forma efectiva, fue abordado a través de un diseño metodológico en cinco fases: diagnóstico y preparación, cuantificación, desarrollo del inventario, elaboración del informe y mejora continua. Cada fase se documentó conforme a las secciones exigidas por la norma ISO 14064-1:2018 y adoptada al contexto organizacional de Aerocardal, con cronograma estimado de implementación de 3 a 4 meses y un costo proyectado entre 6,7 y 10,8 millones de pesos, lo que representa una inversión estratégica acorde a los beneficios esperados.

Finalmente, este trabajo demostró que es factible implementar un sistema de gestión de emisiones de Gases de Efecto Invernadero, en una empresa del segmento privado de aviación ejecutiva en Chile, utilizando herramientas internas existentes, con un enfoque técnico riguroso, bajo estándares internacionales. El sistema propuesto no sólo entrega resultados cuantitativos, sino que también establece bases para una cultura de sostenibilidad organizacional que puede mantenerse en el tiempo y ser replicada por otros operadores similares del sector.

4.1. RECOMENDACIONES

Como resultado del presente trabajo de plan de implementación de la norma ISO 14064-1:2018 en Aerolíneas menores a 10 toneladas, caso aplicado a Aerocardal, se proponen las siguientes recomendaciones orientadas a fortalecer el sistema de gestión de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) desarrollado, con la intención de asegurar su continuidad en el tiempo y fomentar una cultura organizacional comprometida con la sostenibilidad y la mejora continua:

1. Formalizar e institucionalizar el sistema de gases de efecto invernadero como parte del sistema de gestión corporativo.

Se recomienda incorporar el sistema de cuantificación y gestión de emisiones de gases de efecto invernadero dentro de los instrumentos formales de gestión de la empresa, como manual de calidad, la política ambiental y los procedimientos operacionales estándar (SOP's). Esta institucionalización implica también designar responsables oficiales y recursos operativos permanentes para la mantención del sistema. Con ello se asegura que el inventario de emisiones no dependa exclusivamente de iniciativas personales o temporales, sino que forme parte integral del funcionamiento estratégico de la organización. Esta recomendación responde a los principios de responsabilidad organizacional establecidos en la norma ISO 14064-1, particularmente en sus secciones sobre delimitación organizacional y documentación del sistema.

2. Ampliar progresivamente la cobertura hacia emisiones de Alcance 3

Si bien este trabajo se enfocó en emisiones de Alcance 1 y Alcance 2 por razones metodológicas y de trazabilidad, se recomienda explorar gradualmente la inclusión de algunas fuentes de Alcance 3. Entre ellas se podrían considerar los viajes de negocios, el transporte contratado o los residuos sólidos generados por la operación. Para ello, se sugiere iniciar con estimaciones conservadoras, y mejorar su precisión a medida que se disponga de datos más confiables. Esta ampliación permitirá ofrecer una visión más completa del impacto climático de la empresa, fortaleciendo su compromiso ambiental y su alineación con enfoque internacionales, como GHG Protocol y el programa CORSIA.

3. Evaluar la verificación del sistema bajo norma ISO 14064-3

Una vez el sistema esté consolidado y se haya ejecutado al menos un ciclo anual completo, se recomienda evaluar su verificación por una tercera parte independiente conforme a la norma ISO 14064-3. Este proceso permitirá validar la calidad del inventario, mejorar su credibilidad frente a clientes, autoridades y partes interesadas, y diferenciar a Aerocardal en licitaciones o acuerdos comerciales. La verificación puede ser limitada o razonable, y podría enfocarse inicialmente en los componentes de mayor impacto como el consumo de combustible Jet A1.

4. Avanzar en la automatización y digitalización de los datos fuente

Se recomienda fortalecer la automatización del sistema en aquellas fuentes que actualmente dependen de registros manuales, como el consumo de gasolina terrestre o el control de refrigerantes. Para ello, se sugiere explorar el uso de sensores digitales, formularios integrados o mejoras en las plataformas ya existentes como SAP o Workflow. La digitalización de los procesos reducirá errores, facilitará la auditoría interna y aumentará la eficiencia del sistema, en línea con el principio de trazabilidad y control de calidad que promueve ISO 14064-1.

5. Aplicar de forma activa los indicadores de desempeño (KPI) definidos

El desarrollo del sistema contempló un conjunto de indicadores clave de desempeño (KPI) orientados a facilitar el seguimiento operativo de las emisiones. Se recomienda su incorporación en reportes de gestión mensual o trimestral, de forma que cada área puede monitorear su desempeño ambiental y detectar oportunidades de mejora. Algunos de estos indicadores incluyen: emisiones por hora de vuelo, emisiones por tipo de aeronave, consumo eléctrico total, porcentaje de energía renovable y tasa de fuga de refrigerantes. Su monitoreo periódico permitirá tomar decisiones proactivas y basadas en evidencias.

6. Difundir internamente los resultados y capacitar al personal clave.

Finalmente, se recomienda establecer instancias de difusión y capacitación interna, dirigidas a todas las áreas involucradas en el sistema GEI. Estas instancias deben abordar la importancia de gestionar las emisiones, el rol de cada unidad dentro del sistema, y las herramientas disponibles para su implementación. La capacitación continua es fundamental para mantener la calidad del sistema, evitar errores por desconocimiento y fomentar una cultura organizacional.

BIBLIOGRAFÍA

- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2022). *Biblioteca del Congreso Nacional*. Retrieved from <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1172861>
- Chartright Air Group. (2021). *Sustainability and ESG Strategy Report*.
- Congreso Nacional de Chile. (2022). *Ley Marco de Cambio Climático N° 21.455*. Coquimbo.
- CORSIA. (2023). *ICAO*. Retrieved from International Civil Aviation Organization: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA>
- EBAA, European Business Aviation Association. (2022). *Sustainability Guidelines for Business Aviation Operators*.
- EPA. (2020). *epa.gov*. Retrieved from Greenhouse Gas Emission Standards for Aircraft: <https://www.europarl.europa.eu/portal/en>
- European Comission. (2023). *Climate Action*. Retrieved from Transport: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions_en
- Gobierno de Chile, Ministerio del Medio Ambiente. (2021). *Estrategía Climática de Largo Plazo de Chile*. Santiago.
- IATA, I. A. (2021). *Net Zero by 2050: IATA's Commitment to Fly Net Zero*. Retrieved from IATA: <https://www.iata.org/en/>
- ICCT, I. C. (2019). *Theicct*. Retrieved from Theicct: <https://theicct.org/publication/co2-emissions-from-commercial-aviation-2018/>
- IEA, I. E. (2025, 03 27). *Transport - Analysis*. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/transport>
- International Energy Agency, IEA. (2023). *IEA*. Retrieved from IEA.org: <https://www.iea.org/energy-system/transport/aviation>
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 14064-1:20218 - Greenhouse gases - Part 1: Spicification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse emissions and removals*.
- IPCC, C. I. (2021). *AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023*. Retrieved from IPCC: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>
- IPCC, International Panel on Climate Change. (2023). *Climate Change 2023*. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- Kwan A, & Sattar. (2021). Implementation of ISO 14064-1 in aviation SMEs: Challenges and Benefits. *Journal of Environmental Managment*, 289.

- LATAM Airlines. (2023). *Latam Airlines*. Retrieved from Sostenibilidad: <https://www.latamairlines.com/cl/es/sostenibilidad>
- Lee et al, D. F. (2021). The Contribution of Global Aviation to Anthropogenic Climate Forcing For 2000 to 2018. *ScienceDirect*, 244.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2022). *Herramientas HuellaChile*. Retrieved from Huella Chile: <https://huellachile.mma.gob.cl/>
- Ministerio del Medio Ambiente. (2023). *SNiChile*. Retrieved from Sistema Nacional de Inventario de Chile: <https://snichile.mma.gob.cl/inventario-de-emisiones>
- Ministerio del Medio Ambiente, C. (2021). Leyes Climáticas. *Estrategía Climática de Largo Plazo de Chile*. Retrieved from Climate Laws.
- MMA. (2023). *Informe del Inventario Nacional de Chile*. Santiago.
- Mokaena, T., & Smit, J. (2021). Carbon Footprint Assessment for Regional Aviation: The Case of Airlink. *Journal of Clean Transportation Research*, 14(2), 87-96.
- Naciones Unidas. (2015). *United Nations Framework Convention in Climate Change*. Retrieved from Unfccc: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- Open Airlines. (2023). *Blog.OpenAirlines*. Retrieved from Open Airlines: <https://blog.openairlines.com/how-much-fuel-per-passenger-an-aircraft-is-consuming>
- Ramírez, C. R. (2020). Gestión organizacional de emisiones GEI en transporte Aéreo regional. *Revista Ingeniería y Ambiente*, 43(2), 59-72.
- Sky Airlines. (2022). *BLog de Sky Airline*. Retrieved from <https://www.skyairline.com/blog/>
- Task Force On Climate - Related Financial Disclosures. (2017). *Recommendations of The Task Force on Climate - Related Financial Disclosures*. Basel.
- Time, M. (2024). United Airlines SAF investment fund expands to \$200 million. *Time Magazine*. Retrieved from <https://time.com>
- UNEP, U. N. (2023). *Emissions Gap Report*. Nairobi.
- UNFCCC, U. N. (2015). *Unfccc, the paris Agreetmen*. Retrieved from United Nation Climate Change: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- United Nations. (2023). *Climate Neutral Now*.
- World Economic Forum. (2023). *The Global risks Report* . Cologny / Geneva.

World Resources Institute & World Business Council for Sustainable Development. (2004).
The Greenhpuse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard.
Retrieved from The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and
Reporting Standard: <https://ghgprotocol.org>



**INFORME DE EMISIONES DE
GASES DE EFECTO
INVERNADERO**

EMPRESA: AEROCARDAL
AÑO BASE: 2024
VERSIÓN DEL INFORME: 1.0
FECHA DE EMISIÓN 09-06-2025

A.1. LIMITE ORGANIZACIONAL Y OPERACIONAL.

El presente informe se extiende desde el 1 de Enero de 2024 hasta el 31 de Diciembre de 2024. Para sus efectos, se consideró un límite organizacional basado en el control operacional, donde se incluyen únicamente actividades y activos bajo control directo de Aerocardal. En cuanto al límite operacional, se consideraron las emisiones directas (Alcance 1), y emisiones indirectas por electricidad adquirida (alcance 2). Para las primeras versiones de este informe se excluirán emisiones de indirectas (Alcance 3) por falta de trazabilidad metodológica adecuada.

A.2. FUENTES INCLUIDAS

A.2.1. ALCANCE 1

- Se incluyeron las aeronaves en las cuales Aerocardal tiene control completo y directo de estas. Los datos de las aeronaves fueron obtenidos a través de Qlikview, plataforma interna de procesador de datos, los cuales a su vez son ingresados directamente de las bitácoras de vuelo de cada operación.

Helicópteros	Turbohélices	Jets Ejecutivos	Pilatus
2 Agusta A109S	3 Dornier 228	2 Gulfstream G150	1 PC-12
2 Agusta A109	1 Let 410 NG	1 Gulfstream G280	1 PC-24
1 Agusta A109E			

Tabla A2.1.1.: Resumen de las aeronaves operativas consideradas de Aerocardal. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la empresa Aerocardal.

- Aerocardal a su vez, posee vehículos terrestres que consumen combustible, entre ellos están, una Van de uso interno, una Camioneta, si bien estos no pueden medirse de forma particular por falta de trazabilidad de datos, si se cuenta con las facturas del proveedor de combustible, lo que hace posible la medición de forma. Cabe recalcar que quedan dentro de esta categoría por estar en completo control de Aerocardal, donde lo que se compra se consume (combustible).
- Los refrigerantes que posee Aerocardal dentro de sus instalaciones son todos R-410A, estos datos provienen directamente del contacto con el proveedor y cabe mencionar que no han existido fugas desde que se instalaron en 2022 hasta 2024 por lo que el

tratamiento de este será completo hasta la fecha indicada de consideración del informe.

A.2.2. ALCANCE 2

- Red eléctrica nacional, estos datos de emisión se obtienen a través del proveedor directo por medio de la facturación mensual de las instalaciones completas de Aerocardal. Además, dentro de las operaciones de Aerocardal se encuentran 2 tractores utilizados para mover aviones, los cuales no se tiene control directo de medición, pero si son eléctricos y utilizan las instalaciones de Aerocardal para la carga. Por otro lado, se cuenta con 5 GPU eléctricos, los cuales tampoco se cuenta con un control directo de utilización, pero pueden ser incluidos indirectamente en la red al utilizar las instalaciones.
- Por otro lado, Aerocardal posee paneles solares, pensando en la Carbono neutralidad, que favorece a la utilización de energía renovable y que la organización obtiene para su propio consumo. Los datos se obtienen a través de la página web directa del proveedor con el usuario designado a Aerocardal.

A.2.3. ALCANCE 3

- No se consideraron emisiones de alcance 3 para este informe.

A.3.

FACTORES DE EMISIÓN UTILIZADOS

<i>Fuente de emisión</i>	<i>Unidad</i>	<i>Factor de emisión</i>	<i>Fuente técnica</i>
<i>Jet A1</i>	[kg CO ₂ /litro]	3,15	IPCC (2006). <i>Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.</i>
<i>Diésel</i>	[kg CO ₂ /litro]	2,64	IPCC (2006).
<i>Electricidad en Chile</i>	[kg CO ₂ /kWh]	0,33	Ministerio de Energía de Chile (2022). <i>Factores de Emisión para el SEIN.</i>
<i>Electricidad de Paneles Solares</i>	[kg CO ₂ /kWh]	-0,33	Ministerio de Energía de Chile (2022). <i>Factores de Emisión para el SEIN.</i>
<i>R-410A (refrigerante)</i>	[kg CO ₂ /kg]	2.088	IPCC (2014). <i>Fifth Assessment Report (AR5), GWP 100 años.</i>

Tabla A.3.1.: Fuentes de emisiones consideradas para realizar el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero.
 Fuente: Elaboración propia.

A.4. RESULTADOS CONSOLIDADOS POR FUENTE Y ALCANCE

AÑO 2024				
TIPO	UNIDAD	CANTIDAD	FACTOR	TOTAL EMISIÓN tCO2e
COMBUSTIBLE AERONAVES JET A1	[LITROS]	1.804.503,7	3,15	5.684,2
REFRIGERANTE R-410A	[KG]	91,1	2.088	190,3
COMBUSTIBLE TERRESTRE	[LITROS]	6.910,0	2,64	18,2
TOTAL ALCANCE 1				5.892,7
ELECTRICIDAD	[kWh]	214.553,0	0,33	70,8
PANEL SOLAR	[kWh]	409.312,6	-0,33	-135,1
TOTAL ALCANCE 2				-64,3
TOTAL AEROCARDAL				5.828,4

Tabla A.4.1.: Consolidación de las fuentes de emisión por fuente y alcance para el año 2024. Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar de la tabla 3 que Aerocardal no tiene la obligación de participar del proyecto CORSIA por cantidad de emisiones, ya que no cumple con las 10.000 Toneladas de emisiones a nivel organizacional.

Para la metodología de cálculo se aplicó una formula estándar que es la siguiente:

$$Emisiones = \frac{Dato\ de\ Actividad\ x\ Factor\ de\ emisión}{1000}$$

Finalmente, las emisiones de CO2e fueron de 5.828,4 Toneladas por parte de Aerocardal.

A.5. KPI's

FACTOR DE EMISIÓN				3,15	[KG CO2e]
TIPO	MATRÍCULA	HORAS VOLADAS	CANTIDAD [KG]	TOTAL EMISIÓN [tCO2e]	EMISIONES POR HORA DE VUELO [tCO2e/hr]
HELICÓPTEROS	CC-ACK	14,8	3.284,1	10,3	0,7
	CC-ANZ	33,6	7.465,9	23,5	0,7
	CC-AKD	5,8	1.390,2	4,4	0,8
	CC-DBA	54,0	12.603,7	39,7	0,7
	CC-AHY	49,0	12.876,8	40,6	0,8
SUBTOTAL		157,2	37.620,7	118,5	0,8
TURBOPROP	CC-AAQ	293,1	109.233,6	344,1	1,2
	CC-CWC	105,5	38.892,0	122,5	1,2
	CC-CWX	241,4	78.805,4	248,2	1,0
	CC-DLI	72,2	24.663,0	77,7	1,1
SUBTOTAL		712,1	251.594,0	792,5	1,1
GULFSTREAM	CC-AOA	566,1	489.798,4	1.542,9	2,7
	CC-CWK	579,1	511.464,8	1.611,1	2,8
	CC-AYY	403,8	428.304,8	1.349,2	3,3
SUBTOTAL		1.548,9	1.429.568,0	4.503,1	2,9
PILATUS	CC-ANY	282,2	66.507,3	209,5	0,7
	CC-DRS	34,2	19.213,6	60,5	1,8
SUBTOTAL		316,4	85.720,9	270,0	0,9
TOTAL		2734,6	1804503,7	5684,2	2,08

Tabla A.5.1: Total de emisiones por Aeronave durante el año 2024 de la flota operativa de Aerocardal. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por Aerocarlda

De la tabla A5.1. se puede apreciar que Aerocardal tuvo una emisión de 2,1 tCO₂e/hr para su flota operativa, además que la categoría que más consume son las aeronaves Gulfstream, esto es directamente proporcional con la cantidad de horas que volaron durante el año 2024.

A.6. EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Tipo	Incertidumbre FA (%) ±	Incertidumbre DA (%) ±	Incertidumbre total	E^2	U^2	(E^2)*(U^2)
Combustible Jet A-1	1	2	2%	32309976,2	0,001	16155,0
Refrigerante R410A	10	10	14%	36206,3	0,020	724,1
Combustible Terrestre	15	5	16%	332,8	0,025	8,3
Electricidad	5	5	7%	5013,0	0,005	25,1
Panel Solar	5	10	11%	18244,8	0,013	228,1
Total Inventario			2%			

Tabla A.6.1.: Tabla de los cálculos de incertidumbre según el IPCC. Fuente: Elaboración propia a partir de los estándares del IPCC.

Luego de aplicar las recomendaciones del IPCC para calcular la incertidumbre, se obtuvo que Aerocardal tiene un 2% de incertidumbre en sus reportes de inventario de gases de efecto invernadero.

A.7. EXCLUSIONES JUSTIFICADAS

- Emisiones de Alcance 3 (servicios contratados, viajes de negocios, residuos); excluidas por falta de trazabilidad.
- Generadores de Energía para las instalaciones por falta de trazabilidad en la utilización.
- Fugas de gases refrigerantes que se pueden haber concretado pero que no se trazaron.

Estas exclusiones están justificadas conforme a la sección 7.1 y 9.2 de la norma ISO 14064-1, que son tanto de trazabilidad como de materialidad.

X

Nombre
Coordinador Implementación Norma ISO 14...

ANEXO 2

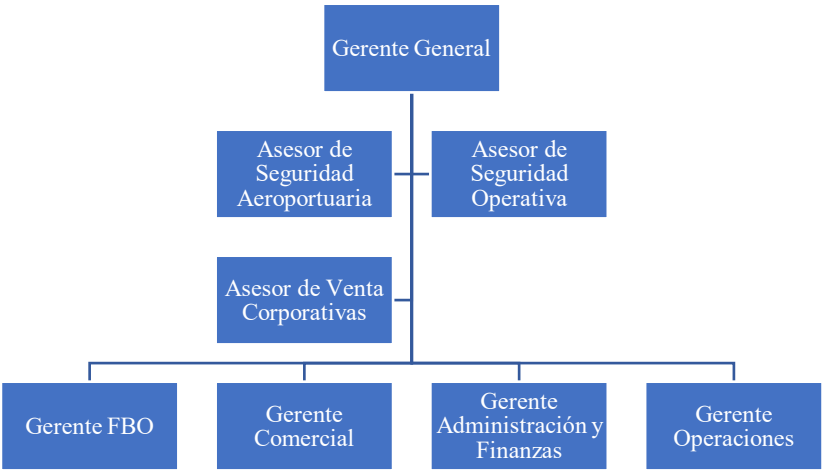


Ilustración A.2.1: Organigrama gerencial de Aerocardal. Fuente Aerocardal.

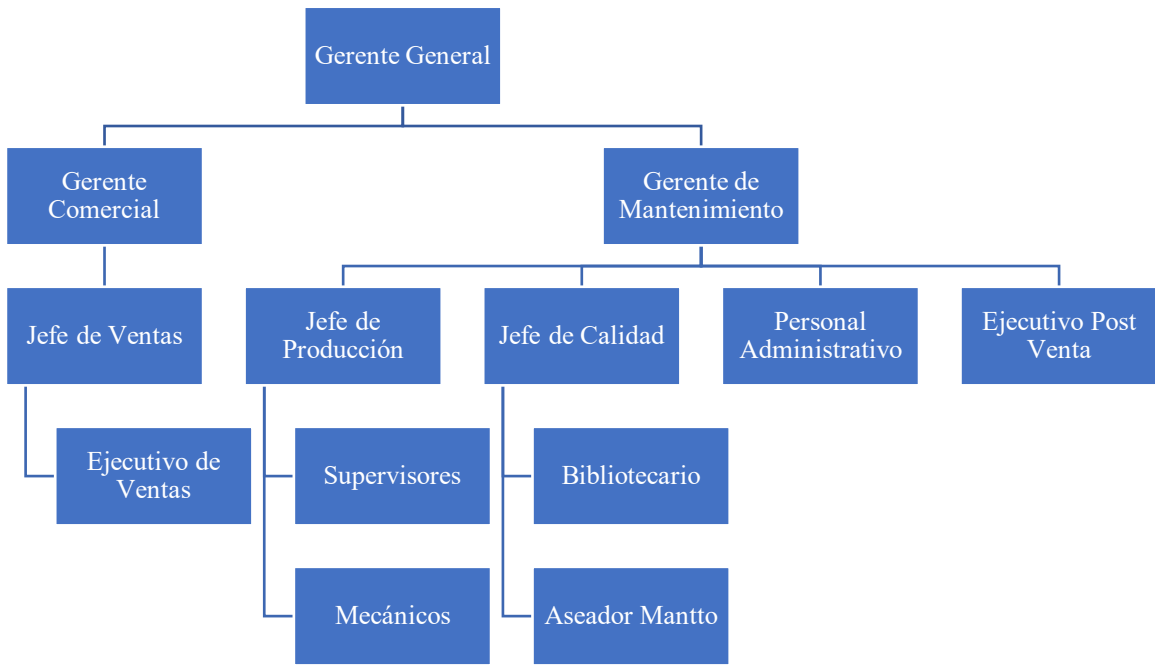


Ilustración A.2.2.: Organigrama gerencias comercial y de mantenimiento de Aerocardal. Fuente: Aerocardal.

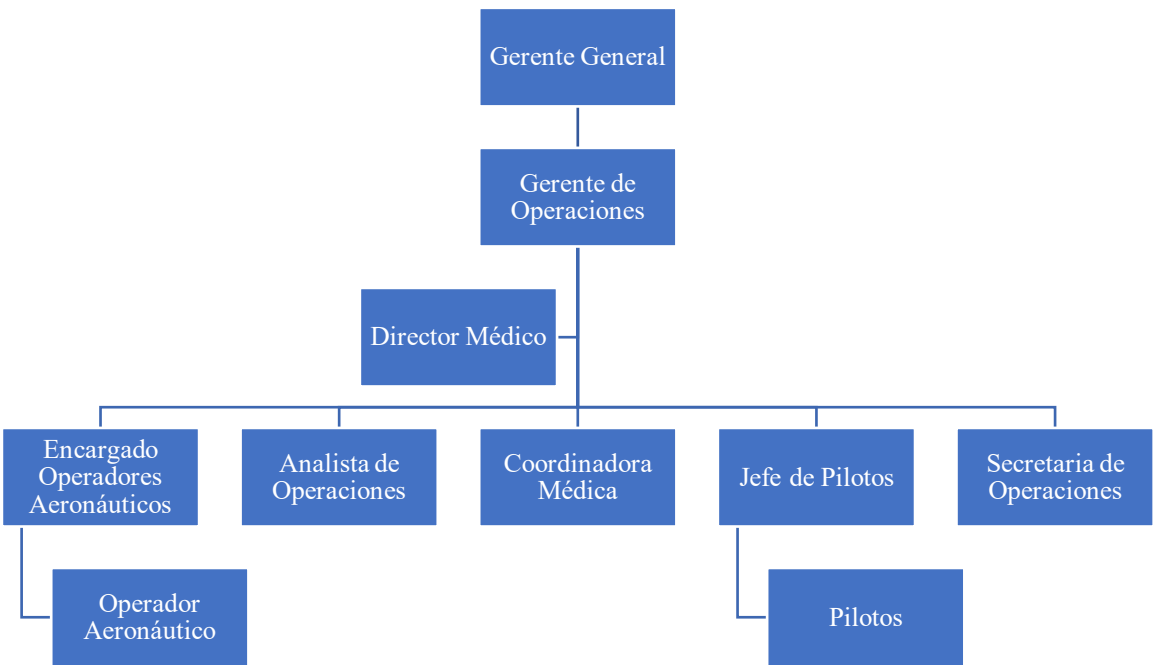


Ilustración A.2.3.: Organigrama de gerencia de operaciones de Aerocardal. Fuente: Aerocardal.

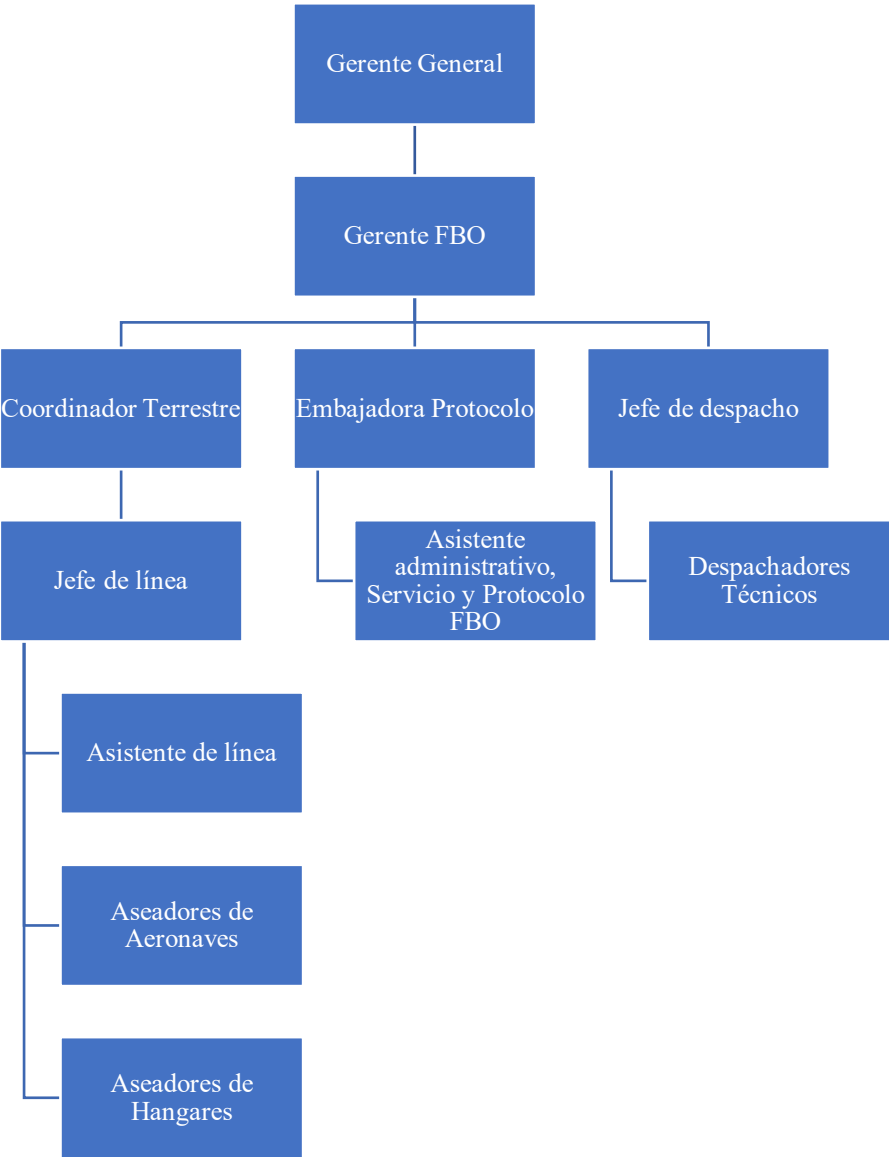


Ilustración A.2.4.: Organigrama gerencia de FBO de Aerocardal. Fuente: Aerocardal.

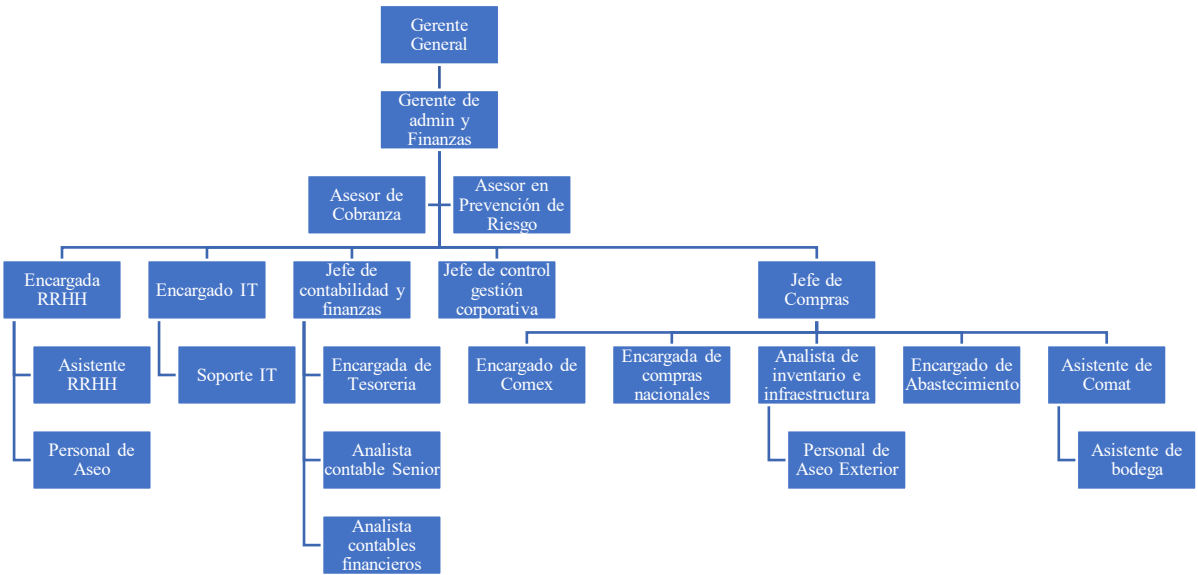


Ilustración A.2.5.: Organigrama gerencia de administración y finanzas de Aerocardal. Fuente: Aerocardal.