ANÁLISIS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN PROYECTOS AEROPORTUARIOS Y DE CONECTIVIDAD

RESUMEN EJECUTIVO | JULIO 2023

Ministerio de Obras Públicas

Gobierno de Chile

EBP

Equipo del proyecto

EBP Chile SpA

Antonio Espinoza
Mauricio Villaseñor
Rubén Méndez
Sofía Fuentes
Nicolas Ricci

E3 Ingeniería

Paola Valencia
Matías Yachán

Contraparte técnica

Ministerio Obras Públicas

Evelyne Medel
María Teresa Alarcón
María Paola Orellana
Martita Molina
Tamara Vega
José Rojas
Pablo Ibañez
Catalina Riquelme
Victor Reyes

EBP Chile SpA
La Concepción 191
Piso 12, Of. 1201
Comuna Providencia
Santiago de Chile
Teléfono +56 2 2573 8505
mauricio.villasenor@ebpchile.cl
www.ebpchile.cl

Santiago de Chile, julio de 2023

ÍNDICE

Presentación 7

1. Introducción 8

1.2 Introducción 8

1.3 Alcance 8

2. Metodología de análisis y evaluación de huella de carbono 9

2.1 Enfoque de ciclo de vida para los casos de estudio 10

2.2 Estructura y categorización para el análisis de los casos de estudios 12

3. Casos de estudio 14

3.1 Proyecto 1: Construcción Nuevo Aeródromo de Peldehue 15

3.2 Proyecto 2: Conservación Aeródromo María Dolores 19

3.3 Proyecto 3: Reposición Ruta D – 605 Punitaqui-Manquehua 23

3.4 Proyecto 4: Reposición Puente Quillagua en Ruta 5 27

3.5 Comparaciones y análisis derivado de los casos de estudio 31

4. Estrategias de Mitigación 37

4.1 Medidas generales 38

4.2 Medidas específicas – Materiales y procesos constructivos 40

4.3 Medidas específicas – Transporte y maquinaria 44

4.4 Medidas específicas – Tecnologías, ERNC y Diseño Pasivo 45

5. Propuesta de procedimiento (paso a paso) para el cálculo de emisiones de proyectos de infraestructura 49

6. Conclusiones y recomendaciones 53

6.1 De la revisión de metodologías nacionales e internacionales 53

7. Bibliografía 57

ÍNDICE DE SIGLAS

ACV: Análisis de ciclo de vida
CDT: Corporación de Desarrollo Tecnológico
COP: Coefficient of Performance (Coeficiente de rendimiento)
CSTB: Centre Scientifique et Technique du Batiment (Centro Científico y Técnico de la Edificación)
DAP: Declaración ambiental de producto
DGAC: Dirección General de Aeronáutica Civil
DGNB: German Sustainable Building Council (Consejo Alemán de Construcción Sostenible)
DGOP: Dirección General de Obras Públicas
EER: Energy Efficiency Ratio (Ratio de Eficiencia Energética)
EE.TT: Especificaciones Técnicas
EPD: Environmental Product Declaration
ERNC: Energías Renovables No Convencionales
GWP: Global Warming Potential (Potencial de calentamiento global)
MOP: Ministerio de Obras Públicas
PTAS: Planta de Tratamiento de Aguas Servidas
RICS: Royal Institution of Chartered Surveyors
RETC: Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes
NDC: Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional
VOR: Radiofaro omnidireccional de muy alta frecuencia.

01199

ANÁLISIS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN PROYECTOS AEROPORTUARIOS Y DE CONECTIVIDAD

PRESENTACIÓN

Les presento el resumen ejecutivo de la consultoría Análisis de reducción de emisión de gases de efecto invernadero en proyectos aeroportuarios y de conectividad, sobre la huella de carbono y las oportunidades de mitigación en la infraestructura y edificación pública.

Este resumen es el resultado de un extenso trabajo realizado por nuestro equipo de expertos en colaboración con organizaciones especializadas en el ámbito de la sostenibilidad. Nuestro objetivo ha sido evaluar el impacto ambiental de la infraestructura pública en términos de emisiones de carbono y, al mismo tiempo, identificar oportunidades significativas para reducir nuestra huella y promover prácticas más amigables con el medio ambiente.

A lo largo de este informe, encontrarán un análisis detallado de cada etapa del ciclo de vida de la infraestructura y edificación pública, considerando, además, las particularidades específicas que derivan de cada tipología de proyecto MOP. Esto se pone a prueba en la estimación de la huella de carbono de 4 proyectos pilotos, dos de aeródromos y dos de caminos públicos, analizando paso a paso las decisiones a tomar, los supuestos a utilizar y los parámetros clave que permitirán la correcta estimación y posterior gestión de la huella de carbono para cada caso. Se presentan datos precisos y recomendaciones concretas para implementar medidas de mitigación, así como estimaciones sobre los beneficios ambientales y económicos asociados a estas acciones.
En un país como Chile, con una rica diversidad de paisajes y ecosistemas frágiles, es esencial que asumamos la responsabilidad de proteger y preservar nuestro entorno natural, teniendo en consideración las especificidades locales que hacen de cada ubicación un lugar único. La infraestructura y edificación pública desempeña un papel fundamental en nuestro desarrollo y bienestar, y al abordar la huella de carbono, tenemos la oportunidad de liderar el camino hacia un futuro más sostenible.

Quiero agradece a todos y todas las profesionales que han contribuido a este informe. Su experiencia y dedicación han sido fundamentales para el éxito de este proyecto. Asimismo, los invito a considerar seriamente las recomendaciones presentadas en este informe y a trabajar juntos para implementarlas de manera efectiva.

En conclusión, la mitigación de la huella de carbono en la infraestructura y edificación pública es un desafío urgente y necesario. Este informe proporciona un punto de partida sólido para nuestra acción colectiva, sobre esta base podemos construir y avanzar hacia infraestructura y edificaciones resilientes al clima y bajas en carbono. Espero que nos inspire a redoblar nuestros esfuerzos en la búsqueda de un futuro más sostenible y próspero para Chile y las generaciones venideras.

Muchas gracias.

Atentamente,

Valeria Bruhn C.,
Directora General de Obras Públicas

1. INTRODUCCIÓN

1.2 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al resumen ejecutivo de la consultoría denominada **"Análisis de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en proyectos aeroportuarios y de conectividad".** Este proyecto corresponde a la licitación ID 980-8-LP22 a cargo de la Dirección General de Obras Públicas del Ministerio de Obras Públicas, y es ejecutada por el equipo de EBP Chile SpA con el apoyo del equipo de E3 Ingeniería.

El propósito de esta consultoría es analizar, bajo un enfoque de la "cuna a la tumba" en las distintas etapas del ciclo de vida, diversos proyectos aeroportuarios y viales para determinar medidas efectivas que permitan la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en dichas infraestructuras. Lo anterior se realiza en coherencia a la normativa vigente en temas de cambio climático en el Ministerio de Obras Públicas (MOP 2017).

1.3 ALCANCE

El alcance de este resumen ejecutivo abarca los siguientes contenidos:

- Metodología de análisis y contexto del cálculo de emisiones en el ciclo de vida de los casos de estudio.
- Resultados consolidados de la evaluación de emisiones de los casos de estudio, líneas base de referencia por tipología de proyecto.
- Propuesta de medidas/estrategias para reducir las emisiones de proyectos aeroportuarios y de conectividad, tomando como base los resultados del estudio, talleres con direcciones y revisión de bibliografía nacional e internacional.
- Propuesta de procedimiento para el cálculo de emisiones de proyectos de infraestructura
- Sistematización, comparaciones y conclusiones derivadas del estudio.

2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE HUELLA DE CARBONO

La metodología para el cálculo de la huella de carbono de los casos de estudio considerados en la consultoría se define en base a la norma europea EN 15978:2011[1], la cual propone un conjunto de módulos de información para la evaluación ambiental de las diferentes etapas de la construcción y operación de un proyecto bajo un Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Adicionalmente, se utiliza el estándar RICS[2] "Whole life carbon assessment for the built environment", entendido como una guía práctica específica para la interpretación y aplicación de la metodología de la EN 15978, con el fin de normalizar la evaluación de huella de carbono y mejorar la coherencia en los resultados, aumentado la confiabilidad y comparabilidad de cada evaluación.

El cálculo como tal es realizado mediante la herramienta RUKARU[3], desarrollada por EBP Chile en el año 2021, y que contempla en su motor de cálculo las metodologías internacionales anteriormente descritas. El ingreso de datos y visualización de resultados son flexibles y dinámicos, lo que facilita el trabajo de evaluación en el contexto del proyecto. Cabe destacar que RUKARU ha sido utilizada en el levantamiento de otras edificaciones públicas, como es el caso del proyecto Centro de día del adulto mayor en Punta Arenas[4].

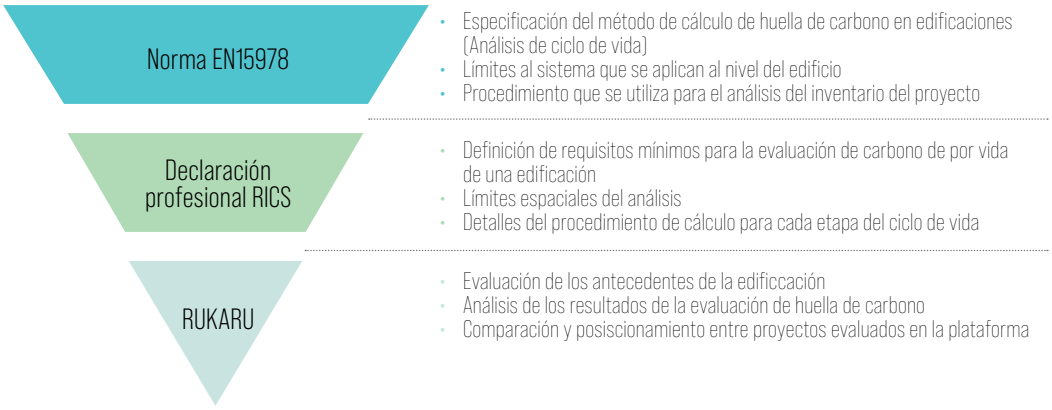

Figura 1: Representación de jerarquía de análisis entre estándares y herramientas de cálculo. Fuente: Elaboración propia.

[1] EN 15978:2011 "Sostenibilidad de las obras de construcción - Evaluación del desempeño ambiental de los edificios".
[2] RICS Royal Institution of Chartered Surveyors, https://www.rics.org/uk/
[3] https://www.rukaru.cl/
[4] https://www.certificacion-sustentable.cl/wp-content/uploads/2022/05/Infografia_EdificiosPublicos-04.pdf

A nivel nacional no existen referencias previas de estudios de huella de carbono bajo enfoque de ciclo de vida para obras de infraestructura del tipo aeroportuario o vial, y tampoco existe mucha información disponible de referencias internacionales, siendo este estudio un primer precedente para este tipo de proyectos.

Por lo anterior, tanto la norma EN15978 (EN 2011), el estándar RICS (RICS 2017), como la plataforma RUKARU han tenido una orientación y experiencia principalmente en la evaluación de edificios de carácter residencial y comercial, por lo que existen ciertos aspectos metodológicos que no necesariamente concuerdan con la tipología de proyectos de los casos de estudio, tales como la clasificación de partidas de obra, pero que igualmente serán utilizados para efectos del presente proyecto.

2.1 ENFOQUE DE CICLO DE VIDA PARA LOS CASOS DE ESTUDIO

El análisis de ciclo de vida propuesto por los estándares antes mencionados contempla cinco etapas que están estandarizadas en la norma europea EN 15978:2011, las que se describen a continuación:

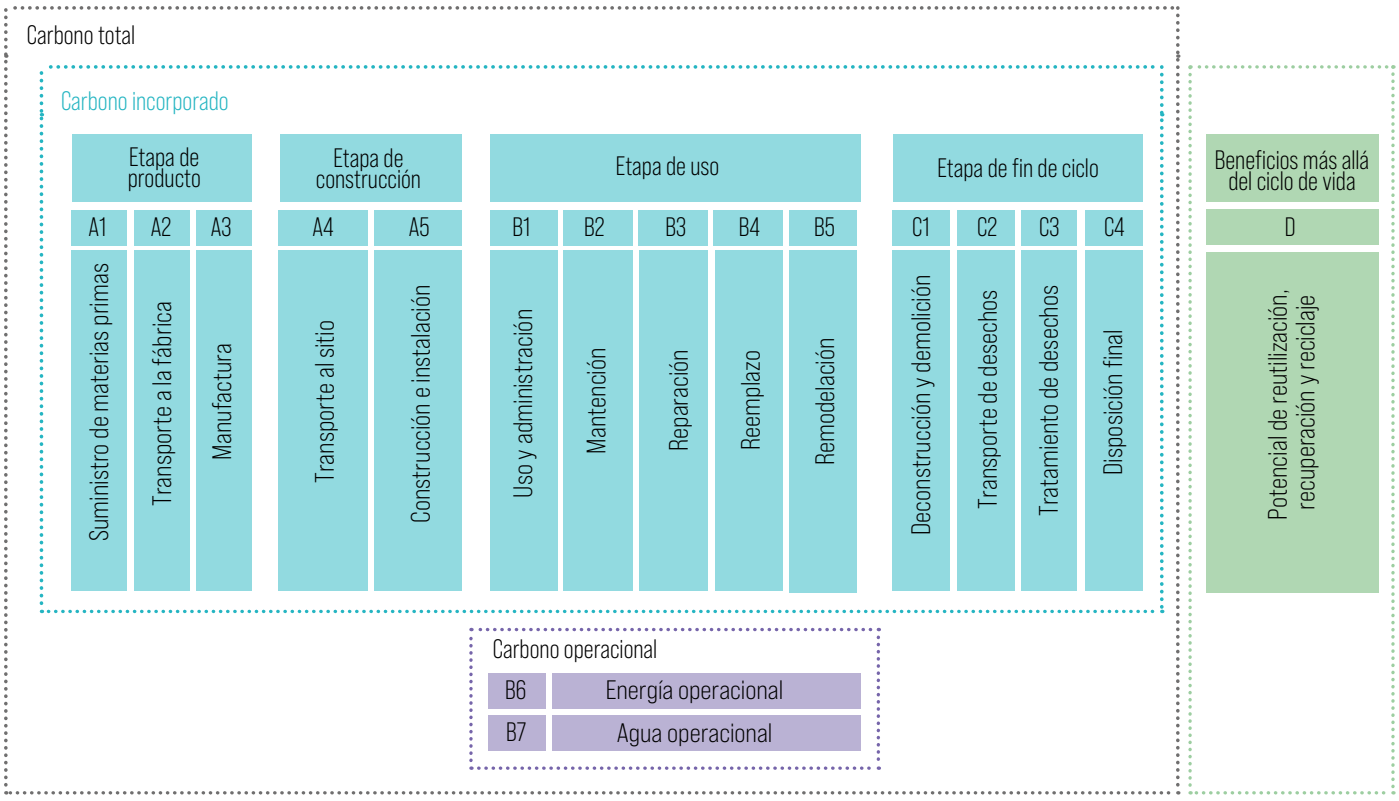

Figura 2: Esquema general de módulos para análisis ciclo de vida, Norma EN 15978.
Fuente: Elaboración propia.

La etapa de producto (A1-A3): se relaciona con la huella asociada a los materiales, desde la extracción de materias primas hasta la puesta en los centros de distribución de los proveedores (conocido en inglés como “cradle to gate”). Los datos correspondientes a las emisiones de los materiales utilizados provienen de fuentes oficiales conocidas como declaraciones ambientales de productos (EPD por sus siglas en inglés), las cuales indican el valor de las tres etapas (A1-A3) de forma consolidada.

La etapa de construcción (A4-A5): contempla en primer lugar las emisiones asociadas al transporte (A4) de los materiales hasta el sitio de construcción. En segundo lugar, contempla las emisiones asociadas al proceso constructivo in situ (A5).

La etapa de uso (B1-B7): considera tanto emisiones de carbono incorporado como operacional. Las emisiones de carbono incorporado (B1-B5) están asociadas principalmente a la renovación requerida por la infraestructura para mantener sus condiciones de operación (mantención, reemplazo de materiales o equipos, reparaciones y/o remodelaciones). Las emisiones de carbono operacional (B6-B7) están asociadas a los consumos de energía y agua de las distintas dependencias del proyecto durante su operación. El estándar RICS propone que para proyectos de infraestructura se debe proyectar una vida útil referencia de 120 años.

La etapa de fin de vida (C1-C4): se relaciona con las emisiones asociadas al desmantelamiento, demolición y disposición final de los materiales y elementos que conforman el proyecto una vez este deja de ser funcional y termina su vida útil.

La etapa de beneficios (D): cuantifica los beneficios o cargas medioambientales netos resultantes de la reutilización, el reciclado y la recuperación de energía a partir de los flujos netos de materiales y energía exportada que salen de los límites del sistema.

En la reunión de inicio con la contraparte, se estableció que los proyectos de infraestructura del MOP son diseñados para perdurar en el tiempo, y siempre se establecerán procesos de adecuación/remodelación y conservación para mantenerlos vigentes y operativos. En base a lo anterior, el alcance de la evaluación para efectos de los casos de estudio no contemplará los módulos de la etapa de fin de vida (C1-C4). Además, debido al tipo de proyectos de infraestructura que desarrolla el Ministerio de Obras Públicas, los módulos B1, B2 y B7 no serán considerados, toda vez que sus emisiones serían despreciables.

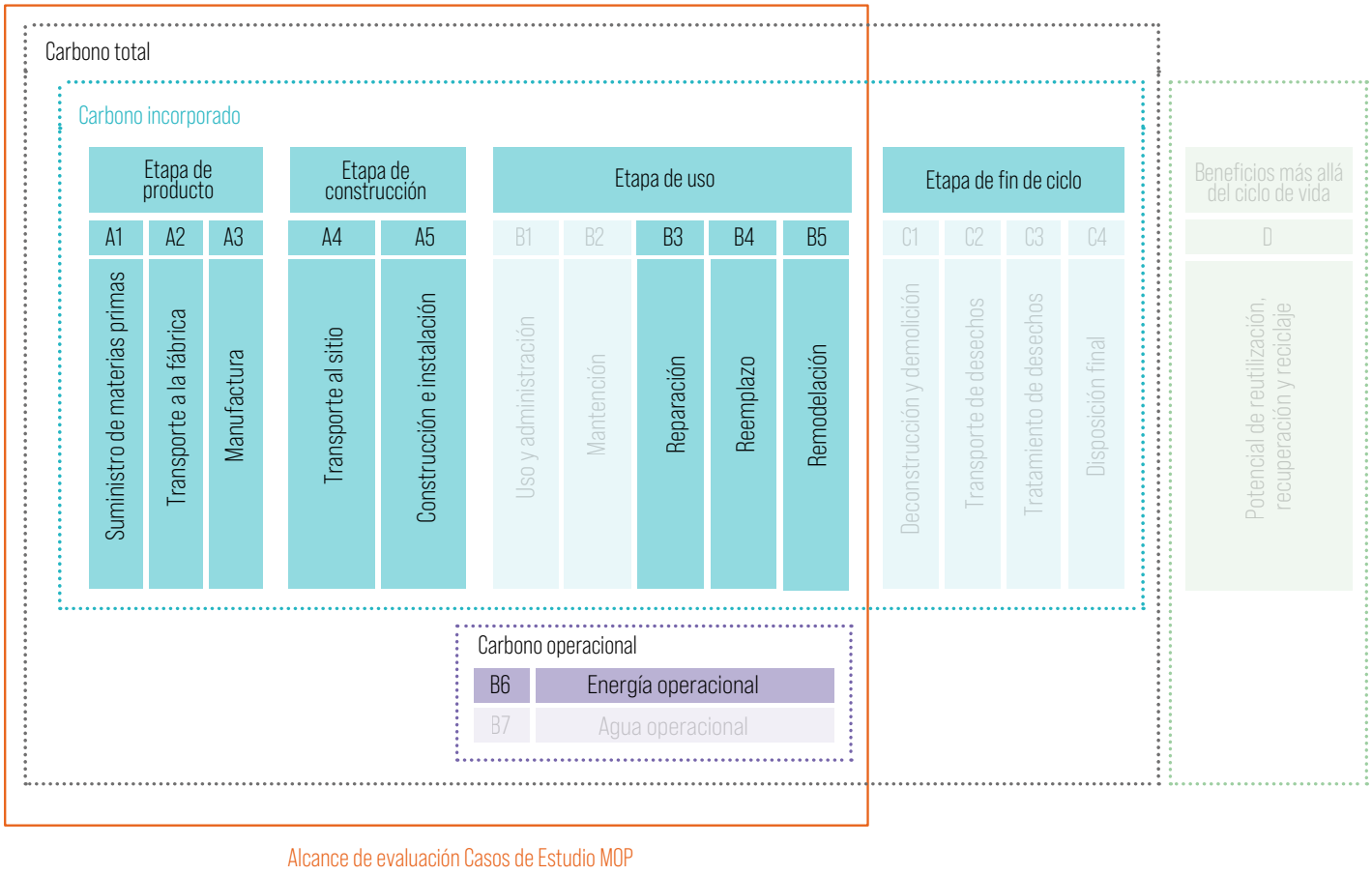

Figura 3: Etapas de ciclo de vida consideradas para la evaluación de los casos de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

2.2 ESTRUCTURA Y CATEGORIZACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LOS CASOS DE ESTUDIOS

Para la evaluación de los casos de estudio se realizó una estructuración y segmentación de los proyectos que permite llevar a cabo en forma ordenada el análisis de cada uno de sus distintos elementos. Para esto, se trabajó en base a la terminología empleada por parte de los equipos MOP para los diferentes tipos de proyectos. Es así como, en primer lugar, se dividieron los proyectos en las siguientes dos grandes categorías: “infraestructura vertical” e “infraestructura horizontal”. De acuerdo con los antecedentes entregados por profesionales del MOP, la diferencia entre ellas consiste en que la Infraestructura Vertical abarca elementos ubicados sobre la cota de terreno, mientras que la Infraestructura Horizontal considera elementos a nivel de la cota de terreno. En segundo lugar, se contemplan subcategorías, cuyo objetivo es dividir edificios o componentes del proyecto que tienen diversos usos. A continuación, se presenta una tabla que ejemplifica esta estructura de organización de los proyectos.

Tabla 1: Estructura y categorización para análisis de proyectos.
Fuente: Elaboración propia.

Categorías	Ejemplos Subcategorías
Infraestructura Vertical	Edificaciones (Edificio Administrativo, Torre de control, etc.)
	Superestructura puentes (pilares, fundaciones, etc.)
	Obras Complementarias (cierres perimetrales, casetas, etc.)
Infraestructura Horizontal	Área de movimiento (pista, plataforma, área de maniobra, etc.)
	Caminos (base y subbase, pavimentos, etc.)
	Obras complementarias (alcantarillados, drenajes, etc.)

Con esta clasificación se busca tener un mayor nivel de especificidad en el análisis de emisiones por unidad de superficie. Por ejemplo, en el caso de infraestructura aeroportuaria se definen subcategorías como: Terminal de pasajeros, obras complementarias, torre de control, entre otras.

3. CASOS DE ESTUDIO

En el proyecto se analizaron cuatro casos de estudio, dos de ellos relacionados con infraestructura aeroportuaria y los otros dos relacionados con infraestructura vial. En el primer caso aeroportuario, se evaluó un contrato de construcción de un nuevo aeródromo. En el segundo caso aeroportuario, se evaluó un contrato de conservación de un aeródromo existente. En cuanto a los casos de infraestructura vial, se evaluó un contrato de reposición de un tramo vial y un contrato de reposición de un puente.

Si bien estos casos no logran reflejar todas las tipologías de proyecto y tipos de contrato que se gestionan desde las direcciones de aeropuerto y vialidad, proporcionan una valiosa visión inicial del contexto y permiten extrapolar aprendizajes y resultados para otros tipos de proyectos.

Proyecto 1: Construcción Nuevo Aeródromo de Peldehue
Proyecto 2: Conservación Aeródromo María Dolores

Proyecto 3: Reposición Ruta D – 605 Punitaqui-Manquehua
Proyecto 4: Reposición Puente Quillagua en Ruta 5

3.1 PROYECTO 1: CONSTRUCCIÓN NUEVO AERÓDROMO DE PELDEHUE

Descripción general

Este proyecto corresponde a la construcción de un aeródromo ubicado en la comuna de Colina. Cuenta con una pista de aterrizaje de 1.500 de largo y 30 de ancho, de asfalto, además cuenta con una torre de control e infraestructura administrativa y técnica. Esta nueva infraestructura tiene la capacidad de absorber alrededor de un 30% de los vuelos que se realizan en el aeródro mo de Tobalaba y será el lugar de operaciones de varias escuelas de vuelo de Santiago y de la Región de Valparaíso, con vuelos de instrucción aérea, de aviación general y comercial, atención de emergencias, urgencias médicas, vuelos policiales y militares, entre otros. Las siguientes figuras muestran el proyecto durante su proceso de construcción.

Figura 4: Vista general construcción Aeródromo Peldehue. Fuente: Zañartu Ingenieros.

Los datos generales de este proyecto son los siguientes:

Tabla 2: Datos generales del proyecto Aerodro Peldehue
Fuente: Elaboración propia.

Datos generales proyecto	
Ubicación del proyecto	Comuna de Colina, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana, Chile.
Inspector fiscal del proyecto	Moisés Oñate (moises.onate@mop.gov.cl)
Contratista	Constructora Arauco S.A.
Superficie construida evaluada	676 [m^2] (Edificio administrativo)
	50 [m^2] (Torre de control)
	120 [m^2] (P.T.A.S.) 84 [m^2] (Sala eléctrica)
Superficie losa aeropuerto evaluada[5]	77.691,11 [m^2] (Área de movimiento)
Tiempo de ejecución del proyecto	Mayo 2017 – julio 2019

En base a la disposición en terreno del Aeródromo Peldehue, se analizó el contenido y desglose del itemizado con el objetivo de discernir entre las categorías o infraestructuras que componen el proyecto y sus subcategorías a evaluar. Las categorías y subcategorías que se contemplan en la evaluación son las presentes en la Figura 5.

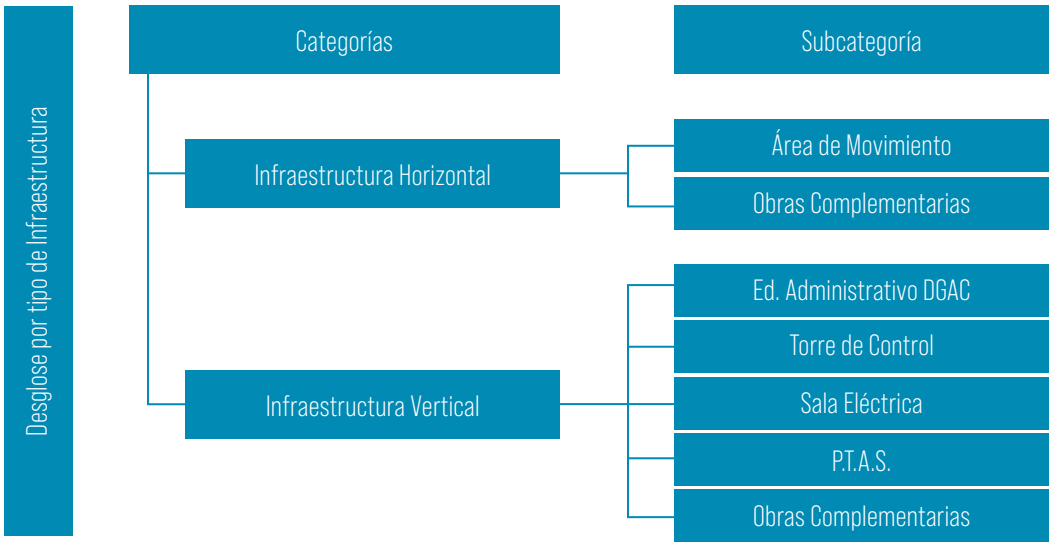

Figura 5: Esquema de análisis para la evaluación del Aeródromo Peldehue.
Fuente: Elaboración propia.

[5] Contempla pista aterrizaje, pistas de rodaje y plataforma.

Cada subcategoría seleccionada incluye todos los componentes que la conforman, sin embargo, de forma aclaratoria se menciona que “obras complementarias” abarca elementos de drenaje, paisajismo, urbanismo, entre otros, mientras que “área de movimiento” considera la pista de aterrizaje, pistas de rodaje y las plataformas. La Figura 6 muestra la distribución espacial de las diversas subcategorías evaluadas.

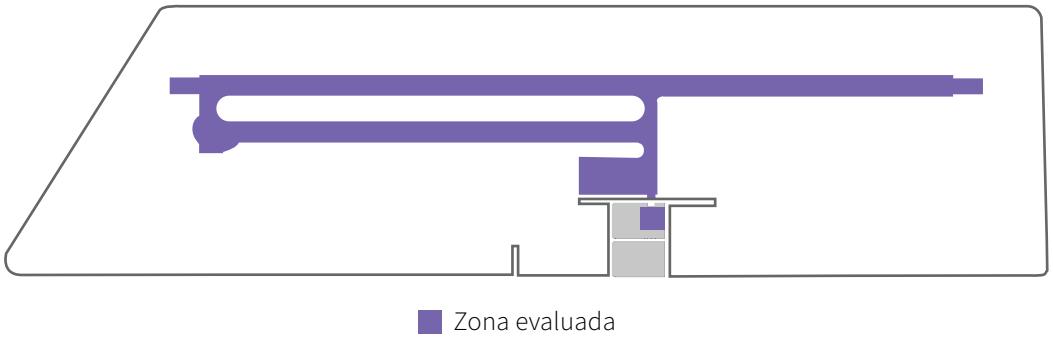

Figura 6: Planta esquemática de áreas a evaluar del Aeródromo Peldehue.
Fuente: Elaboración propia.

Resultados consolidados

En base a la información disponible a la fecha de esta entrega, se calculó la huella de cada una de las subcategorías contempladas en el proyecto. El resultado agregado es de 17.929 TonCO_2eq

Tabla 3: Datos agregados de emisiones del Aeródromo de Peldehue[6].
Fuente: Elaboración propia.

	Subcategoría						
Módulo del ciclo de vida	**Área Movimiento**	**Edificio DGAC**	**Torre de control**	**PTAS**	**Sala eléctrica**	**Obras complementarias**	**% participación**
A1-A3	2.363.646	621.024	150.769	58.433	25.252	1.098.198	24%
A4	602.026	8.155	4.430	2.311	764	49.108	4%
A5	3.659.201	177.345	89.695	90.454	89.005	787.524	27%
B4	482.553	243.712	21.290	2.135	4.409	73.796	5%
B6	144.475	3.178.459	1.950.418	794.615	1.155.803	0	40%
Total [kgCO_2 eq]	7.251.902	4.228.694	2.216.602	947.947	1.275.234	2.008.625	17.929.003
% participación	40%	24%	12%	5%	7%	11%	

En la Tabla 3 se puede observar que los módulos con mayor incidencia en todo el ciclo de vida del proyecto, considerando que la evaluación es a 100 años, corresponden a los módulos A5 (energía consumida en el proceso de construcción) del Área de Movimiento, el módulo B6 (energía consumida en operación) del Edificio DGAC y los módulos A1-A3 de la etapa de producto del Área de Movimiento. Estas tres componentes de forma agregada representan el 51% de las emisiones totales del proyecto.

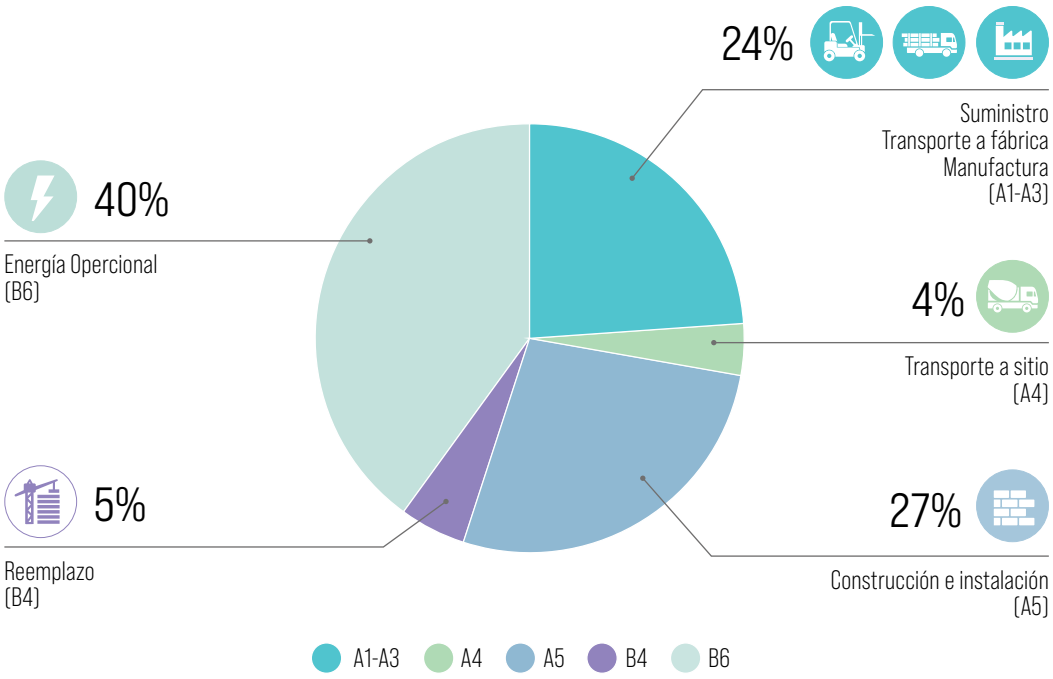

Figura 7: Datos agregados de emisiones del Aeródromo de Peldehue.
Fuente: Elaboración propia.

[6] Las celdas destacadas corresponden a las mayores fuentes de emisión, y son analizadas detalladamente en el informe extenso.

3.2 PROYECTO 2: CONSERVACIÓN AERÓDROMO MARÍA DOLORES

Descripción general

El aeródromo se ubica 12 km al Noreste de la ciudad de Los Ángeles, tiene una elevación de 114 m por sobre el nivel del mar y una pista de asfalto de 1.700 m de largo por 30 m de ancho con orientación Norte-Sur. Este aeródromo pertenece a la red secundaria, es de propiedad fiscal y de uso público administrado por la DGAC; dispone de luces de pista, VOR, torre de control y terminal de pasajeros. Las siguientes figuras muestran el proyecto durante su proceso de conservación. El área de conservación de pavimentos cuenta con 7.728 m^2 de pavimentos de hormigón y 4.002 m^2 de fresado y pavimento bituminoso.

Figura 8: Vista renovación ventanas terminal pasajeros, Fuente: Archivo DAP.

Los datos generales de este proyecto son los siguientes:

Tabla 4: Datos generales del proyecto Aeródromo María Dolores
Fuente: Elaboración propia.

Datos generales proyecto	
Ubicación del proyecto	Km 30,9 de la carretera concesionada Autopista Los Libertadores, Comuna de Los Ángeles, Provincia de Biobío, Región de Biobío, Chile.
Inspector fiscal del proyecto	Claudia Álvarez (claudia.alvarez@mop.gov.cl)
Contratista	Servicios Mecanizados Serviterra LTDA.
Superficie construida evaluada	594 [m^2] (Terminal de pasajeros y edificio administrativo - DGAC)
Superficie conservación losa aeropuerto evaluada[7]	4.000 [m^2] (Pavimentación Plataforma)
	3.728 [m^2] (Pavimentación Umbral 18)
	4.000 [m^2] (Fresado Área de movimiento)
Tiempo de ejecución del proyecto	Enero 2020 – junio 2020

Al igual que en el caso anterior, se realiza el mismo procedimiento de análisis en base al contenido del itemizado. A partir del desglose de este último se genera un esquema con la estructura presente en la Figura 9 considerando los componentes característicos de este proyecto. Un punto importante para mencionar es que a diferencia del proyecto de nueva construcción del Aeródromo Peldehue, éste consiste en una conservación que abarca la renovación del área de movimiento, terminal de pasajeros, edificio DGAC y de algunas obras complementarias, por lo que no se considera la misma categorización que para el caso anterior, quedando de la siguiente forma:

[7] Contempla área maniobras y umbral.

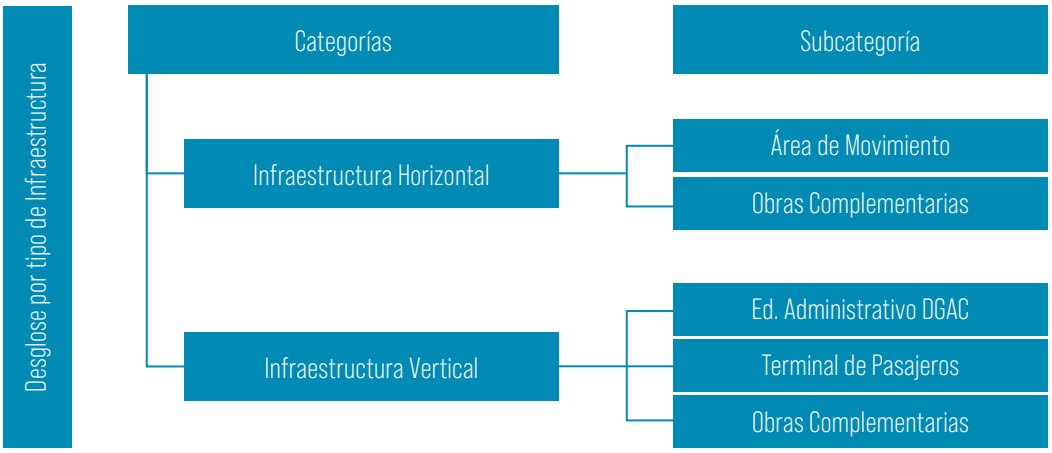

Figura 9: Esquema de análisis para la evaluación del Aeródromo María Dolores.
Fuente: Elaboración propia.

Para el caso del Aeródromo María Dolores los trabajos de conservación solo se desarrollan en una parte del proyecto, lo que se muestra gráficamente en la figura a continuación.

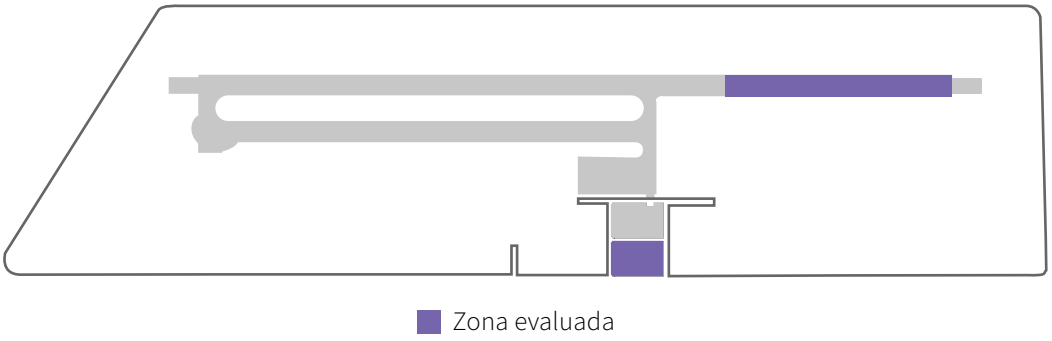

Figura 10: Planta esquemática de áreas a evaluar del Aeródromo María Dolores.
Fuente: Elaboración propia.

Resultados consolidados

En base a la información disponible, se calculó la huella de carbono de cada una de las subcategorías contempladas en el proyecto. El resultado agregado, vinculado a las emisiones, es de 985 TonCO_2eq La incidencia de cada subcategoría en los módulos de las etapas del ciclo de vida de la evaluación se pueden apreciar en la Tabla 5.

Tabla 5: Datos agregados de emisiones del Aeródromo María Dolores[8].
Fuente: Elaboración propia.

	Subcategoría		
Módulo del ciclo de vida	**Área Movimiento**	**Terminal de pasajeros - Edificio DGAC**	**% participación**
A1-A3	616.177	58.384	68%
A4	10.619	587	1%
A5	217.841	50.465	27%
B4	6.674	24.345	3%
Total [kgCO_2 eq]	851.311	133.782	985.093
% participación	86%	14%	

En la Tabla 5 se puede observar que los módulos con mayor incidencia en todo el ciclo de vida del proyecto, considerando que la evaluación es a 100 años, corresponden a los módulos A1-A3 (etapa de producto) con un 68% de incidencia y A5 (energía consumida en el proceso de construcción) con una participación del 27% en el resultado total de la evaluación. En base a estas cifras, se procede a analizar en detalle los valores de emisión obtenidos.

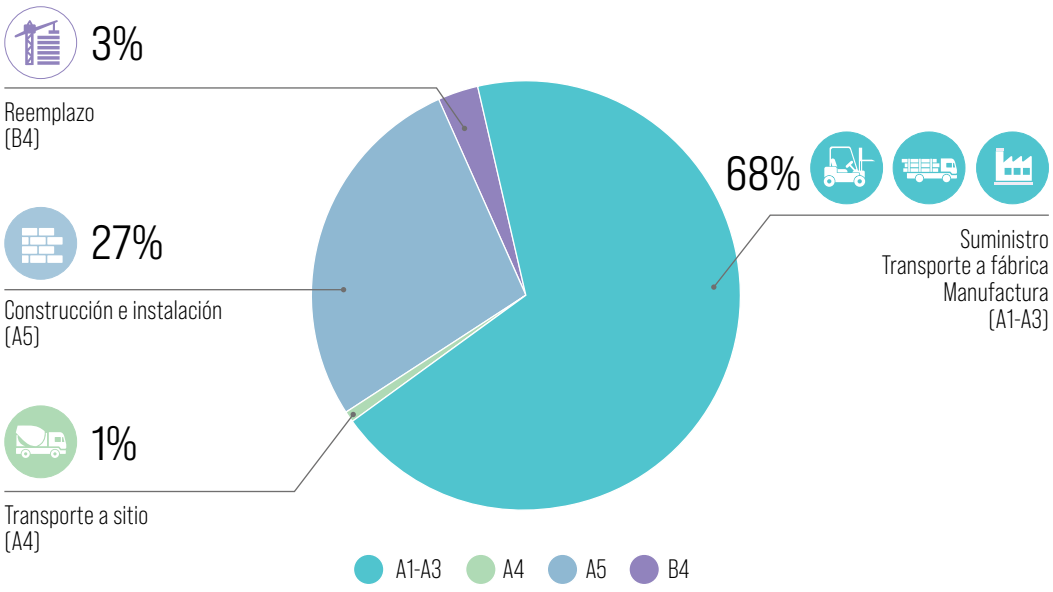

Figura 11: Datos agregados de emisiones del Aeródromo María Dolores. Fuente: Elaboración propia.

[8] Las celdas destacadas corresponden a las mayores fuentes de emisión, y son analizadas detalladamente en el informe extenso.

3.3 PROYECTO 3: REPOSICIÓN RUTA D – 605 PUNITAQUI-MANQUEHUA

Descripción general

El presente proyecto tiene como objetivo el mejoramiento de la Ruta D-605 mediante la aplicación de una solución integral que involucra todos los aspectos y obras necesarias, como son trazados, pavimento, saneamiento, señalización y obras complementarias. El inicio de la obra se ubica en el Dm 25.552, que corresponde al término del pavimento en la zona urbana de Punitaqui y se orienta hacia Combarbalá. El fin de este tramo se ubica en el Dm 43.300, contemplando en su extensión un tramo vial de 16,75 km.

Figura 12: Avances de construcción camino.
Fuente: Dirección de Vialidad

Los datos generales de este proyecto son los siguientes:

Tabla 6: Datos generales del proyecto Ruta D-605
Fuente: Elaboración propia.

Datos generales proyecto	
Ubicación del proyecto	Ruta 5, Comuna de Punitaqui, Provincia de Limarí, Región de Coquimbo, Chile.
Inspector fiscal del proyecto	Oscar Rodríguez (oscar.rodriguez@mop.gov.cl)
Contratista	Constructora Valko S.A.
Longitud evaluada	16.750 [m]
Tiempo de ejecución del proyecto	Octubre 2020 – diciembre 2022

Para las infraestructuras de conectividad se realizó el mismo procedimiento de análisis que en las aeroportuarias, sin embargo, al tratarse de tipologías de proyectos distintas, las categorías y subcategorías difieren y se consideran elementos constructivos característicos de este tipo de obra civil. Lo anterior se realiza con el propósito de lograr la mayor representatividad y factibilidad de extrapolación de las definiciones a obras similares. Las subcategorías que se contemplan en la evaluación se detallan en la Figura 13.

Es importante señalar que, a pesar de que el contrato hace referencia a una obra de reposición, en la práctica la construcción no considera obras existentes de la infraestructura antigua, por lo que para efectos del análisis el proyecto se entiende como nueva construcción.

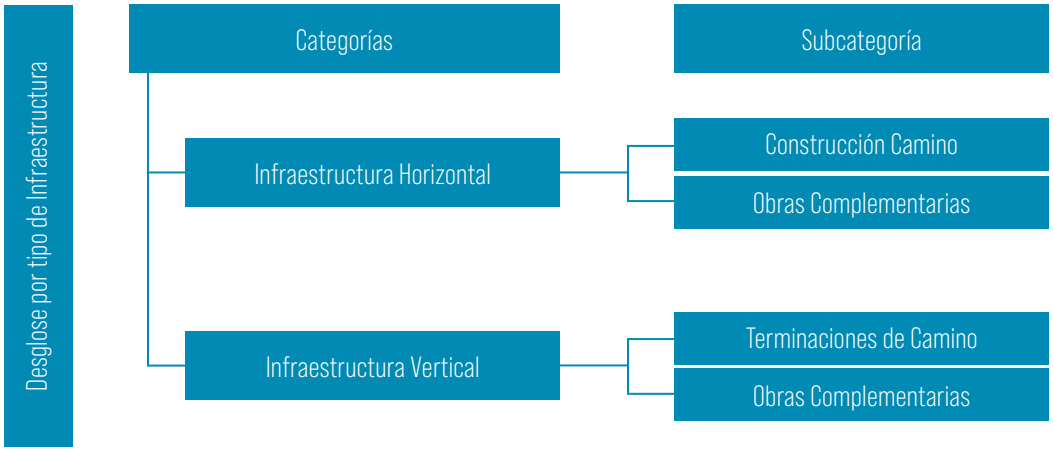

Figura 13: Esquema de análisis para la evaluación de la Ruta D-605 - Tramo Camino.
Fuente: Elaboración propia.

La subcategoría de “construcción camino” se refiere a todas las actividades que forman parte de la obra gruesa del camino, es decir, preparación del área de trabajo, movimiento de tierras, capas granulares, revestimientos, etc., mientras que en “terminaciones camino” se incluyen elementos de control y seguridad, urbanismo, etc. Por último, dentro de obras complementarias se consideran obras de drenaje, paisajismo, entre otros. Cada uno de estos ítems se agrupan siguiendo el lineamiento de la cota de terreno con el fin de obtener una correcta categorización dentro de infraestructura vertical u horizontal.

Resultados consolidados

En base a la información disponible se calculó la huella de carbono de todas las subcategorías contempladas en el proyecto. El resultado agregado es de 7.452 TonCO_2eq.

Tabla 7: Datos agregados de emisiones del Tramo Vial de la Ruta D605 Punitaqui-Manquehua[9]. Fuente: Elaboración propia.

	Subcategoría			
Módulo del ciclo de vida	**Construcción caminos**	**Terminaciones**	**Obras complementarias**	**% participación**
A1-A3	2.553.306	2.139.443	1.778.236	87%
A4	333.872	27.263	106.347	6%
A5	387.412	0	750	5%
B4	0	110.201	15.008	2%
Total [kgCO_2 eq]	3.274.590	2.276.907	1.900.341	7.451.838
% participación	44%	31%	26%	

En la Tabla 7 se puede observar que el módulo con mayor incidencia en todo el ciclo de vida del proyecto, considerando que la evaluación es a 100 años, corresponde a A1-A3 (etapa de producto) de la construcción de caminos y terminaciones. Éstas últimas tienen una incidencia del 44% y 31% respectivamente en el resultado total de la evaluación, por ende, se analizarán en detalle los valores de emisión obtenidos en dichas subcategorías.

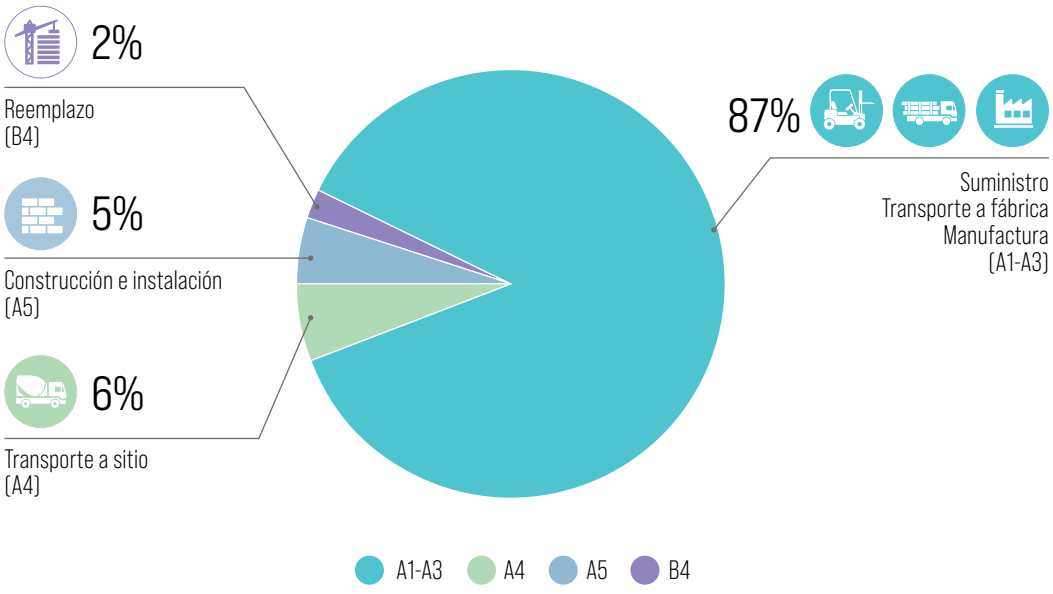

Figura 14: Datos agregados de emisiones del Tramo Vial del proyecto Ruta D-605 Punitaqui – Manquehua. Fuente: Elaboración propia.

[9] Las celdas destacadas corresponden a las mayores fuentes de emisión, y son analizadas detalladamente en el informe extenso.

3.4 PROYECTO 4: REPOSICIÓN PUENTE QUILLAGUA EN RUTA 5

Descripción general

Este proyecto corresponde a la obra de conectividad ubicada en la ruta 5 Norte entre la Aduana del Loa y el Pueblo de Quillagua. El proyecto corresponde a la construcción del puente y sus respectivos accesos.

Figura 15: Avances de construcción puente.
Fuente: GHD

Los datos generales de este proyecto son los siguientes:

Tabla 8: Datos generales del proyecto Puente Quillagua
Fuente: Elaboración propia.

Datos generales proyecto	
Ubicación del proyecto	Ruta 5, Comuna de María Elena, Provincia de Tocopilla, Región de Antofagasta, Chile.
Inspector fiscal del proyecto	José Marchant (jose.marchan@mop.gov.cl)
Contratista	Consorcio ICAFAL-SICOMAQ
Longitud evaluada	115 [m]
Tiempo de ejecución del proyecto	Noviembre 2022 – en construcción

Para el caso particular de puentes, la categorización se hizo en base a la distribución estructural que éste posee, es decir, considerando los componentes de infraestructura del puente[10] en infraestructura vertical, mientras que los elementos de *superestructura del puente*[11] se categorizaron en infraestructura horizontal.

Es importante señalar que, a pesar de que el contrato hace referencia a una obra de reposición, en la práctica la construcción no considera obras existentes de la infraestructura antigua, por lo que para efectos del análisis el proyecto se entiende como nueva construcción.

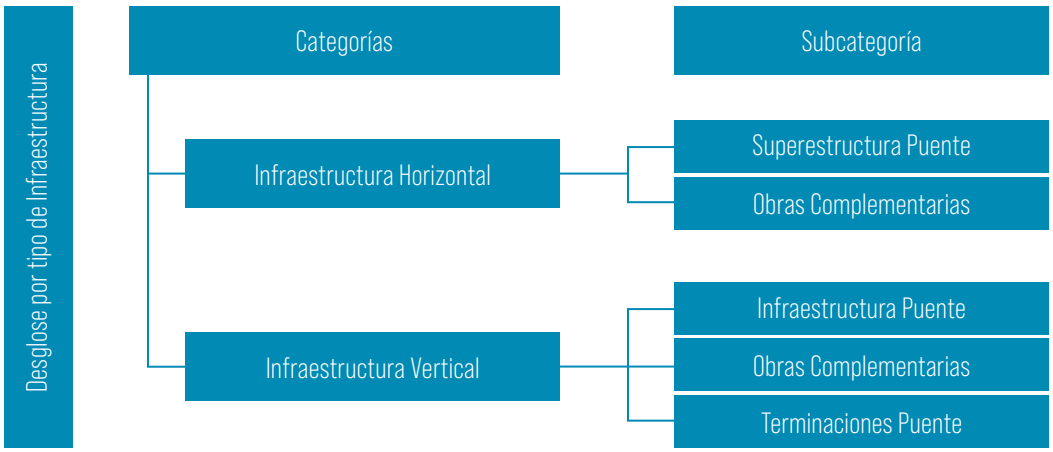

Figura 16: Esquema de análisis para la evaluación de la Reposición del Puente Quillagua en Ruta 5 - Tramo Puente.
Fuente: Elaboración propia.

[10] Parte del puente que se encarga de transmitir las solicitaciones al suelo de cimentación, y está constituida por: estribos y pilas.
[11] Parte del puente en donde actúa la carga móvil, y está constituida por: tablero, vigas longitudinales y transversales, aceras y pasamanos, capa de rodadura y otras instalaciones.

Dentro de la “superestructura puente” se consideran los elementos horizontales, es decir, tablero, vigas longitudinales y transversales, capa de rodadura, revestimiento, etc. Por otro lado, en la “infraestructura puente” se incluye la preparación del área de trabajo, movimiento de tierras, cimentación, estribos, entre otros. “Obras complementarias” y “terminaciones puente” siguen el mismo comportamiento que los casos anteriores.

Hasta el momento la evaluación tiene un alcance del 96% del costo del proyecto, asociado al tramo de puente, abarcando todas las subcategorías presentes en la Figura 16. Este resultado se considera satisfactorio siguiendo el lineamiento del estándar RICS.

Resultados consolidados

En base a la información disponible se calculó la huella de carbono de todas las sub-categorías contempladas en el proyecto. El resultado agregado es de 1.551 TonCO_2eq.

Tabla 9: Datos agregados de emisiones del Puente Quillagua[12].
Fuente: Elaboración propia.

	Subcategoría				
Módulo del ciclo de vida	**Infraestructura**	**Superestructura**	**Obras complementarias**	**Terminaciones puentes**	**% participación**
A1-A3	663.381	667.135	120	76.351	91
A4	66.462	28.696	28	6.342	7
A5	16.108	0	610	0	1
B4	1.476	15.101	0	8.954	2
Total [kgCO_2 eq]	747.427	710.931	758	91.647	1.550.764
% participación	48	46	0	6	

En la Tabla 9 se puede observar que el módulo con mayor incidencia en todo el ciclo de vida del proyecto corresponde a A1-A3 (etapa de producto) de las subcategorías de infraestructura y superestructura. Éstas últimas tienen una incidencia del 48% y 46% respectivamente en el resultado total de la evaluación, por ende, se analizarán en detalle los valores de emisión obtenidos en dichas subcategorías.

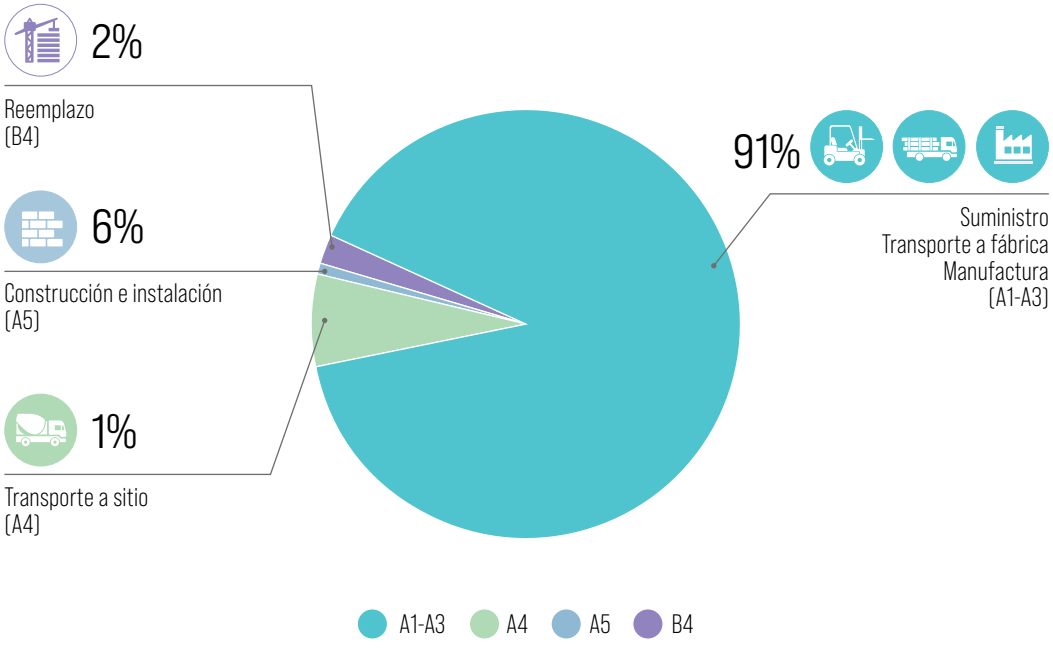

Figura 17: Datos desagregados por categoría. Fuente: Elaboración propia.

[12] Las celdas destacadas corresponden a las mayores fuentes de emisión, y son analizadas detalladamente en el informe extenso.

3.5 COMPARACIONES Y ANÁLISIS DERIVADO DE LOS CASOS DE ESTUDIO

A continuación, se presentan a modo de síntesis del capítulo algunas comparaciones generales de los resultados de todos los casos de estudio evaluados, y algunos análisis específicos tanto para la infraestructura aeroportuaria como para la infraestructura vial.

Comparaciones generales de los casos de estudio

Si bien las particularidades de cada caso de estudio (tipología, superficie, tipo de contrato) hacen que sus resultados de emisiones globales no sean comparables, se puede observar que las emisiones del aeródromo Peldehue son significativamente mayores al resto de los proyectos, 2,5 veces mayores a las del tramo vial Ruta D-605, 12 veces mayores a las del Puente Quillagua y 18 veces mayores a las de la conservación del aeródromo María Dolores.

Tabla 10: Emisiones totales de los 4 proyectos evaluados.
Fuente: Elaboración propia.

Tipología de proyecto	Proyecto	Emisiones totales $TonCO_2eq$
Casos Aeroportuarios	Construcción Nuevo Aeródromo de Peldehue	17.929
	Conservación Aeródromo María Dolores	985
Casos Vialidad	Reposición Ruta D – 605 Punitaqui - Manquehua	7.452
	Reposición Puente Quillagua en Ruta 5	1.551

Al comparar las emisiones de cada subcategoría parametrizadas por unidad de superficie (ver Tabla 11), se observa que la mayor carga de emisiones está asociada a la Torre de control (aeródromo Peldehue), esto se debe a que se trata de una edificación esbelta, con un núcleo en altura de hormigón armado y además presenta consumos de energía en operación con una fuerte componente de climatización y de equipos de comunicación. En segundo lugar y con un orden de magnitud comparable entre ellas, se encuentra el resto de las infraestructuras verticales de Peldehue (edificio DGAC, PTAS y Sala Eléctrica), que al igual que la torre de control tienen una alta componente de participación de carbono incorporado.

De las infraestructuras del tipo vial, la con mayor carga de carbono es el puente Quillagua, con aproximadamente 10 veces más emisiones por unidad de superficie que el tramo vial de la ruta D-605 o las áreas de movimiento de Peldehue y María Dolores. A pesar de tratarse solo de emisiones de carbono incorporado, el puente presenta una alta carga, principalmente debido a la incidencia de elementos de infraestructura como vigas, pilares y las fundaciones.

Tabla 11: Emisiones parametrizadas por metro cuadrado de los 4 proyectos evaluados. Fuente: Elaboración propia.

Proyecto	Subcategoría	Emisión total [$kgCO_2eq/m^2$]	Emisión carbono incorporado [$kgCO_2eq/m^2$]
Construcción Nuevo Aeródromo de Peldehue	Área de Movimiento	93	91
	Torre de Control	6.255	5.324
	Edificio DGAC – Administrativo	44.332	1.554
	P.T.A.S.	7.900	1.278
	Sala Eléctrica	15.154	1.419
	Obras Complementarias	-	-
Conservación Aeródromo María Dolores	Área de Movimiento	110	110
	Terminal de Pasajeros y Edificio DGAC	225	225
Reposición Ruta D – 605	Construcción Camino, Terminaciones y Obras Complementarias	128	128
Reposición Puente Quillagua en Ruta 5	Infraestructura, Superestructura, Obras Complementarias	1.182	1.182

En término de los materiales con mayor incidencia en las emisiones asociadas a la etapa de producto (módulos A1-A3), se observa la contribución principal de hormigón, acero y mezclas o imprimaciones asfálticas. La mayor incidencia de estos materiales principales se produce en el Puente Quillagua, donde acero y hormigón representan el 97% de las emisiones por materiales. La menor incidencia, aunque igual relevante, se produce en el caso del aeródromo Peldehue con un 37%, debido a que, al tratarse de una infraestructura compleja y diversa, incorpora componentes y materiales con alta carga de emisiones como los sistemas mecánicos, las ventanas, la tabiquería y revestimiento de fechadas.

Tabla 12: Porcentaje de incidencia de los materiales con mayores emisiones GEI. Fuente: Elaboración propia.

Proyecto	Total emisiones A1-A3 [kgCO_2eq/m²]	Material	Porcentaje incidencia [%]	Total Incidencia [%]
Construcción Nuevo Aeródromo de Peldehue	4.317.322	Imprimación asfáltica	8	37
		Mezcla asfáltica en caliente	9	
		Hormigón	15	
		Acero	5	
Conservación Aeródromo María Dolores	674.561	Hormigón	74	74
Reposición Ruta D – 605 Punitaqui – Manquehua	6.470.985	Imprimación	15	67
		Hormigón	52	
Reposición Puente Quillagua en Ruta 5	1.406.987	Hormigón	48	97
		Acero	49	

Comparación específica Infraestructura aeroportuaria

Para el caso del nuevo aeródromo Peldehue, el que presenta un total de emisiones de 17.929 TonCO_2eq en 100 años, destaca del análisis que el 51% de las emisiones se concentran en 3 componentes:

- Etapa de producto (A1-A3), Área de movimiento > 13% de las emisiones
- Uso de maquinaria (A5), Área de movimiento > 20% de las emisiones
- Energía en operación (B6), Edificio DGAC > 18% de las emisiones

Esta situación permite orientar en que áreas se deben concentrar las estrategias de mitigación con mayor impacto, lo que será evaluado en la próxima entrega del estudio.

Con respecto a los materiales utilizados en el área de movimiento, el de mayor impacto en emisiones corresponde al proceso de imprimación asfáltica, representando el 30% de las emisiones de dicha componente. Así, otros materiales como la mezcla asfáltica en caliente, la base y subbase granular, y el hormigón y enfierradura asociados al sistema de drenajes de la pista, tienen una alta incidencia.

Con respecto al uso de maquinaria, el 65% de las emisiones se asocian al área de movimiento, que es la subcategoría con mayor participación. Las maquinarias que más aportan a las emisiones son los camiones tolva, la excavadora y los camiones aljibe.

Con respecto a la energía en operación en el edificio DGAC, el mayor consumo 50% se asocia a diversos equipos como servidores y bombas en segundo lugar el consumo en iluminación con un 30% y sólo el 20% en climatización. Sin embargo, esto se debe a que el edificio cuenta con baja carga de ocupación por lo que se estima que al aumentar la carga ocupación aumentará el porcentaje de incidencia de los consumos en climatización.

Al analizar las emisiones del caso de conservación del aeródromo María Dolores, el que presenta un total de emisiones de 985 TonCO_2eq en 100 años, se destaca el peso que toma el trabajo de conservación asociado al Área de movimiento. La carga de emisiones de carbono incorporado solo en construcción (módulos A1-A5) normalizada por unidad de superficie en María Dolores es de 109 kgCO_2eq/m², superior a los 85 kgCO_2eq/m² del caso Peldehue. Con esta información, se concluye que un metro cuadrado de área de movimiento conservada genera cerca de un 20% más de emisiones que un proceso de construcción desde cero.

Una situación distinta ocurre en los procesos de conservación de infraestructura aeroportuaria vertical, donde de acuerdo con los casos de estudio evaluados, la conservación presenta una carga de carbono de 184 kgCO_2eq/m², que es 6 veces menor a la carga de carbono de nueva construcción equivalente a 1.193 kgCO_2eq/m².

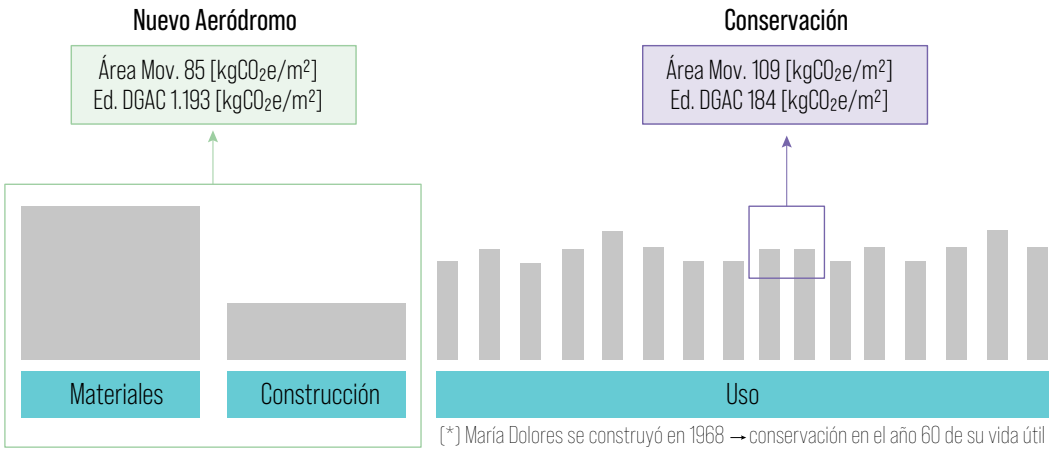

Figura 18: Esquema de incidencia de emisiones proyecto nuevo versus conservación.
Fuente: Elaboración propia.

Comparación específica Infraestructura vial

Para el caso del tramo de camino de la ruta D-605 Punitaqui-Manquehua, el que presenta un total de emisiones de 7.452 TonCO_2eq en 100 años, destaca del análisis que el 87% de las emisiones están asociadas a los materiales de construcción (módulo A1-A3)[13]. Se logró realizar una comparación normalizada por unidad de superficie entre esta ruta y el tramo vial correspondiente al contrato de reposición del puente Quillagua. Se obtuvo para la ruta D-605 un valor de intensidad de emisiones de 128 kgCO_2eq/m², mientras que en el otro se obtuvo 208 kgCO_2eq/m². Se interpreta de este resultado que el tramo vial en el proyecto Quillagua tiene mayor carga de carbono debido a que cumple con condiciones de diseño de la ruta 5, que se entiende más exigente por el tipo de uso.

En el caso del análisis del puente Quillagua, el que presenta un total de emisiones de 1.551 TonCO_2eq en 100 años, se destaca al igual que en el caso anterior el peso de los materiales en las emisiones, que corresponde el 91% del total. Se logró hacer una comparación normalizada por unidad de superficie entre este puente y uno de los del contrato de la ruta D-605 (puente Los Mantos). Se obtuvo para el puente Quillagua una intensidad de emisiones de 1.182 kgCO_2eq/m², mientras que puente Los Mantos obtuvo 1.498 kgCO_2eq/m². Se interpreta de este resultado que la consideración de vigas metálicas en el Puente Quillagua presenta una menor carga de carbono que el uso de vigas postensadas de hormigón armado considerado en el puente Los Mantos.

Como se dijo anteriormente, se identifica a los materiales que se emplean en los proyectos viales como la mayor fuente de emisión. Por lo anterior, resulta de suma importancia ampliar el horizonte de materiales y analizar otras opciones como reemplazo de los elementos tradicionales que se utilizan en la construcción. Como ejemplo, se presenta una comparación del desempeño ambiental de un acero convencional versus un acero reciclado empleado en las barras de refuerzo. Para el análisis se escoge el proyecto que tiene las mayores emisiones asociadas a este material, en base a los resultados obtenidos en la Tabla 13, es decir, el tramo de puente del proyecto de Reposición del Puente Quillagua, con un total de 222,5 Ton de acero para armaduras (valor extraído del itemizado).

[13] Es importante destacar que en el caso de los proyectos de vialidad no se contó con la información de maquinaria, por lo que no se pudo estimar A5 con precisión.

Tabla 13: Desempeño ambiental acero convencional versus acero reciclado en Reposición Puente Quillagua.
Fuente: Elaboración propia.

Tipo de material	GWP [($kgCO_2eq$)/ton]	Emisión ($kgCO_2eq$)	% Incidencia
Acero convencional	1.430	318.188	21
Acero reciclado	767	170.664	11

Al tomar otro caso de análisis comparativo, se puede ver el comportamiento de las descargas de agua de metal corrugado versus unas de HDPE. En esta oportunidad se va a tomar el tramo de camino del proyecto Ruta D-605. Dentro de drenaje y protección de la plataforma se incluyen alrededor de 627 m de tubos circulares de metal corrugado. La Tabla 14 presenta los resultados de emisiones obtenidos al utilizar cada uno de los materiales propuestos.

Tabla 14: Desempeño ambiental de tuberías de acero corrugado versus polietileno de alta densidad.
Fuente: Elaboración propia.

Tipo de producto	GWP	Emisión
Conducto de acero corrugado[14]	2.262,3 [kgCO2eq/ton]	120.209
Sistema de alcantarillado y drenaje de polietileno de alta densidad	23 [kgCO2eq/m]	14.421

En relación con los elementos del itemizado que no presentan emisiones, como el tratamiento superficial doble, se puede decir que debido a que no tienen una declaración ambiental de producto a partir de la cual se pueda conocer su desempeño ambiental y obtener las emisiones, no se pueden incluir en la evaluación. Por lo anterior, es de suma solicitar a los fabricantes las declaraciones ambientales de los materiales y de esta forma ampliar la oferta de DAP para poder realizar evaluaciones de ciclo de vida con mayor representatividad.

[14] Una tonelada de conducto de acero corrugado mide 11,8 [m].

4. ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN

El siguiente capítulo describe de forma consolidada las medidas de mitigación recomendadas como resultado de la evaluación de los casos de estudio, los talleres de intercambio con las direcciones de aeropuerto y vialidad, y la revisión de experiencias nacionales e internacionales para este tipo de infraestructuras. Dependiendo en la atapa del diseño del proyecto en que se comiencen a incorporar las medidas y su grado de especificidad, estas pueden tener mayor o menor impacto en términos de reducción de emisiones, mientras antes se tomen las medidas, mayor será su potencial de impacto. Algunas medidas pueden incluso no aportar de forma directa a la mitigación, pero si pueden aportar a mejorar la trazabilidad y reporte de las emisiones.

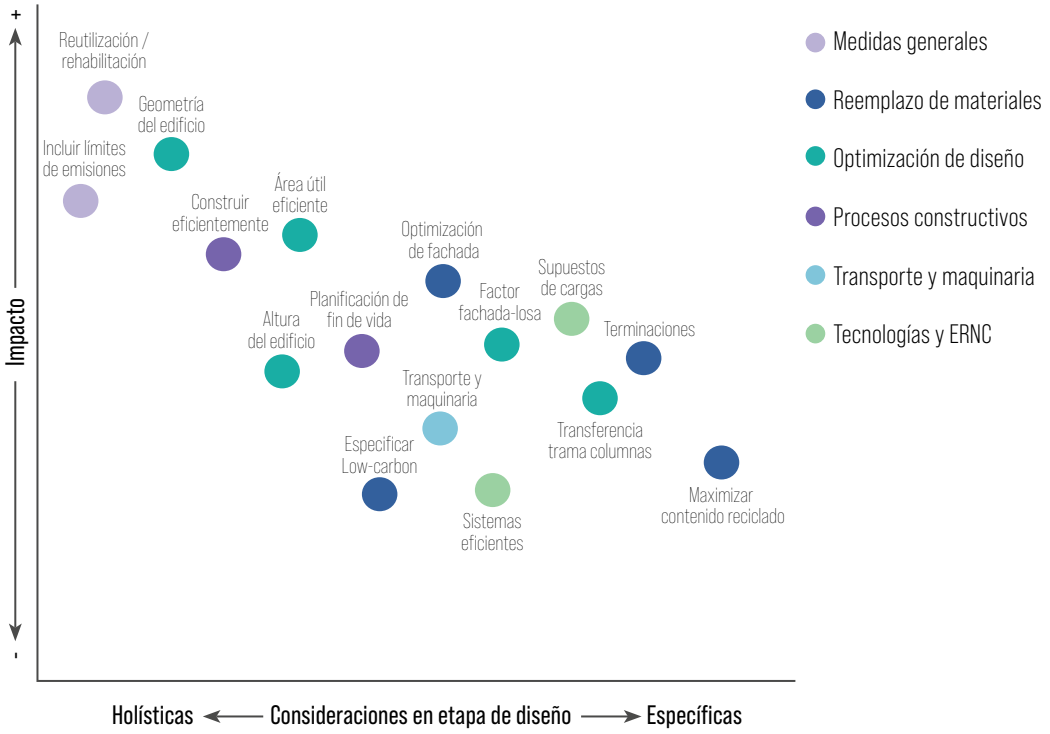

Figura 19: Esquema de impacto de estrategias de mitigación en el diseño de un proyecto de infraestructura

Para efectos de este estudio, las medidas se organizan en 4 subsecciones, donde la primera corresponde a medidas generales, orientadas a mejorar la gestión y trazabilidad de emisiones. Las otras 3 subsecciones corresponden a medidas específicas; Materiales y procesos constructivos; transporte y maquinaria; tecnología, ERNC y diseño pasivo.

4.1 MEDIDAS GENERALES

Las medidas generales se enfocan en acciones concretas a gestionar desde las distintas unidades del MOP para aumentar las capacidades de gestión sobre información relevante para medir de forma más precisa las emisiones GEI de futuros contratos ya sea de conservación, reposición, obra nueva u otro tipo. Estas medidas no necesariamente aportarán a la mitigación de forma directa, pero indirectamente serán de gran utilidad para mejorar la trazabilidad y cuantificación de la mitigación de las otras medidas específicas descritas en el capítulo.

Pedir Declaración Ambiental de Productos (DAP) en licitaciones

Nombre Medida	Pedir DAP en los procesos de licitación
Categoría	General
Descripción de la medida	Las declaraciones ambientales de producto conforman una potente herramienta para la toma de decisiones y una estrategia clara y transparente para comunicar el perfil ambiental a todas las partes interesadas. Por otro lado, a la hora de realizar evaluaciones de huella de carbono, resulta de suma importancia manejar una amplia gama de DAP para poder precisar la información de emisiones en cuanto a los materiales y/o productos que participan en los proyectos estudiados.
Estrategia Implementación MOP	Transparenta el desempeño medioambiental de los proyectos y permite obtener resultados de estudios mucho más representativos.

Incluir límite de emisiones en los TDR

Nombre Medida	Incluir límites de emisiones en los TdR
Categoría	General
Descripción de la medida	Realizar estudios de emisiones de gases de efecto invernadero de diversas infraestructuras permite conocer el desempeño medioambiental que éstas tienen. Con una base sólida de resultados se pueden generar las líneas base que definen el comportamiento de emisiones y permite orientar y enfocar los esfuerzos de las distintas áreas, en lograr las diversas metas mancomunadas a nivel nacional e internacional. Una definición de límite de emisiones va a potenciar el trabajo del sector en búsqueda de nuevos sistemas constructivos, soluciones más eficientes, materiales más sustentables, etc., que permitan la disminución de emanaciones durante el ciclo de vida de las obras de construcción.
Estrategia Implementación MOP	Favorece el cumplimiento de las metas de emisiones en los compromisos a nivel país y potencia la participación e interés de las distintas áreas de trabajo para mejorar el rendimiento medioambientale en los proyectos.

Solicitar información sobre maquinaria utilizada en obra

Nombre Medida	Seguimiento y transparentación de uso de maquinarias
Categoría	General
Descripción de la medida	En base a la recopilación de antecedentes de maquinaria de obra, se identifica que no hay claridad sobre la cantidad de tiempo de uso de los equipos o de combustible/ energía consumida. Algunos de estos se refieren a proveedores y cantificación de materiales y productos de Instalaciones.
Estrategia Implementación MOP	Armar un portafolio de electromovilidad para maquinarias eficientes y baja en emisiones del sector de la construcción para entregar a los clientes y facilitar sus procesos de descarbonización.

Solicitar más información de consumo de energía utilizado en obra

Nombre Medida	Solicitar más información de consumo de energía utilizado en obra
Categoría	General
Descripción de la medida	Solicitar mayor cantidad de información sobre la cantidad, marca, modelo y horas de uso diaria y mensual de las maquinarias que se utilizan el el proceso de construcción. Permitirá levantar lineas bases de información y posteriormente metas de reducción, para poder contar con una gestión de menor impacto de los procesos de construcción de Infraestructura.
Estrategia Implementación MOP	Se podrá incorporar a las especificacones técnicas específicas de los proyectos el requerimiento de incorporar en el informe ambiental de los informes mensuales de obra la caracterización de maquinaria de obra y el detalle de horas de uso diario y mensual.

Solicitar Plan de Gestión y trazabilidad de Residuos de Construcción y Demolición

Nombre Medida	Solicitar Plan de Gestión y trazabilidad de Residuos de Construcción y Demolición
Categoría	General
Descripción de la medida	Incorporar en los TDR y ETG el requerimiento de un Plan de Gestión de Obra, que considere trazabilidad de la información, reportanbilidad en el RETC y metas de reducción para todas las obras de infraestructura.
Estrategia Implementación MOP	Dado que el MOP ya comenzó a solicitar esta información a gran parte de sus obras, es factible construir lineas bases en el mediano plazo y comenzar a incorporar metas de reducción.

4.2 MEDIDAS ESPECÍFICAS – MATERIALES Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS

Al momento de gestionar estrategias de mitigación, resulta de suma importancia realizar un nexo entre los efectos directos en reducción de emisiones y las posibles externalidades resultantes por cambiar el estándar actual de desarrollo y/o implementación de proyectos. Un ejemplo es la utilización de materiales bajos en carbono, los que se pueden desarrollar a partir de modificaciones en sus procesos constructivos, tales como la incorporación de nuevas tecnologías y la integración de materiales reciclados y/o de origen orgánico en su fabricación. Por otro lado, se recomienda priorizar el mercado nacional para la selección de los productos, ya que de esta forma se tienen en consideración las emisiones asociadas al transporte.

Utilización de acero reciclado

Nombre Medida	Preferir la utilización de acero reciclado con una menor huella de carbono
Categoría	Específico - Materiales y procesos constructivos
Descripción de la medida	Como contexto mundial en relación a la fabricación de acero, China posee la industria siderúrgica más grande del mercado, siendo el origen de alrededor de la mitad del acero producido en el mundo. Si tenemos en cuenta que la huella de carbono del transporte marítimo desde el país asiático a Chile es de 0.058032 toneladas de CO_2 por tonelada de material, el total de emisiones del primer semestre de 2021 sería de más de 96 mil toneladas de CO_2 tan solo en ese periodo. Esta importante huella de transporte puede ser neutralizada al considerar empresas nacionales y que, además, puedan reciclar el acero. Por otro lado, en las etapas de fabricación del acero también se producen altas emisiones, específicamente se puede hablar de las emisiones que provienen del proceso industrial en el que se usa carbón como fuente de carbono que elimina el oxígeno del mineral de hierro en la subsiguiente reacción química, tal y como ocurre en un alto horno. Dentro de ese margen, en 2020 la consultora McKinsey identificó una serie de tecnologías para enmarcar la industria de fabricación de acero en una economía baja en carbono, como el uso de hidrógeno, la captura y reutilización de carbono y la maximización del uso de hornos de arco eléctrico alimentados por energía limpia.
Estrategia Implementación MOP	Esta medida disminuye la huella de carbono en los proyectos y su incorporación se puede fomentar e incentivar mediante la entrega de beneficios a aquellos proyectos y empresas que cuenten con una certificación sustentable, tales como CES o del tipo “Certificación Carretera Sustentable”, por ejemplo, y que además utilicen este material como parte de las estrategias de aplicación. Una forma rápida de implementar esta medida es a través de los Términos de Referencia (TdR).

Utilización de hormigón con tecnología de reducción de emisiones

Nombre Medida	Preferir la utilización de hormigones con tecnologías que reduzcan su huella de carbono
Categoría	Específico - Materiales y procesos constructivos
Descripción de la medida	El hormigón es uno de los materiales que más impacta en las emisiones vinculadas a las edificaciones. Esto se debe, principalmente, a su compuesto más importante, el cemento. Al fabricar este último material se liberan grandes cantidades de CO2 en la etapa de calcinación, donde la piedra caliza se transforma en óxido de calcio (cal virgen), y también en la quema de combustibles fósiles en los hornos. Si agregamos esto a toda la explotación de las arenas y piedras y también su transporte hasta la obra para ser agregado a la mezcla, se traduce en la suma de actividades que involucran procesos con altas emisiones de GEI. Bajo este contexto, resulta preponderante incorporar nuevas tecnologías y/o modificar los elementos de fabricación de este material con el propósito de lograr disminuir su influencia en los valores de emisión asociado a los proyecto. Actualmente se están desarrollando y se han implementado en diversas plantas productoras nuevas tecnologías para la fabricación de hormigón y cemento.
Estrategia Implementación MOP	Esta medida disminuye la huella de carbono en los proyectos y su incorporación se puede fomentar e incentivar mediante la entrega de beneficios a aquellos proyectos y empresas que cuenten con una certificación sustentable, tales como CES o del tipo “Certificación Carretera Sustentable”, por ejemplo, y que además utilicen este material como parte de las estrategias de aplicación. Una forma rápida de implementar esta medida es a través de los Términos de Referencia (TdR).

Implementación de sistemas de alcantarillado de HDPE

Nombre Medida	Preferir la implementación de alcantarillados de HDPE
Categoría	Específico - Materiales y procesos constructivos
Descripción de la medida	Priorizar materiales con una huella de carbono más baja, analizando las externalidades asociadas (vida útil, costos, transporte, etc.), puede minimizar el impacto ambiental de la construcción. Las tuberías de HDPE o polietileno de alta densidad son, con seguridad, el termoplástico con el que estamos más familiarizados en nuestro día a día. Su uso se vincula, principalmente, a la conducción de líquidos en alcantarillados o en la agricultura. Entre sus características están su ligereza, su flexibilidad, incluso con temperaturas bajas y su alta resistencia a los impactos, tiene además una excelente resistencia dieléctrica y un factor de potencia bajo (9,15). Por añadidura, es reciclable y respetuoso con el medio ambiente. En la actualidad se implementa como instalación de agua potable, para conducción de aguas residuales, como tuberías de gas, para sistemas de riego, transporte de sólidos, etc.
Estrategia Implementación MOP	Esta medida disminuye la huella de carbono en los proyectos y su incorporación se puede fomentar e incentivar mediante la entrega de beneficios a aquellos proyectos y empresas que cuenten con una certificación sustentable, tales como CES o del tipo “Certificación Carretera Sustentable”, por ejemplo, y que además utilicen este material como parte de las estrategias de aplicación. Una forma rápida de implementar esta medida es a través de los Términos de Referencia (TdR). Por otro lado, esta medida aporta en ahorros económicos en relación a costos del producto y su transporte.

Optimización de mezclas asfálticas en caliente

Nombre Medida	Cambio de mezcla asfáltica caliente a otras alternativas sustentables
Categoría	Específico - Materiales y procesos constructivos
Descripción de la medida	Priorizar soluciones con una huella de carbono más baja, analizando las externalidades asociadas (vida útil, costos, transporte, etc.), puede minimizar el impacto ambiental de la construcción. A nivel de mezclas asfálticas, la optimización puede ser conducida tanto por ajustes en la temperatura de la mezcla (mezclas tibias o frias) como por la inclusión de materiales reciclados en la mezcla (caucho, deseschos plásticos, cables, etc.). Por ejemplo, la tecnología de las mezclas tibias permite reducir significativamente la temperatura de mezclado, tendido y compactación de una mezcla asfáltica en un rango de 30 a 40°C, manteniendo o mejorando las condiciones y propiedades de trabajo con respecto a mezclas asfálticas convencionales, reduciendo de esta forma las demandas de combustible y las emisiones, lo que permite reducir el impacto al medio ambiente. Para ello existen diferentes técnicas que buscan reducir la viscosidad del ligante asfáltico y que pueden aplicarse tanto en mezclas continuas como discontinuas. Dichas técnicas de separan en cuatro categorías definidas como: - Reducción de la viscosidad utilizando aditivos orgánicos - Asfaltos espumados - Uso de aditivos químicos (emulsiones) - Tecnologías con bases acuosas

Estrategia Implementación MOP	Esta medida disminuye la huella de carbono en los proyectos y su incorporación se puede fomentar e incentivar mediante la entrega de beneficios a aquellos proyectos y empresas que cuenten con una certificación sustentable, tales como CES o del tipo "Certificación Carretera Sustentable", por ejemplo, y que además utilicen este material como parte de las estrategias de aplicación. Una forma rápida de implementar esta medida es a través de los Términos de Referencia (TdR).

Diseño de pavimentos con tecnologías sustentables

Nombre Medida	Tecnologías de reducción de emisiones para pavimentos de hormigón
Categoría	Específico - Materiales y procesos constructivos
Descripción de la medida	Los pavimentos de hormigón pueden tener una huella de carbono mayor a la de su equivalente en asfalto si solo se analiza la etapa de producto. Sin embargo, son una alternativa que presenta ventajas en términos de durabilidad y bajo mantenimiento, por lo que en muchos casos se vuelve una solución indispensable. Existen diversas tecnologías que pueden reducir las emisiones de esta solución, asociadas al uso de áridos o agregados reciclados, ajustes en la dosificación de las mezclas, aditivos u optimización de geometrías. Por ejemplo, el método TCP (Thin Concrete Pavement) es una tecnología de diseño y construcción de pavimentos que logra disminuir el espesor necesario de un pavimento de hormigón, generando ahorros importantes de hasta un 25%. El concepto de diseño del método TCP es dimensionar los cortes en las losas del pavimento de manera que ellas nunca sean cargadas por más de una rueda o par de ruedas a la vez, logrando disminuir significativamente las tensiones generadas por el tráfico durante la operación. El sistema se aplica en la actualidad en autopistas, carreteras, calles, pasajes, patios industriales, entre otros. Dentro de sus características, los pavimentos diseñados con esta tecnología no requieren colocar mallas de acero de refuerzo dentro del hormigón, no necesitan sello en las juntas y, al ser de losas más delgadas, se logra reducir la cantidad de hormigón y en consecuencia las emisiones.
Estrategia Implementación MOP	Esta medida disminuye la huella de carbono en los proyectos y su incorporación se puede fomentar e incentivar mediante la entrega de beneficios a aquellos proyectos y empresas que cuenten con una certificación sustentable, tales como CES o del tipo "Certificación Carretera Sustentable", por ejemplo, y que además utilicen este material como parte de las estrategias de aplicación. Una forma rápida de implementar esta medida es a través de los Términos de Referencia (TdR).

4.3 MEDIDAS ESPECÍFICAS – TRANSPORTE Y MAQUINARIA

Promover la compra de materiales con puntos de distribución cercanos a la obra

Nombre Medida	Puntos de distribución para el transporte de materiales
Categoría	Específico - Transporte y maquinaria
Descripción de la medida	Seleccionar puntos de distribución cercanos al lugar de emplazamiento de la obra se traduce en una menor cantidad de viajes para trasladar materiales y/o componentes, por ende, se obtienen menos emisiones en el módulo A4 de la etapa de construcción.
Estrategia Implementación MOP	Esta medida disminuye la huella de carbono en los proyectos y su incorporación se puede fomentar e incentivar mediante la entrega de beneficios a aquellos proyectos y empresas que cuenten con una certificación sustentable, tales como CES o del tipo "Certificación Carretera Sustentable", por ejemplo, y que además utilicen este material como parte de las estrategias de aplicación. Una forma rápida de implementar esta medida es a través de los Términos de Referencia (TdR). Por otro lado, esta medida aporta en ahorros económicos relacionados al transporte.

Reutilización de material de excavación para rellenos y taludes

Nombre Medida	Reutilización de tierra de excavación en relleno
Categoría	Específico - Transporte y maquinaria
Descripción de la medida	Durante la etapa de obras previas se generan grandes cantidades de material producto de la excavación, el cual se dispone en rellenos sanitarios la mayoría de las veces. Al ser dispuesta en un relleno aumenta considerablemente las emisiones asociadas al módulo A5, ya que se deben utilizar más camiones para transportar la tierra. Una de las estrategias más comunes para disminuir la cantidad de tierra excavada corresponde a su reutilización en rellenos para un posterior proceso de compactación en la misma obra. En base a información confidencial de otros proyectos evaluados por EBP, se ha considerado que se puede alcanzar un 50% de reutilización de tierras, disminuyendo así a la mitad la cantidad de camiones necesarios para el transporte.
Estrategia Implementación MOP	Mejorar los porcentajes de reutilización de las tierras excavadas permite disminuir las emisiones asociadas al transporte de este material a un relleno sanitario. Por otro lado, también permite disminuir los costos asociados a transporte, siendo una alternativa atractiva en términos económicos y ambientales.

4.4 MEDIDAS ESPECÍFICAS – TECNOLOGÍAS, ERNC Y DISEÑO PASIVO

Tomando en consideración el caso del Nuevo Aeródrom Peldehue, en el cual se pudieron evaluar las emisiones asociadas al consumo energético, se decide desarrollar las siguientes Medidas de Ahorro Energético (MAEs), con el objetivo de reducir las emisiones en la etapa de operación (B6). Estas medidas podrían aplicar a otro tipo de infraestructura del MOP que contemple uso de energía en operación.

Mejoras para climatización

Nombre Medida	Reducción Consumo en Climatización. Tinte Cristales
Categoría	Específico -Uso de energía operacional
Descripción de la medida	Como medida de mitigación de emisiones en operación del edificio, se propone incorporar a las ventanas termopanel un tinte, el cual reduzca su factor solar de 0,77 a 0,6. Esto significa que se reducirá la cantidad de radiación que ingresa a los recintos y por lo tanto se reduce la cantidad de energia se que utilizará en climatización de los espacios habitados. En el cálculo de escenarios de desempeño, para el caso del edificio del aerodromo de Peldehue, esta medida permitiría reducir 2.480 kgCO2eq anual en climatización (carbono operacional - B6). Sin embargo hay que tener presente que el desepeño energético y ambiental de un edificio es muy sensible también a otros criterios, como carga ocupación e infiltraciones, que en este caso se mantienen fijos.
Estrategia Implementación MOP	Colocar exigencias en Términos de Referencias o Espacificaciones Técnicas General o Específicas de los proyectos. Es importante generar un óptimo balance entre reducir la radiación solar, manteniendo estándares aceptables de luz natural y evitando también otros problemas como el deslumbramiento.

Nombre Medida	Reducción Consumo en Climatización. Aislación techumbre
Categoría	Específico -Uso de energía operacional
Descripción de la medida	Esta medida considera el aumento de aislación de cubierta de 50 mm de lana mineral a 150 mm. para el aeródromo de Peldehue, esto permite una reducción de 2.353 kgCO2eq anual en climatización (carbono operacional - B6). Sin embargo hay que tener presente que el desepeño energético y ambiental de un edificio es muy sencible también a otros criterios, como carga ocupación e infiltraciones, que en este caso se mantienen fijos. Si bien el aumento de espesor en aislación aumentará su carga de emisiones como material (etapa A1-A3), este aumento es bajo en comparación a la reducción de carbono operacional.
Estrategia Implementación MOP	Colocar exigencias en Términos de Referencias o Espacificaciones Técnicas General o Específicas de los proyectos. Es importante también pensar en alternativas de aislación térmica con menor huella de carbono, como por ejemplo la celulosa proyectada.

Nombre Medida	Reducción Consumo en Climatización. Recambio de equipos
Categoría	Específico -Uso de energía operacional
Descripción de la medida	Una de las medidas de mitigación más eficientes para reducir emisiones en etapa de operación de edificios, es la mejora de la eficiencia de los equipos de climatización. Para el caso del proyecto del adificio administrativo del aerodromo de Peldehue los equipos tienen una eficiencia EER nominal de 2,1 y la propuesta de mejorar la eficiencia a EER nominal de 3,0. Con esta medida se logra una reducción de emisiones de 4.155 kgCO2eq.anual en climatización (carbono operacional - B6)
Estrategia Implementación MOP	Colocar exigencias en Términos de Referencias o Espacificaciones Técnicas General o Específicas de los proyectos. El nivel de avance en las tecnologías de climatización es bien dinámico, por lo que se debe prestar atención al desfase entre la etapa de diseño del proyecto y su adjudicación, propiciando instancias para que los desarrolladores puedan hacer una “actualización” de equipos propuestos, en la medida que mejore la eficiencia y no aumente el presupuesto.

Medidas de generación de energía

Nombre Medida	Generación energía a traves de ER. Satisfacer 60% del consumo anual
Categoría	Específico -Uso de energía operacional
Descripción de la medida	Esta medida consiste en la instalación de un sistema fotovoltaico que tenga la capacidad de generar el 60% de la energía anual consumida en el aerodromo, este sistema considera baterías de respaldo. Con lo que se logra un ahorro de 43.508 $kgCO_2eq$ anual en energía operacional - B6. Si bien la incorporación de este nuevo equipamiento aumentará la carga de emisiones de carbono incorporado (etapa A1-A3), este aumento es bajo en comparación a la reducción de carbono operacional que podría aportar un sistema de estas especificaciones.
Estrategia Implementación MOP	Colocar exigencias en Términos de Referencias o Espacificaciones Técnicas General o Específicas de los proyectos. La incorporación de sistemas solares fotovoltaicos con baterías incrementa la demanda de servicios calificados de operación y mantención. Es importante asegurar (ya sea para la consecionaria o para la institución que opere los sistemas) la existencia de manuales de uso y capacitación sobre los sistemas.

Nombre Medida	Generación energía a traves de ER. Satisfacer potencia fija 24/7
Categoría	Específico -Uso de energía operacional
Descripción de la medida	La medida de mitigación propuesta corresponde a la Instalación de un sistema fotovoltaico que tenga la capacidad para satisfacer la demanda base con la que cuenta el aerodromo. El objetivo de la medida es cubrir la demanda de lps equipos que no se apagan las 24hrs del día. Sistema sin sistema de baterías. Con lo que se logra un ahorro de 9823 $kgCO_2eq$ anual en energía operacional -B6.
Estrategia Implementación MOP	Colocar exigencias en Términos de Referencias o Espacificaciones Técnicas General o Específicas de los proyectos. Es importante que se considere adicionalmente un estudio detallado sobre la ubicación de los sistemas y el eventual efecto del «deslumbramiento» sobre las condiciones de pista en el caso de infraesteructura aeroportuaria, evitando que esto pueda causar problemas para las aeronaves.

5. PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA

En base a los resultados de la evaluación de los casos de estudio, se presentan dos diagramas que explican los antecedentes y las preguntas que se deben hacer para la evaluación de huella de carbono de un proyecto de infraestructura. El primer diagrama (Figura 20), describe el procedimiento de definición del tipo de proyecto y etapas a evaluar. El segundo (Figura 21), explica que antecedentes se requiere levantar en cada etapa del ciclo de vida del proyecto según la metodología de cálculo de huella para edificación e infraestructura.

En primer lugar, es fundamental definir el objetivo para el cual se desea levantar la información de Huella de carbono. Para lo anterior, se proponen dos alcances uno relacionado a estimar la huella desde la etapa de desarrollo de proyecto (ex ante) y el segundo alcance está relacionado con reportar emisión de proyecto en etapa de construcción (ex post).

Una vez definido el alcance de evaluación se debe definir ¿qué tipo de proyecto se desea evaluar? (P1), el siguiente paso corresponde a definir las subcategorías del proyecto y cuales se desean evaluar (A1). Posteriormente, se debe definir en ¿qué tipo de contrato se va a trabajar (Obra nueva, Reposición o Conservación)? (P2), luego se debe definir ¿qué etapas del proyecto se desea evaluar? (P3). Esta última pregunta va a permitir definir la metodología de levantamiento de información y por ende el cálculo o reporte de emisiones.

Una vez definida que etapa del proyecto se va a evaluar se va a evaluar se podrá definir que módulos del cálculo de Huella de Carbono en el ciclo de vida se deben calcular (A2). Una vez definido esto se podrá pasar a la siguiente etapa del trabajo metodológico.

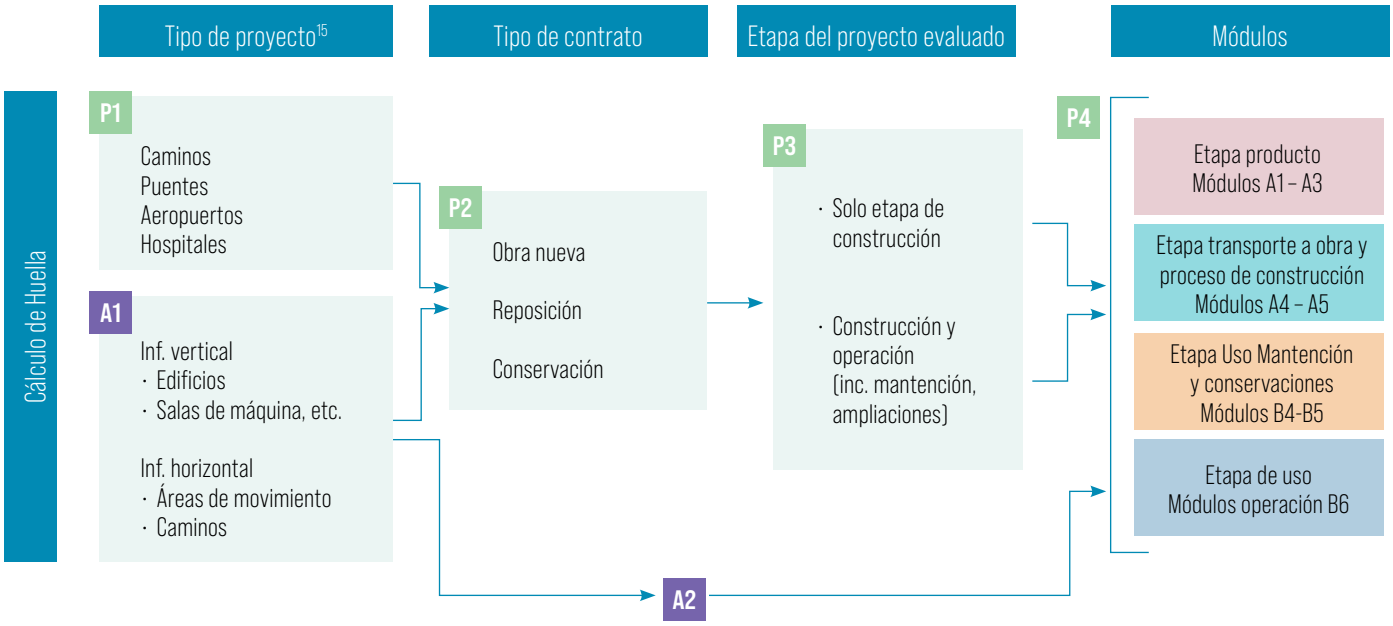

Figura 20: Diagrama Primera parte de metodología básica para levantamiento de emisiones en proyectos de infraestructura

En la segunda etapa del procedimiento sé describe qué tipo de información se requiere para la evaluación de cada módulo. Una vez levantada toda la información, se procederá a realizar el cálculo de acuerdo con lo establecido en la norma EN 15978[16] y obtener los indicadores relevantes.

Para realizar la gestión con enfoque de mitigación se deberán seguir los pasos establecidos en la columna "Resultados y Gestión de Huella" de la Figura 21. Finalmente, se propone contar con una "Plataforma de reporte y gestión de huella de proyectos MOP con enfoque de ciclo de vida" en la cual los proyectos puedan reportar cálculos teóricos y/o reportes ex post de construcción y operación de proyectos.

[15] Todas las tipologías de proyecto se pueden encontrar en el siguiente link: Repertorio_Normativa_Ambiental_Proyectos_Infraestructura_MOP.pdf

[16] Más detalles de metodología en el capítulo 3.

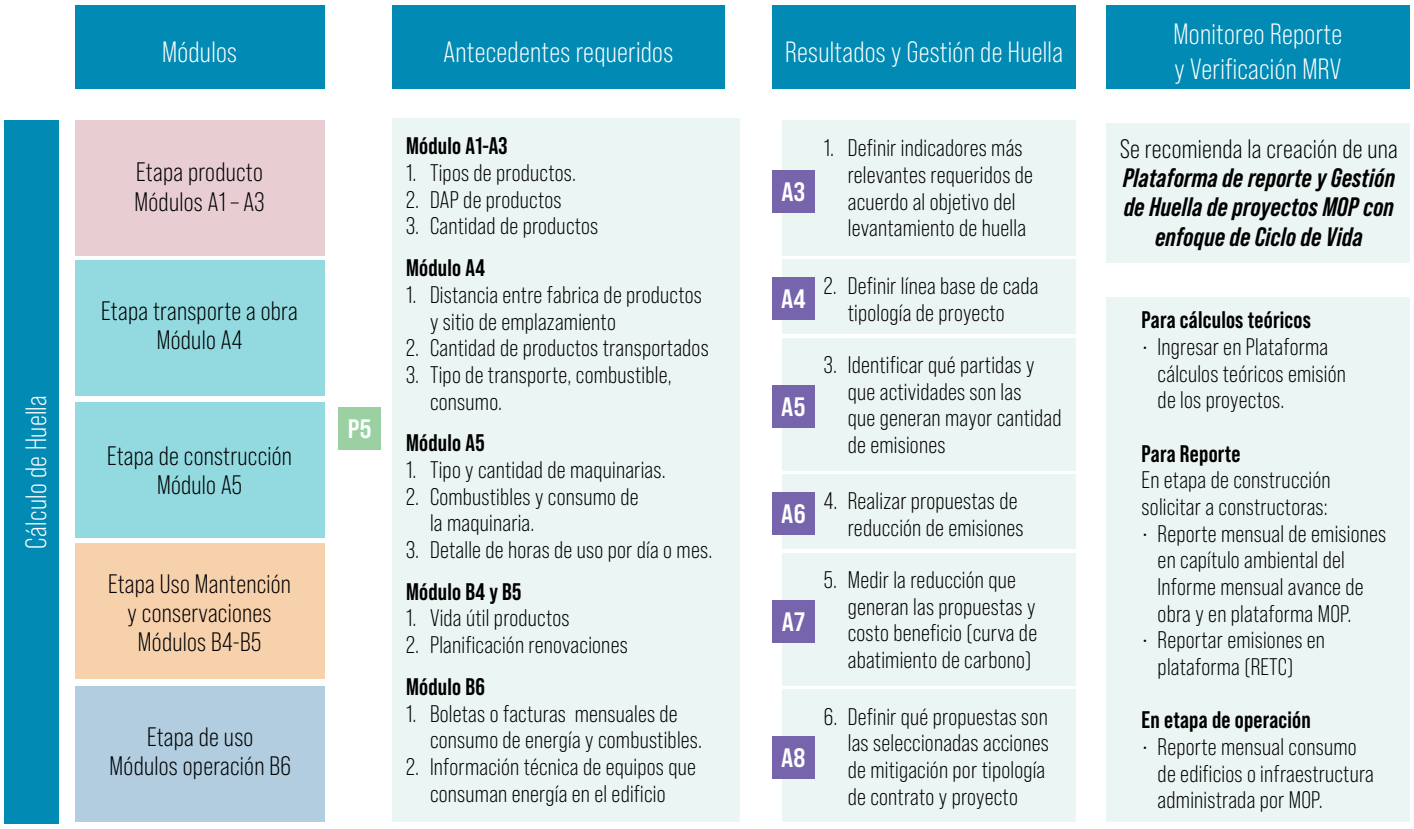

Figura 21: Metodología de levantamiento de información para cálculo de huella de carbono en su ciclo completo

Se recomienda que la plataforma cuente con dos secciones principales de trabajo que se describen a continuación:

1. **Sección cálculos teóricos:** cuyo objetivo es ingresar y gestionar los resultados de los cálculos teóricos de las diferentes tipologías de proyectos para los diferentes módulos del ciclo de vida. Esto permitirá ir construyendo una base de datos de cálculos teóricos y en un mediano plazo se podrá contar con una línea base por tipología de proyecto y por etapa del proceso.

   Para poder obtener resultados que sean comparables se deberán exigir condiciones estandarizadas de cálculo para los proyectos y que se puedan verificar de forma transparente. En este escenario, se recomienda al MOP desarrollar una metodología estandarizada, y promover herramientas de cálculo que puedan responder a dicha metodología.

La generación de estas líneas base permitirá proyectar emisiones relacionadas a las responsabilidades del MOP en el Presupuesto de Carbono Nacional e identificar las mejores opciones de reducción dentro de las posibilidades de la institución.

2. **Sección de reportes:** cuyo objetivo es ingresar y gestionar los datos levantados durante los procesos de construcción y operación de infraestructura MOP. Esto permitirá ir construyendo una base de datos que servirá en el tiempo para actualizar las líneas base teóricas de emisiones del sector construcción y verificar de manera directo el efecto de las medidas de mitigación implementadas.

Se recomienda para los primeros años de trabajo en gestión de emisiones del MOP sólo solicitar proyección y reporte de información, de manera de reunir suficiente información como para crear las líneas base. Una vez que se cuente con una cantidad de proyectos representativa, se podrán establecer las metas de cumplimiento y/o medidas de reducción.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los resultados del trabajo ejecutado se pueden destacar las siguientes recomendaciones y conclusiones:

Conclusiones a nivel de metodología y evaluación de huella de carbono

En primer lugar, si bien no existen metodologías específicas para la evaluación de emisiones de CO2 bajo enfoque de ciclo de vida para infraestructura en Chile, existe consenso en que el marco normativo de la EN15978 y su estructura de "módulos" debe ser la base para un desarrollo coherente con la experiencia internacional y con las primeras evaluaciones elaboradas localmente.
A nivel de los módulos evaluados, todos los países y regulaciones revisados consideran los módulos asociados a la etapa de producto (A1-A3), información relacionada a los factores de emisión y cantidad de materiales/productos de la construcción. En Chile, se debe trabajar en ampliar la cantidad de productos y materiales de construcción de origen nacional que cuenten con una DAP, por lo que se recomienda que los desarrolladores de proyectos soliciten dichas declaraciones en sus licitaciones, al menos para los productos más relevantes e influyentes en el presupuesto del proyecto. De esta forma, se mejora la precisión de los cálculos y se puede discriminar entre materiales equivalentes técnicamente, pero con menor factor de emisión.

Los módulos asociados a la etapa de construcción (A4-A5) también son considerados en la gran mayoría de los casos internacionales. El módulo de transporte (A4) se puede estimar de manera simple en base a las distancias de los proveedores de materiales al sitio de emplazamiento de obra. En el caso de vialidad, cuando se trabaja con plantas in situ, se recomienda para efectos del cálculo ubicar la planta en el centro del trazado, para facilitar la estimación de distancias. El módulo de consumo de energía en obra (A5) se puede estimar a partir de los informes mensuales de la inspección fiscal (en el caso de proyectos ya construidos), donde se reporta la cantidad de maquinarias utilizadas y sus horas de funcionamiento mensual. En el caso de proyectos que aún no estén construidos, se deberá utilizar factores de referencia en base a la experiencia en la tipología de proyecto, los que podrán ser posteriormente corregidos en base a los informes mensuales.

En cuanto a los módulos de la etapa de uso, de los que corresponden a carbono incorporado (B1-B5) el único que está presente en todas las referencias internacionales consultadas es el de reemplazo (B4) y que se puede estimar fácilmente a partir de los valores de vida útil del producto declarados en su DAP. Los módulos de reparación (B3) y remodelación (B5) tienen baja consideración, debido a lo difícil de proyectar o estimar su participación a lo largo de la vida útil de un proyecto. En el caso de la infraestructura del MOP, en la medida que se pueda caracterizar un perfil de emisiones asociado a los contratos de conservación para las distintas tipologías, se podría generar un indicador de B3 y B5 para aplicar en los proyectos. En el caso de la mantención (B2) aplica una situación similar, se debe generar en base a la experiencia por tipología un perfil de emisiones para mantenimiento tipo y su recurrencia.

En cuanto al módulo asociado al consumo de energía durante la operación (B6), este es relevante y ampliamente considerado en las experiencias internacionales analizadas. En el caso de los proyectos de infraestructura pública, aplicará toda vez que existan consumos energéticos en operación, lo que se asocia principalmente a proyectos que contemplen infraestructura vertical, ya sea para operarios o público en general. En el presente informe se incorporan recomendaciones de medidas para este módulo que están relacionadas a acondicionamiento de la envolvente, eficiencia de equipos e incorporación de energías renovables. Sobre los módulos asociados al fin de vida (C1-C4) estos son considerados en la mayoría de las referencias internacionales, lo que da a entender su cálculo se proyecta de manera teórica en base a parámetros de referencia. En el caso del MOP, esta consideración podría estar asociada a los contratos de reposición, donde gran parte de la infraestructura existente debe ser desmantelada o bien demolida previo al inicio de la construcción.

Consideraciones sobre el periodo de estudio

En la mayoría de los casos revisados, el periodo (horizonte) de evaluación se ubica entre 50 a 60 años. Si bien las regulaciones estudiadas tienen un foco principal hacia los proyectos de edificios residenciales y comerciales y otros estándares internacionales señalan que para infraestructura se pueden considerar 100 años (RICS 2017), el equipo consultor considera que esta definición debería ser determinada según tipología de proyecto y en base al registro histórico de contratos de reposiciones de obras de larga data.

En intercambio con el equipo de vialidad en los talleres, se mencionó que los caminos se diseñan para una vida útil de servicio de entre 10 a 20 años y que los puentes se diseñan para una vida útil de 50 años, existiendo además en ambos casos conservaciones cada cierto tiempo. Debido a que en los casos de estudio evaluados no se analizó ningún contrato de conservación para caminos o

puentes, se considera pertinente que la Dirección de Vialidad pudiera incorporar estas evaluaciones en el futuro, para de esta forma caracterizar con precisión la carga de carbono de una conservación versus una obra nueva o reposición, y de esta forma proyectar escenarios de emisión más representativos.

Consideraciones sobre herramientas y bases de datos

De las referencias internacionales se puede apreciar que cada país utiliza sus propias herramientas y metodologías, aunque todas amparadas en la EN15978. El beneficio de usar herramientas locales para evaluación es facilitar el control sobre los factores de emisión locales, reducir barreras idiomáticas y poder llevar una mejor trazabilidad de todos los proyectos evaluados. En términos de bases de datos, se destacan bases como Ecoinvent o INIES, por su amplio portafolio de referencias, aunque la mayoría corresponden a datos de materiales y productos de construcción fabricados en Europa.

La utilización de la plataforma nacional RUKARU[17] para el desarrollo de los cálculos resulto positiva, ya que, al ser administrada por el mismo equipo consultor, permitió adaptar ciertos componentes de ingreso y manejo de datos a las particularidades de las tipologías evaluadas. Debido al nivel de especificidad en los distintos tipos de proyectos de infraestructura pública, se recomienda que este tipo de herramientas puedan ajustar sus categorías de evaluación y parámetros de entrada para distintas tipologías como obras viales, aeropuertos, puertos, embalses, entre otras.

Conclusiones sobre las oportunidades de mitigación

De los análisis de los casos de estudio e intercambio con las distintas contrapartes, se puede concluir que existe un amplio margen para reducir las emisiones en los futuros contratos de construcción de infraestructura pública. El enfoque principal debe dirigirse hacia la promoción de una industria de materiales con bajas emisiones de carbono, ya que estas emisiones tienen un peso significativo en la mayoría de los casos evaluados. Es fundamental implementar medidas como la inclusión de criterios ambientales en las licitaciones, así como establecer límites de carbono para ciertos materiales estratégicos. Estas acciones representan el primer paso para movilizar a fabricantes y productores hacia prácticas más sostenibles.

En cuanto a las emisiones de transporte, se debe fomentar el uso de materiales locales y la producción en el sitio de construcción, por ejemplo, en el asfalto y el hormigón. Además, es necesario evaluar alternativas de transporte que reduzcan la dependencia del transporte terrestre, teniendo en cuenta la cantidad de material requerido y la distancia a los puntos de distribución.

[17] www.rukaru.cl

En proyectos de infraestructura horizontal extensos, como carreteras o áreas de movimiento en aeropuertos, es fundamental prestar atención a las emisiones asociadas a la maquinaria utilizada. La implementación de medidas de gestión operativa y la transición hacia flotas de vehículos con bajas emisiones pueden reducir significativamente su impacto en las emisiones globales.

Por último, en aquellos proyectos que involucren consumo de energía durante su operación, se deben promover buenas prácticas de diseño orientadas a reducir la demanda energética. Asimismo, se deben utilizar equipos y dispositivos de alta eficiencia energética y, siempre que sea posible, considerar la incorporación de fuentes de energía renovable en el sitio, las cuales pueden contribuir parcial o totalmente a compensar el consumo de electricidad de la red.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Sostenibilidad Energética. s.f. Guía para el uso eficiente de la energía para la familia y su entorno. http://www.drtoro.cl/ACHEE/contenido/familia/guion0.html.
- Ambiente, Ministerio del medio. 2021. Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile. Santiago.
- CDT. 2022. Corporación de Desarrollo Tecnológico. https://www.cdt.cl/ctec-y-chile-gbc-desarrollan-el-primer-pasaporte-de-materiales-para-la-construccion/.
- EN. 2011. EN15978: Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method. European Standard.
- INN, Instituto Nacional de Normalización. 2021. «NCh3496/1:2021.» Desempeño energético de los edificios - Evaluación general EPB - Parte 1: Marco de trabajo general y procedimientos.
- Instituto de la Construcción. 2014. «Certificación Edificio Sustentable, Manual de Evaluación y Calificación.»
- ISO. 2018. ISO 14067:2018(es) Gases de efecto invernadero - Huella de carbono de productos - Requisitos y directrices para cuantificación. https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14067:ed-1:v1:es.
- LETI. 2020. «Climate Emergency Design Guide.» Londres.
- Martin Röck, Andreas Sørensen, Jacob Steinmann, Lise Hvid Horup, Buket Tozan, Xavier Le Den, Harpa Birgisdottir. 2022. Towards EU Embodied Carbon Benchmarks for Buildings. Bruselas.
- Ministerio del Medio Ambiente. s.f. MMA/Cambio Climático / Huella de Carbono. https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/.
- MINVU. 2018. Estándares de Construcción Sustentable para Viviendas de Chile Tomo II Energía. Santiago.
- —. 2020. «Hoja de Ruta RDC Economía Circular en Construcción 2035.» minvu.gob.cl. https://www.minvu.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/HOJA-DE-RUTA-RCD-ECONOMIA-CIRCULAR.pdf.
- MMA. 2023. RETC Open Data. http://datosretc.mma.gob.cl/dataset/sistemas-de-gestion-aprobados/resource/7c605fea-252c-47ee-bd6b-6a14b3962eec.
- MOP, Ministerio de Obras Públicas. 2017. Plan de Adaptación y Mitigación de los Servicios de Infraestructura al Cambio Climático 2017-2022. Santiago.
- RICS. 2017. Whole life carbon assessment for the built environment. London: Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS).
- Verde, Vínculo. 2021. Leyrep.cl. https://www.leyrep.cl/que-es#serv-top.
- Wiche et al., P., Rodríguez, B., Granato, D. 2020. Estado del Arte de Huella de Carbono para Edificaciones: Resumen para Tomadores de Decisiones. Santiago de Chile: Instituto de la Construcción.

Ministerio de Obras Públicas

Gobierno de Chile

EBP